

AISI 4340 MALZEMESİNİN TORNA İLE İŞLEMESİNDE GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMİ KULLANILARAK UYGUN TAKIM TUTUCU (KATER) SEÇİMİNE KARAR VERİLMESİ

Emre YILMAZ* , Ferhat GÜNGÖR** , Selim HARTOMACIOĞLU***

ÖZ

Endüstride amaç; ürünün en kısa zamanda, düşük maliyet ve kalite bakımından yüksek özellik göstermesi beklenir. Ürünün istenilen özellikleri taşınması için işleme esnasında kullanılan katerlerin uygun seçimi yapılması çok önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada uygun kater seçimi için GİA(Gri İlişkisel Analiz) yöntemi kullanılmıştır. GİA az bilgi ve belirsizlik durumunda kullanılabilen bir yöntemdir. İş parçası olarak AISI 4340 çeliği kullanılmış olup,2 farklı imal yöntemiyle üretilmiş dövme ve normal yolla(talaşlı imalat) üretilmiş olan katerler hazırlandı. Burada bizim amacımız; farklı katerlerin titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemektir. Farklı olan bu katerlerin imal yöntemi, elde ettiğimiz veriler üzerinde etkisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gri İlişkisel Analiz, AISI 4340, Titreşim, Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Kuvveti

Makale Gönderim Tarihi: 26.07.2019 ; Makale Kabul Tarihi : 10.09.2019 Makale Türü: Araştırma
DOI: 10.20854/bujse.597423

* Sorumlu yazar: Marmara Üniversitesi, FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 34722-İstanbul
(emre_yilmaz_9@hotmail.com)

** Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 34722-İstanbul (fgungor@marmara.edu.tr)

*** Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 34722-İstanbul (selimh@marmara.edu.tr)



DETERMINING THE APPROPRIATE TOOL HOLDER SELECTION BY USING GREY RELATIONAL ANALYSIS ON MACHINING PROCESS OF AISI 4340 STEEL

Emre YILMAZ* , Ferhat GÜNGÖR** , Selim HARTOMACIOĞLU***

ABSTRACT

The product has to be produced in less time, low cost and high quality. Finding the ideal tool holder selection is very essential to get desired product features.

GRA (Grey Relational Analysis) was used for finding ideal tool holder selection in this study. GRA can be used in less information and uncertainty. AISI 4340 is used as a workpiece. The two different manufacturing methods of tool holders are prepared. Our aim is to investigate the different tool holders effect on vibration, surface roughness and cutting force. These two different manufacturing methods of tool holder have been affected on the statistical data.

Keywords: Grey Relational Analysis, AISI 4340, Vibration, Surface Roughness, Cutting Force

1.Giriş

Talaşlı imalat ile yapılan ürünler imalat sanayinde çok temel bir konumda yer alır. Globalleşme sonucunda üretici firmanın kendini koruyabilmesi ve pazardaki diğer firmalarla rekabet halinde kalabilmesi için bazı faktörlere önem vermesi gerekir. Bu faktörler; en kısa zamanda, maliyetin düşük olması ve gereken yüzey kalitesine sağlayan ürünler üretmesi gerekir [1]. Talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak yapılan makine parçalarının yüzey kalitesi birçok değişkene bağlı olarak değişmektedir. İşlendikten sonra meydana gelen yüzeyin içeriği kaliteye göre çok önemli bir yer alır. İyi bir yüzey kalitesi elde edebilmek için işleme parametrelerin uygun seçimi gerekmektedir [2].

Gri Sistem Teorisi; bilginin bilinme seviyesine göre (beyaz (tam bilinme),siyah (hiç bilinmemesi ve gri (eksik bilgi bulunması) belirlenen ufak örneklemeler ve yeterli miktarda bilgi toplanamayan problemlerin karar verme mekanizmasında tercih edilen bir yöntemdir [3].

Gupta ve Kuman'ın yürütmüş olduğu çalışmada, yönü olmayan cam elyaf takviyeli kompozit malzemede Taguchi ve Gri İlişki Analiz Methodu kullanarak kompozitin performans karakteristik optimizasyonu hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda kesme derinliği, yüzey pürüzlülüğü ve malzeme kaldırma oranı üzerinde en fazla etkiye sahiptir [4]. Maiyar, Romanujam, Venkatesan'ın yapmış olduğu çalışmada, Inconel 718 süper alaşımın frezeleme ile işlemede, kesme parametrelerin optimizasyonu Taguchi ve GİA(Gri İlişki Analizi) kullanılarak optimum değerler hesaplanmıştır. Talaş derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızı gibi parametreler kullanılmış olup bunların malzeme kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi analiz edilmiştir. Deney sonucunda, ilerleme miktarı en büyük faktör olarak görülmüştür [5].

Vinayagomoorthy ve Xavier'in yürütmüş olduğu çalışmada, Titanyum alaşımının (Ti-6Al-4V) tornalama işlemi ile işlenmesinde GİA (Gri İlişki Analizi) kullanılarak performans analizi yapılmıştır. Yüzey Pürüzlülüğü, kesme kuvveti, takım aşınması, kesme takım sıcaklığı baz alınarak proses optimizasyonu hesaplanmıştır [6].

Raykar, D'Addona ve Mane'nin yaptığı makalede, Al 7075 alaşımının yüksek hızda işlemede Taguchi ve GİA (Gri İlişki Analizi) metodları kullanılarak,

hangi proses parametresinin işlemleri sonucunda, uygunluğuna karar vermek için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda $V=200$ m/dak, $f=0,1$ mm/rev, $a=0,5$ mm, kaplamalı karbür uç ve kuru işleme en uygun faktörler olmuştur [7].

Varghese, Araguind, Shunmugesh'in yürütmüş olduğu makalede,11SMn30 çeliğin tornada kuru işlemede GİA(Gri İlişki Analizi) kullanılarak işleme parametrelerin optimizasyonu sağlanmıştır. GİA optimum kombinasyon ve en fazla etkisi olan işleme parametreleri bulmamıza yardımcı olmaktadır. Deneyler sonucunda $V=240$ m/dak, $f=0.1$ mm/rev, $a=1,5$ mm olarak bulunmuştur [8].

Das, Mukherjee, Dutt, Nayak ve Sahoo'nun yönetmiş olduğu çalışmada, EN24 çeliğinin kaplamasız tungsten karbür ucu ile kuru ortamda işlemlerinde Taguchi ve GİA (Gri İlişki Analizi) metodları kullanılarak hangi kesme parametrelerin en çok yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi araştırılmıştır. ANOVA metodu kullanılarak kesme hızının en çok etki eden parametre olduğu, en önemlisi ise kesme derinliği olduğu görülmüştür [9].

Xavior ve Jeyapandiarajan'ın yapmış olduğu çalışmada, AISI D2 torna ile işlemlerinde Taguchi ve GİA analizi kullanılarak optimum işleme parametrelerini bulmak amaçlanmıştır. İşleme parametresi olarak takım geometrisi, kesme takım malzemesi ve kesme koşulları kullanılmıştır. Optimizasyon sonucunda, kesme ucu-multi kaplamalı karbür, kesme hızı değeri olarak 180 metre/dakika, kesme derinliği değeri ise 0.3 mm, ilerleme hızı 0.2 mm/rev, uygun kesme sıvısı ise düz kesme sıvısı, kesme açısı 0,boşluk açısı 7°,köşe radyüsü 0.4 bulunmuştur [10].

Bu çalışmada; AISI 4340 malzemesinin torna ile işlenmesinde kullanılan farklı katerlerin malzeme işleme sırasında olan titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne göre olan etkileri görülmüştür. Deneylerde minimum titreşim, minimum kesme kuvveti ve minimum yüzey pürüzlülüğü dikkate alınarak uygun kater seçimi yapılmıştır. Bu deneyle farklı katerleri imalat kalitesine nasıl etki ettiğine dair bir çalışma yapılmıştır.

2. Gri İlişkisel Analiz

Gri ilişkisel analiz yöntemi çoklu düzey sayısının olduğu ve faktör sayısının fazla olduğu

problemlerin çözümünde kullanılan yöntemdir. Bu analizde, en ideal değere göre olan mesafeyi dik-kate alınarak, bu ideal değere göre en iyi seçeneği ortaya koyar. Faktör sayısı ve düzey sayısının düşük olduğu durumlarda seçenekler kolayca orta-ya çıkmakta ama faktör ve düzey sayısında fazla-lık var ise bu durum GİA ile hesaplanmaktadır. Bu yöntemde; en ideal değere göre uzaklık ve yakınlık ilişkisi kurarak en iyi seçimin yapılması-na olanak sağlar [11].

Gri İlişkisel Analiz Metodunun Hesaplanma aşamaları aşağıda gösterilmiştir [12];

1. Adım:

Sonun olucak şekilde bir baz alınacak seri aşağıda belirtilmiştir;

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

2. Adım:

Verilerin Normalizasyonun Yapılması

Deney yapıldıktan sonra elde edilen faktörlerin değerleri farklı birimlerde ölçüldüğünden dolayı ilk önce GİA'da bu faktör değerlerinin aynı birime dönüşmesi gerekmektedir. Değerler arasında çok değer farkı var ise standartlaştırma yoluna giderek aralığı kısaltmak gerekmektedir. Gri ilişki teorisinde yapılan bu normalizasyon işlemine “gri ilişki oluşum” adı verilir. Elde edilen değerlerin normalizasyon işlemine en fazla tercih edilen yöntem ise lineer veri ön işleme metodudur. Normalizasyon işlemi yapılacak olan serinin hangi faktörün “ en ideal daha iyi”, “daha düşük daha iyi” ve “daha büyük daha iyi” hangi faktöre uygun olduğunununi hesaplanması gerekir. Seçilen seri “daha düşük daha iyi” ise normalizasyon yapılırken küçük değerler “1” değerine yakın, büyük değerler içinse değerler 0'a yaklaşmaktadır [12].

“Daha büyük daha iyi ” kriterin seçilmesi durumunda normalizasyon işlemi aşağıda gösterimi yapılmıştır;

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

$x_i^0(k)$;serisindeki k noktasındaki asıl değeri, $x_j(k)$; normalizasyon işleminden sonra i. serisindeki k. noktasındaki değeri, $\min x_i^0(k)$; i serisinin içindeki en küçük değeri, $\max x_i^0(k)$ i serisindeki en yüksek değeri belirtir.

“Daha düşük daha iyi ” kriterin seçilmesi durumunda normalizasyon işlemi aşağıdaki belirtilmiştir;

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

“Daha ideal daha iyi ” kriterin seçilmesi durumunda normalizasyon işlemi aşağıda gösterimi yapılmıştır;

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

x^0 ; arzu edilen ifadeyi belirtmektedir.

3.Adım:

x_0 serisine göre değerlendirilecek m adet seri Eşitlik 3.5'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:

Bu adımda ise, n serisinde k noktasındaki Sırayı belirtmektedir. $\varepsilon(x_0(k), x_j(k))$ ise k değerindeki gri ilişki katsayısını belirttiğinden aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmaktadır;

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

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

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

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

ε ; 0 ile 1 arasında olan bir katsayıdır. $j=1,2,\dots,m$; $k=1,2,\dots,n$. x işlevi, Δ_{0i} ile Δ_{\max} arasındaki farkı ayarlamaktır. ε katsayısının gri ilişkisel derece hesaplandıktan sonra olan seçimi etkilememektedir.

5. Adım:

Gri ilişkisel derecesi aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

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

$\gamma(x_0, x_i)$ gri ilişki serisinde x_i ile x_0 referans serisi arasındaki geometrik benzerliğe verilen ölçüdür". Gri ilişki analizinin büyüklüğü x_i ile x_0 birbiri içinde olan yüksek derecede bir alaka olduğunu belirtir. Seçilen iki serinin birbiriyle aynı özellikleri gösteriyorsa GİA derecesi 1 olarak atanır. Gri ilişki derecesi seçilen iki serinin ideal seriye olan ilişkisine olan yakınlığını anlatmaktadır. Gri ilişki derecesi en yüksek olan değer, en ideal kriter olarak belirtilir [13].

3. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada JOHNFOR TD 35 CNC Fanuc 0T x-z eksenli CNC Torna Tezgâhında çalışmıştır. İş parçası olarak çapı 35 mm ve boyu 120 mm olan AISI 4340 ıslah çeliği kullanılmıştır. Bu malzemenin işlenmesi için iki farklı yöntemden imal edilen (sıcak dövme ve normal) PCLN-R2020M12T katerleri, kater ucu olarak Sandvik Coromant firmasının CNMG 120408 PF-5015 kodlu uçları kullanılarak işlenmiştir. Malzemenin kesme kuvveti ölçümü için KISTLER 9121 Dinamometre, titreşim ölçümü için Vibrotest-60 Ölçüm Cihazı ve yüzey pürüzlülüğü için ise Mitutoyo SJ210 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı kullanılmıştır. Deneğin amacının imalat sektörüne yönelik olduğundan dolayı; katerlerin iç yapısı ve mekanik özellikleri için bir araştırma yapılmamıştır.

Tablo 1. Deneyle Kullanılan Parametreler

D deney No	ap (mm)	f (mm/dak)	Takım Yatağı(Kater) İmal Yatağı	Devir Sayısı (dev/dak)
1	0,4	7,9	Dövme	600
2	0,4	12,6	Dövme	600
3	0,8	7,9	Dövme	600
4	0,8	12,6	Dövme	600
5	0,4	7,9	Normal	600
6	0,4	12,6	Normal	600
7	0,8	7,9	Normal	600
8	0,8	12,6	Normal	600



Şekil 1. Deneysel Düzenek

4. Deneysel Sonuçları ve Tartışma

Deneysel sonucunda elde edilen kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri Tablo 2’de belirtilmektedir.

Tablo 2. Titreşim, Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

D deney No	ap (mm)	f (mm/dak)	Takım Yatağı İmal Yatağı	Ra (µm)	Kesme Kuvveti (N)	Titreşim (Hz)
1	0,4	7,9	Dövme	2,25	78,1	0,65
2	0,4	12,6	Dövme	1,63	82,5	0,216
3	0,8	7,9	Dövme	4,07	97,0	1,089
4	0,8	12,6	Dövme	3,59	98,22	0,275
5	0,4	7,9	Normal	2,15	25,73	0,351
6	0,4	12,6	Normal	2,34	38,66	0,1604
7	0,8	7,9	Normal	2,23	64,35	0,1113
8	0,8	12,6	Normal	1,01	27,97	0,1802

Tornalama işleminde elde edilen kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülük değerlerinin minimum düzeyde kalması istenir. Bu nedenden dolayı, GİA analiz yönteminde “daha düşük daha iyi” formülü kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Tablo 3’de değerlerin normalize edilmiş hali bulunmaktadır.

$$x_0(\gamma) = \frac{4,07 - 1,03}{4,07 - 1,03} = 1 \quad x_1(kk) = \frac{90,25 - 25,73}{90,25 - 25,73} = 1$$

$$x_0(f) = \frac{1,089 - 0,1715}{1,089 - 0,1715} = 1$$

Tablo 3. Daha Düşük Daha İyi” Kriterine Göre Normalize Edilmiş Değerler

Deney No	Re VP (mm)	Kesme Kuvveti (N)	Titreşim (Hz)
Referans Satırı	1,000	1,000	1,000
1	0,544	0,186	0,478
2	0,803	0,334	0,884
3	0	0,340	0
4	0,158	0	0,887
5	0,032	1	0,804
6	0,549	0,405	0,903
7	0,509	0,308	1
8	1	0,587	0,763
Maksimum	1	1	1
Minimum	0	0	0

Normalizasyon işleminde bulunan sonuçlar, GİA yöntemine göre atadığımız değerlerden çıkarma işlemi yapılarak katsayı matrisi için uzaklık matrisi hesaplanır.1.deney için katsayı matrisi 6.nolu formül kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır;

$$x_{p1}(yp) = |1 - 0,566| = 0,434 \quad x_{p1}(kk) = |1 - 0,186| = 0,812$$

$$x_{p1}(t) = |1 - 0,478| = 0,522$$

$$\epsilon = 0,5 \quad \Delta_{max} = 0 \quad \Delta_{min} = 1$$

$$\epsilon(yp) = \frac{0 + 0,5,1}{0,434 + 0,5,1} = 0,535 \quad \epsilon(kk) = \frac{0 + 0,5,1}{0,812 + 0,5,1} = 0,381$$

$$\epsilon(t) = \frac{0 + 0,5,1}{0,522 + 0,5,1} = 0,499$$

Tablo 4. Gri İlişki Katsayı Hesabı

Deney No	Re (mm)	Kesme Kuvveti (N)	Titreşim (Hz)
1	0,535	0,81	0,480
2	0,717	0,328	0,814
3	0,333	0,445	0,333
4	0,335	0,335	0,816
5	0,335	1	0,719
6	0,337	0,917	0,836
7	0,535	0,601	1
8	1	0,303	0,676

Gri İlişki katsayısı hesaplandıktan sonra, 10.formüle göre Gri İlişki derecesi hesaplanır. Gri İlişki derecesi hesaplanan değerler Tablo 5’de belirtilmiştir. Gri İlişki derecesi en yüksek olan değer, en ideal değer olarak gösterilmektedir.

Tablo 5. Gri İlişki Derece Hesaplanması

Deney No	ag (mm)	f (mm/dak)	Takım Tutarı İmal Yöntemi	Re (mm)	Kesme Kuvveti (N)	Titreşim (Hz)	Gri Derece	GİA gler Sıralama
1	0,4	7,9	Dövmü	0,533	0,361	0,469	0,469	7
2	0,4	12,8	Dövmü	0,717	0,328	0,814	0,800	5
3	0,8	7,9	Dövmü	0,333	0,361	0,333	0,337	8
4	0,8	12,8	Dövmü	0,335	0,353	0,816	0,509	6
5	0,4	7,9	Scanned	0,335	1,000	0,719	0,763	1
6	0,4	12,8	Scanned	0,337	0,413	0,836	0,764	3
7	0,8	7,9	Scanned	0,533	0,601	1,000	0,799	4
8	0,8	12,8	Scanned	1,000	0,303	0,676	0,799	2

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, AISI 4340 çeliğinin torna ile işlemesinde; uygun takım seçimine karar verilmesi için GİA (Gri İlişkisel Analiz) yöntemi kullanılmıştır. GİA yöntemi kullanılarak birden fazla faktörün etkilediği parametreler arasında en uygun seçimi yapabilmekteyiz. Bu deneylerin düzgün sonuçlar verebilmesi için her deney 3 defa tekrar edilmiştir.

Yüzey pürüzlülük, titreşim ve kesme kuvveti baz alınarak GİA derecesi hesaplanmıştır. GİA yöntemine göre, kesme derinliği 0,4 mm, ilerleme 7,9 mm/dak, kater imal yöntemi olarak normal yöntem seçilmiştir.

Deneyler arasındaki sıralama şöyledir; 5.deney>6.deney>8.deney>7.deney>2.deney>4.deney>1.deney>3.deney

Sonuç olarak; normal yöntemle (talaşlı imalat) üretilen takım tutucular dövme ile üretilen takım tutuculardan daha iyi özellik göstermiştir.

Takım tutucu imal yöntemi ve kesme parametrelerine göre ideal takım tutucu seçimine olan etkisini görebilmek için yapılmış olan bu makalenin daha kapsamlı hale getirmek için şunlar yapılabilir;

- AISI 4140 çeliğiyle benzer bir çalışma yapılabilir.
- Farklı bir kesici uç kullanılarak deney tekrarlanabilir.
- CNC tornada kesme sırasında kesme sıvısı kullanımını olabilir: Örneğin; bitkisel yağlar veya alternatif yağ uygulamaları.....
- Devir sayısı değiştirilerek bunun GİA üzerine etkisi gözlemlenebilir.
- Kesme parametreleri olan kesme derinliği ve ilerleme hızı değiştirilebilir.
- PCLNR takım tutucu yerine farklı bir takım tutucu kullanarak bunun parametreler üzerine etkisi incelenebilir.
- ANSYS ve kuvvet analizi yapılabilir.
- Maliyet ve işlem süreleri dahil edilebilir.
- Takım tutucu imal yönteminin davranışları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Kider S.M., Tornalama İşleminde Kesme Parametrelerinin Karşılaştırmalı Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2016.
- [2]. Tekarslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U., 2008, CNC torna tezgahında AISI 304 çeliklerin işlenmesinde optimum yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak kesme parametrelerinin tespiti, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 16.
- [3]. İpek Ç., Konut Satın Alma Probleminin Ahp Temelli Gri İlişkisel Analiz Yöntemi İle Değerlendirilmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Burdur, 2018.
- [4]. Gupta M., Kumar S., Multi-objective optimization of cutting parameters in turning using grey relational analysis , International Journal of Industrial Engineering Computations, 4 (2013), 547–558.
- [5]. Maiyar M.L., Ramanujam R., Venkatesan K., Jerald J., Optimization of Machining Parameters for End Milling of Inconel 718 Super Alloy Using Taguchi Based Grey Relational Analysis , Procedia Engineering, 64 (2013),1276 – 1282.
- [6]. Vinayagamoorthy R., Xavier A.M., “ Parametric Optimization on Multi-Objective Precision Turning Using Grey Relational Analysis”, Procedia Engineering, 97 (2014), 299 – 307.
- [7]. Raykar S.J., D’Addona D.M., Mane A.M., “Multi-objective optimization of high speed turning of Al 7075 using grey relational analysis” , Procedia CIRP, 33 (2015), 293 – 298.
- [8]. Varghese L., Aravind S., Shunmugesh K., “ Multi-Objective Optimization of Machining Parameters during Dry Turning of 11SMn30 Free Cutting Steel Using Grey Relational Analysis ”, Materials Today: Proceedings, 4 (2017), 4196–4203.
- [9]. Das D., Mukherjee S., Dutt S., Nayak B.B., Sahoo A.S., “High speed turning of EN24 steel - a Taguchi based grey relational approach”, Materials Today: Proceedings, 5 (2018), 4097–4105.
- [10]. Xavier M.A., Jeyapandiarajan P., “Multi-Objective Optimization during Hard Turning of AISI D2 Steel Using Grey Relational Analysis”, Materials Today: Proceedings, 5 (2018), 13620–13627.
- [11]. Büyükgebiz E., Ülke Performanslarının Gri İlişkisel Analiz Yöntemi İle Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2013.
- [12]. Üstünışık Z.N., Türkiye’deki İller Ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ve Uygulaması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [13]. Yılmaz E., Güngör F., Gri İlişkisel Analiz Yöntemine Göre Farklı Sertliklerde Optimum Takım Tutucusunun Belirlenmesi, 2.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 11-12 Kasım 2010, Balıkesir.