

Çok Yanıtlı Taguchi Eniyilemesine Yönelik Bir Bilgisayar Uygulamasının Geliştirilmesi

Yusuf Tansel İÇ*, Hikmet DURAN, Barış KEÇECİ, Emrehan İLİK, Berkan BİLGİÇ

Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bağlıca Kampüsü,

Eskişehir Yolu 20. Km., Etimesgut, 06810, Ankara, Türkiye.

(Geliş / Received : 30.11.2015 ; Kabul / Accepted : 05.03.2016)

ÖZ

Bu çalışmada üç parametrelili ve her parametre için üç düzey bulunan, en fazla üç kalite karakteristiğine sahip herhangi bir kalite iyileştirme probleminin parametrelerinin eniyilenebileceği bir bilgisayar uygulaması geliştirilmiştir. Bilgisayar uygulaması kullanılarak, kalite karakteristiklerine etki eden faktörler ve seviyeleri tespit edildiğinde Taguchi'nin probleme uygun ortogonal dizisi doğrultusunda uygun bir deney planı elde edilmektedir. Deneyleerin yapılması ve kalite karakteristiklerine ait ölçüm sonuçlarının alınmasının ardından TOPSIS yöntemi kullanılarak çok yanıtlı problem tek yanıtlı bir hale dönüştürülmektedir. Geliştirilen bilgisayar uygulamasında tek kalite karakteristikli, iki kalite karakteristikli veya üç kalite karakteristikli herhangi bir parametre tasarım problemi eniyilenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kalite iyileştirme, Parametre Tasarımı, Çok Ölçütlü Karar Verme, Taguchi yöntemi, Çok Yanıtlı Eniyileme

Development of a Computer Application for Multi-Response Taguchi Optimization

ABSTRACT

In this study, a computer application has been developed for the parameter optimization problem having maximum three quality characteristics and three parameters having three levels for each parameter. When the quality characteristics and the level of the parameters affecting the problem are obtained, appropriate Taguchi array in accordance with an appropriate experimental design is determined by using the developed application. After the collection of the experimental results for the quality characteristics, multi-response optimization problem is converted to single response problem by using the TOPSIS method. In the developed application any parameter design problems having single, two or three quality characteristic can be optimized.

Keywords: Quality improvement, Parameter design, Multi-Criteria Decision Making, Taguchi Method, Multi-Response Optimization

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bu çalışmanın amacı, herhangi bir kalite iyileştirme problemi için 3 parametre ve her parametre için düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 düzey belirlendiği takdirde, en fazla 3 adede kadar belirlenebilecek kalite karakteristiklerinden beklentileri sağlayacak en iyi parametre düzeylerinin tespiti için bir bilgisayar uygulamasının geliştirilmesidir. Bilgisayar uygulamasının geliştirilme amacı ise, işletmesindeki herhangi bir kalite probleminin çözümü için kolay ve hızlı bir biçimde kullanılabilir bir aracın sanayideki yöneticilere ve çalışanlara sunulabilmesidir. Bu kapsamda hedeflenen kullanıcılar daha çok KOBİ işletmeleridir. KOBİ'lerdeki kalite iyileştirme çalışmalarına yönelik bilgi birikimi tam olarak yaygınlaşmadığından, bu tür uygulamaların KOBİ'lerin ürün veya süreçlerinin iyileştirilmesinde fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Tasarım veya süreçlere ait kalite karakteristiklerinin eniyilenmesi için uygun tasarım veya süreç parametrelerinin tespiti amacıyla

bilgisayar uygulamasında en fazla 3 seviyeli ve 3 parametrelili problemler için uygun ortogonal tasarım olarak L4 ve L9 tasarımları belirlenmiştir. Geliştiren bilgisayar uygulamasına gerekli parametre ve seviye bilgileri girildikten sonra, uygulama uygun deney düzenini kullanıcıya seçtirmekte ve elde ettiği deney sonuçlarını ekrana girmesini istemektedir. Ardından kalite iyileştirme problemi eğer tek yanıtlıysa Taguchi eniyilemesini, 2 veya 3 yanıtlıysa da TOPSIS ile bütünleşik Taguchi eniyilemesini kullanarak en iyi parametre seviyelerini sunmaktadır. Geliştirilen bilgisayar uygulaması C# yazılım dili kullanılarak oluşturulmuş olup, detaylı bilgilere ilerleyen bölümlerde yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE SURVEY)

Taguchi yönteminin uygulanmasıyla ilgili literatür incelendiğinde, yöntemin kullanıldığı çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Kumar ve arkadaşları [1] Taguchi yöntemini kullanarak döküm prosesinin parametrelerini eniyilemeye çalışmışlardır. Dovey ve Matthews [2]

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ytansel@baskent.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.3 311-323

çalışmalarında matkap uçlarının PVD (Physical Vapor Deposition) tekniği kullanılarak TiN (Titanium Nitrit) kaplaması uygulamasında performans istatistiği olarak kayıp fonksiyonunu ele almışlardır. Yang ve Tang'ın [3] gerçekleştirdiği çalışmada, S45C çelik çubukların tornalama işleminde kesici takım faktörlerinin en iyi seviyelerinin belirlenmesi için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Kıvak [4] PVD ve CVD kaplanmış kesici uçlarla Hadfield çeliğinin frezelemesinde kesici uç yan yüzey aşınmasında (kalite karakteristiği) etkili olan kesme parametrelerinin eniyilemesini gerçekleştiren bir çalışma sunmuştur. Çalışmada kesme parametreleri olarak kesme hızı (3 seviyeli), ilerleme hızı (3 seviyeli) ve kesici takımı kaplama tipi (2 seviyeli: PVD-kaplanmış, CVD-kaplanmış) kullanılmıştır. Başka bir çalışmada Pınar ve Güllü [5] sayısal denetimli hidrolik konumlama sisteminin konumlama hatasında etkili olan her biri 2 seviyeli 4 adet parametreyi kullanarak (ilerleme oranı, hareket mesafesi, atalet yükü ve yönlenme) konumlama hatasını en küçükleyecek en iyi parametre seviyelerinin belirlenmesinde Taguchi yöntemiyle bir eniyileme çalışması gerçekleştirmiştir. Çakıroğlu ve Acır [6] ise delme işleminde matkap ucu sıcaklığına bağlı olan kesme parametrelerinin Taguchi yöntemi ile eniyilemesini gerçekleştiren bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada kesme işlemi sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklığı (kalite karakteristiği) en küçükleyecek parametre seviyeleri kesme hızı (3 seviyeli), ilerleme hızı (3 seviyeli) ve kesici takım ucu kaplama tipi (2 seviyeli) belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde birden fazla performans yanıtının eşzamanlı olarak eniyilenmesinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile Taguchi yöntemi birlikte uygulanmaktadır. Burada ÇKKV yöntemi birden fazla yanıtın tek yanıtı indirilmesini sağlamak ve böylece problem klasik Taguchi yöntemiyle çözülebilecek hale gelmektedir. Kuo ve arkadaşları [7] çok ölçütlü benzetim problemlerinin eniyilemesinde Gri İlişkisel Derece (GRA) tabanlı Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Liao [8], çok yanıtlı benzetim eniyilemesinde Taguchi tasarımı ile TOPSIS yöntemini birlikte kullanmıştır. Yang ve Chou [9] farklı ÇKKV yöntemlerini kullanarak, çok yanıtlı benzetim eniyilemesi gerçekleştirmişlerdir. Huang ve Liao [10], elektrik teli boşaltım mekanizması parametrelerinin eniyilemesinde GRA ve Taguchi yöntemini birlikte uygulamışlardır. Biswas ve arkadaşları [11] çok yanıtlı toz altı ark kaynağı eniyilemesi çalışmasında, Tong ve arkadaşları [12] ise çok yanıtlı süreç eniyilemesi amacıyla VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje) metodu ile Taguchi yönteminin birlikte kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Lan [13] bir frezeleme işlemindeki çok yanıtlı eniyileme probleminin çözümünde TOPSIS yöntemiyle Taguchi yönteminin birlikte kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirmiştir. İç ve Yıldırım [14] bir çamaşır makinesinin iki yanıtı yıkama performansını geliştirmek üzere TOPSIS, GRA ve VIKOR yöntemlerini Taguchi yöntemi ile bütünleşik olarak

kullanarak yıkama performansına etkiyen en iyi faktör seviyelerinin belirlendiği bir çalışma sunmuşlardır. Gök [15] ise, Ni, Cu ve Mo alaşımlı sünek demirin tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünün en iyilenmesi için en iyi kesme parametresi düzeylerinin belirlenmesi amacıyla bulanık TOPSIS, gri ilişkisel analiz ve cevap yüzeyi analizi yöntemlerinin kullanıldığı bir uygulama gerçekleştirmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar uygulamasında ise, çok yanıtlı performans eniyilemesi için Taguchi yöntemiyle TOPSIS yöntemi bütünleştirilmiştir. VIKOR, GRA gibi diğer ÇKKV yöntemleri yerine TOPSIS yönteminin tercih edilme sebebi, yöntemin uygulama kolaylığı, işlem adımlarının kolay programlanabilir olması ve yöntemin uygulama kolaylığıyla birlikte literatürdeki diğer ÇKKV yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğinin gösterilebilmiş olmasıdır [16].

3. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Çalışmada kullanılan ÇKKV bazlı Taguchi yöntemlerinden TOPSIS-Taguchi yönteminin uygulama adımlarına ilişkin detaylar aşağıda verilmektedir:

Taguchi tarafından önerilen ve gürbüz tasarımda gürültü faktörleri etkisini en küçükleyen üç farklı amaca uygun formülasyonlar bulunmaktadır. Bunlar; en küçük en iyi, en büyük en iyi, nominal en iyi fonksiyonlarıdır [14]:

En küçük en iyi olduğu durumda:

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

En büyük en iyi olduğu durumda:

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

Nominal en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (5)$$

Eşitliklerde y_i ; performans yanıtının i . gözlem değeri, n ; bir denemedeki test sayısı, \bar{y} ; ortalama değeri, S^2 ; gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir. Pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak seçeneği bulmayı hedefleyen TOPSIS yönteminin Taguchi yöntemi ile bütünleşik uygulanma adımları ise şu şekildedir:

1. Hesaplanan S/N oranları kullanılarak karar matrisi (A_{ij}) oluşturulur. Karar matrisinin satırlarında deney

sayıları (alternatifler), sütunlarında ise kalite karakteristikleri bulunmaktadır.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

A_{ij} karar matrisinin elemanlarından faydalanarak, aşağıdaki formül kullanılıp R_{ij} matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, m; j=1, \dots, n \quad (7)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2. Ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulur. Kalite karakteristiklerine karşılık gelen ağırlıklar (w_i) belirlenir. R_{ij} matrisinin her sütunundaki elemanlarla karşılık gelen w_i değerleri çarpılır ve ağırlıklı karar matrisi V_{ij} elde edilmiş olur.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

İdeal, $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$ ve negatif ideal, $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ çözümler elde edilir. İdeal çözümün bulunabilmesi için V matrisindeki sütun değerlerinin en büyüklüğü seçilir. Negatif ideal çözümün bulunabilmesi için ise V matrisindeki sütun değerlerinin en küçüğü seçilir.

3. Ölçütlerin ideal çözüme göre yakınlığı hesaplanır. TOPSIS yönteminde bir karar noktasının ideal çözümden sapmasını bulmak için “öklit uzaklık” yaklaşımından faydalanılmaktadır. Pozitif ideal çözüme olan uzaklık S_i^* ve negatif ideal çözüme olan uzaklık S_i^- değerleri hesaplanır. S_i^* ve S_i^- değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır [15].

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (10)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (11)$$

4. Her karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında S_i^* ve S_i^- ölçütlerinden faydalanılır. C_i^* hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten faydalanılmaktadır [15].

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (12)$$

C_i^* değeri 0 ile 1 aralığında değer alır. $C_i^*=1$ pozitif ideal çözüme mutlak yakınlığı, $C_i^*=0$ negatif ideal çözüme mutlak yakınlığı gösterir [16].

5. Elde edilen C_i^* değerleri Taguchi metodunda yanıt değerleri olarak girilerek en iyi parametre seviyeleri elde edilir.

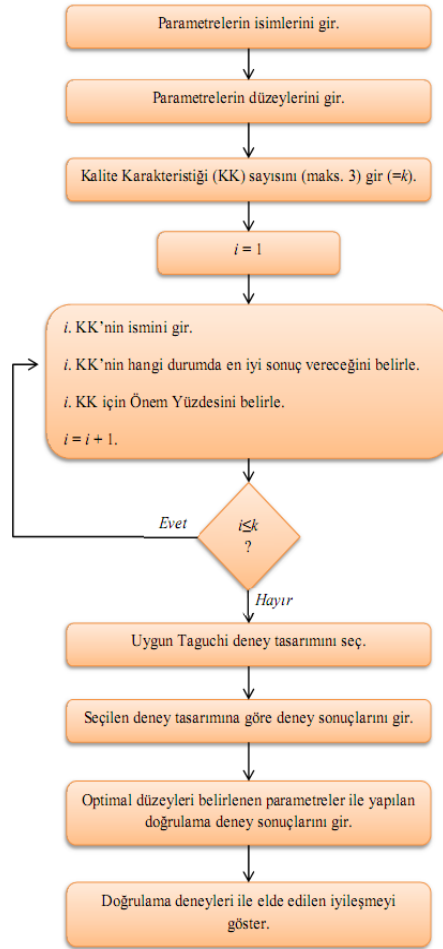
4. BİLGİSAYAR UYGULAMASININ GELİŞTİRİLMESİ (DEVELOPMENT OF COMPUTER APPLICATION)

Belirli bir proses veya tasarım için üç parametre ve üç düzey belirlenmesi koşulları altında, en fazla üç kalite karakteristiği göz önüne alındığında parametrelerin en iyi düzeylerini bulan ve kullanıcıya sunan bir bilgisayar uygulaması geliştirilmiştir. Bu bilgisayar uygulaması kullanılarak, birçok problem için parametre eniyileme çalışması yapılabilecektir.

Bilgisayar uygulaması Unity3D yazılımı kullanılarak C#(C-Sharp) dilinde yazılmıştır. Kullanıcı dostu olması nedeniyle, kullanıcı karmaşık eniyileme formülasyonlarını ve denklemlerini görmeden kolay bir şekilde eniyilemeyi gerçekleştirebilme imkânına sahiptir. Kullanıcının tek görevi programın yönlendir-

melerine uyararak ilgili alanlara gerekli bilgileri veya verileri girmesi/işaretlemeinden ibarettir. Geliştirilen programın akış şeması Şekil 1’de verilmektedir.

İlk aşamada kullanıcı probleme ilişkin eniyilenecek üç parametrenin ismini girerek uygulamayı kullanmaya başlamaktadır (Şekil 2). Programın çalışmasını



Şekil 1. Geliştirilen programın akış şeması (Flowchart of developed software)

göstermek amacıyla sanayide en yaygın kullanıma sahip talaşlı imalat işlemlerinden olan frezeleme işlemi ele alınarak geleneksel bir freze tezgahında alüminyum bir levhanın parmak frezeleme işleminin eniyilenmesi gerçekleştirilmiş ve işlem adımları geliştirilen bilgisayar uygulaması üzerinde gösterilmiştir. Örneğimizde bir frezeleme operasyonu için kesme hızı, kesici takım çapı ve kesme derinliği olarak üç temel parametre değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmada ilgilenilen üç kesme parametresi olarak bu parametreler alınmıştır.

Şekil 2'deki gibi ekranda parametre isimleri girilip "ileri" butonuna basıldığında Şekil 3'deki gibi parametre seviyelerinin giriş ekranı belirlenmektedir. Üç tane kesme parametresinin 3'er adet parametre düzeyi belirlenmiştir. Kesme hızı parametre seviyeleri 115 devir/dk, 230 devir/dk ve 360 devir/dk olarak belirlenmiştir. Kesme derinliği parametre değerleri; 0,5 mm, 1,5mm ve 2,5 mm olarak, kesici takım çapı parametre değerleri ise 4 mm, 8 mm ve 12 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 3'deki gibi ekranda ilgili yerlere girilmiştir. "Sonraki aşama" butonu tıklandığında kullanıcının karşısına kalite karakteristikleri ve bunların

sonra (Şekil 4'te 3 olarak belirtilmektedir) "onayla" butonunu tıklayıp kalite karakteristiklerinin isimlerini ekrana girebilmektedir. Ardından kullanıcı, kalite karakteristiklerinin hangi durumda en iyi sonucu vereceği sorusuna cevap vermelidir (Şekil 4'te her üç karakteristiğin değerinin de küçük olmasının daha iyi olması nedeniyle "en küçük" butonu işaretlenmiştir). Daha sonra ise kalite karakteristiklerinin önemlerini girmesi istenmektedir. Bu aşamada da yine kullanıcıya yardımcı olmak amacıyla önem girişleri yüzdesel olarak ifade edilerek girişlerini gerçekleştirmek için kaydırma çubukları kullanılmıştır. Bu kaydırma çubuklarından birinin değeri değiştirildiğinde diğer kaydırma çubukları kalite karakteristiklerinin toplam önem yüzdeselerini %100'e eşitleyecek şekilde kendiliğinden hareket etmektedir (Şekil 4). Şekil 4'de "deney düzenini ver butonuna basıldığında parametre sayısı ve düzey sayısına göre seçilebilecek uygun ortogonal diziler ekranda görüntülenmektedir [14]. Kullanıcı bu ekran üzerindeki uygun dizini belirledikten sonra "*" işaretini tıklayarak hangi ortogonal diziyeye göre deney planı oluşturacağını belirleyebilmektedir. Bu çalışmada,



Şekil 2. Parametre isimleri giriş ekranı (User interface to enter the name of parameters)



Şekil 3. Parametre düzeylerinin giriş ekranı (User interface to enter the level of parameters)

uygun sinyal/gürültü oranı tipinin belirlenmesi ekranı görüntülenmektedir (Şekil 4). Bu ekranda kullanıcı kaç kalite karakteristiğiyle işlem yapacağı kararını verdikten

belirlenen parametre ve seviye sayıları için L9 ortogonal dizilimi deney planı olarak seçilmiştir. Bu işlemin ardından Şekil 5'teki deney sonuçlarının giriş ekranı

görüntülenmektedir. Deneyler Taguchi'nin L9 ortogonal tasarımına uygun planla yapıldıktan sonra ekranda ilgili yerlere deney sonuçları girilmelidir.

Çalışma kapsamında frezeleme işlemine ilişkin üç adet kalite karakteristiği belirlenmiştir. Bunlar; kesme esnasında kesici takım sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), işlenen yüzeyin pürüzlülüğü (Ra) ve işlem sonrası işlenen yüzeyin sertliğidir (kgf/h).

Kesme esnasında kesici takım sıcaklığı: Talaş kaldırma sırasında sürtünmeden dolayı ortaya çıkan ısı, hem iş parçasına hem de kesici takıma çeşitli zararlar verebilir. Bu zararlar, iş parçasının fiziksel yapısının istenmeyen şekilde değişmesi, yüzey kalitesinin azalması ya da kesici takımın ömrünün kısalması olabilir [17].

İşlenen yüzeyin pürüzlülüğü: Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat metotları ile ve başka etkilere ortaya çıkan, genellikle başka düzensizliklerle sınırlanan, oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. Pürüzlülük çapraz ilerleme izleri ile diğer

olması istenebileceği gibi ikincil bir imalat işlemine gidecek olan bir iş parçasının birincil işlemde yüzeyinin sertleşmesi ise istenmeyen bir durum olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde iş parçasının frezeleme işlemi sonrasında işlenen yüzeyin sertliğinin artmasının istenmediği varsayılmıştır. Çalışmada sertlik ölçümü için Rockwell yöntemi kullanılmıştır. Rockwell sertliği, koni ya da küre biçiminde bir ucun belli bir yük altında bir malzeme üzerinde oluşturduğu izin derinliğinden yararlanarak ölçülen sertlik değeridir.

Frezeleme işleminde kullanılan deney numunesi alüminyum malzemeden bir plaka olup, gerçekleştirilen deneylerin bir kısmıyla açılan kanallar Şekil 6'da verilmektedir. Deneyin rassallığını sağlamak için deneyler farklı günlerde ve deney numaraları rastgele seçilerek gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ölçme işlemi, frezeleme işlemi esnasında yapılmıştır. İşleme başladıktan hemen sonra, işlemin ortasında ve işlem tamamlandıktan sonra olmak üzere kesici takımın sıcaklığı bir ısı çift (termo couple) kullanılarak 3 kere

Şekil 4. Kalite karakteristikleri bilgilerinin giriş ekranı (User interface to enter the information of quality characteristics)

düzensizlikleri kapsar.

Yüzey pürüzlülüğü ve hassasiyet, ürünün son amacını belirlediğinden en önemli kalite karakteristiklerinden biridir [17].

İşlenen yüzeyin sertliği: Bir malzemenin, kendisinden daha sert başka bir malzemenin batmasına, çizmesine (kalıcı şekil değiştirmesine vb.) karşı gösterdiği dirence sertlik denir.

Bazı imalat uygulamalarında aşınmaya karşı dirençli olması istenen bir makine elemanının yüzeyinin sert

ölçülmüştür.

Ardından diğer kalite karakteristiklerinin değerlerin belirlenmesi için önce işlenen yüzeyin pürüzlülüğü (Ra) ölçülmüştür (Şekil 7). Küçük bir elmas uç bulunduran yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı 2,5 cm ileri ve geri hareket ederek, ölçümünü yaptığı yüzeyin pürüzlülük değerinin cihazın ekranına yansıtılmaktadır. Her bir kanal için 3 tekrarla pürüzlülük değeri alınmıştır.

Deney no	Kesme Hızı için düzey	Kesme Derinliği için düzey	Kesici Takım Çapı için düzey	Sıcaklık			Yüzey Pürüzlülüğü			Sertlik		
				3 ölçüm			3 ölçüm			3 ölçüm		
1	115	0.5	12 *	24	26	26	1.85	1.57	1.8	66	65	65
2	115	1.5	4 *	25	25	26	1.98	2.08	1.29	66	67	66
3	115	2.5	8 *	23	25	26	4.37	3.82	3.97	70	69	69
4	230	0.5	4 *	25	25	25	1.27	1.75	1.17	66	67	67
5	230	1.5	8 *	23	35	28	3.71	3.71	3.65	68	68	68
6	230	2.5	12 *	25	36	32	1.47	2.29	2.38	72	71	72
7	360	0.5	8 *	24	27	32	2.31	3.38	2.66	67	68	68
8	360	1.5	12 *	26	32	31	2.49	2.11	1.93	73	74	73
9	360	2.5	4 *	24	25	25	2.13	2.44	1.65	65	66	66

Ekle B

Optimizasyonu yap

Şekil 5. Deney planı ve deney sonuçlarının giriş ekranı (Design of experiment and user interface to enter the result of experiments)



Şekil 6. İş parçası (Work-piece)



Şekil 7. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü (Surface roughness measurement)

Yüzey sertliği ölçümünde kullanılan Rockwell Yöntemi'nde metal parçayı sabitlemek için 10 kg'lık bir ön kuvvet ve parçaya bası uygulamak için de 100 kg'lık bir gerçek kuvvet uygulanmış ve yüzey pürüzlülüğü değeri cihazın ölçeğinden okunmuştur. Yüzey sertliği Rockwell Yöntemi ile $\frac{kgf}{h}$ birimiyle elde edilmiştir. Kgf (kilogram kuvvet) cisme uygulanan gerçek kuvvet değerini, h ise cisme basınç uygulandığında cismin yüzeyinde oluşan izin derinliğini ifade etmektedir. Deneylere ilişkin tüm işlemler tamamlandı elde edilen ölçüm değerleri Şekil 5'teki gibi ekrana girildikten sonra, "optimizasyonu yap" butonuna tıkladığında

uygulamanın arka planında çalışan TOPSIS tabanlı Taguchi eniyilemesiyle, hangi parametrenin hangi düzeyiyle işlem gerçekleştirilirse belirlenen kalite karakteristiklerinin en iyi değerinin elde edilebildiğini gösteren sonuç ekranı görüntülenmektedir (Şekil 8). Gerçekleştirilen uygulamada kesme hızı için 360 dev/dk (3. Seviye), kesme derinliği için 2,5 mm (3. Seviye) ve kesici takım çapı için 8 mm (2. Seviye) parametre seviyelerinde en iyi sonuç elde edilebilmektedir. Bilgisayar uygulamasında gerçekleştirilen işlemlerin açık hali adım adım ayrıca Ek-1'de verilmiştir.

			Doğrulama Deneyi Sonuçlarını Giriniz								
			Sıcaklık			Yüzey Pürüzlülüğü			Sertlik		
			1 ölçüm	2 ölçüm	3 ölçüm	1 ölçüm	2 ölçüm	3 ölçüm	1 ölçüm	2 ölçüm	3 ölçüm
Kesme Hızı için 360 düzeyini kullanınız.			22.3	23.8	25.2	2.22	2.38	1.75	54	65	66
Kesme Derinliği için 2.5 düzeyini kullanınız.											
Kesici Takım Çapı için 8 düzeyini kullanınız.											
<input type="button" value="İyileşmeyi göster"/>											

Şekil 8. En iyi parametre seviyelerinin elde edilmesi ve doğrulama deneyi sonuçlarının programa girilmesi (Obtaining the ideal level of parameters and user interface to enter the results of verification experiments)

	Başlangıç Durumu			S/N	Doğrulama Deneyi			S/N
Sıcaklık	23	35	28	-29.2737	22.3	23.8	25.2	-27.53013
Yüzey Pürüzlülüğü	3.71	3.71	3.65	-11.34078	2.22	2.38	1.75	-6.5818
Sertlik	68	68	68	-36.65018	54	65	66	-35.83463
	A			B				C

Şekil 9. İyileşme düzeyinin görüntülediği ekran (Resulting screen of the improvement level)

Taguchi uygulamasında son adımda elde edilen en iyi parametre değerleri kullanılarak bir doğrulama deneyi gerçekleştirilmelidir. Bu sayede elde edilen en iyi değerlerin kalite karakteristiklerinde başlangıç durumuna göre hangi düzeyde bir iyileştirme gerçekleştirebildiği belirlenmeye çalışılır. Geliştirilen programda en iyi değerlerin gösterildiği ekranda “doğrulama deneyi sonuçlarını giriniz” şeklinde bir bölüm yer almaktadır. Kullanıcı burada doğrulama deneyi sonuçlarında elde ettiği ölçümlere ilişkin 3 ölçüm sonucunu ilgili bölümlere girmelidir. İlgili bölümlere söz konusu değerler girildikten sonra “iyileşmeyi göster” butonuna basıldığında Şekil 9 ekrana gelir. Bu ekranda kalite iyileştirme çalışmasına başlamadan önce kullanılan parametre seviyelerinde elde edilen kalite karakteristikleri değerleri görüntülenmektedir. Başlangıç durumu Şekil 5’deki ekranda kullanıcı tarafından işaretlenmiş olmalıdır (Şekil 5 A). Seçilen Taguchi ortogonal dizisinde (Şekil 4-L9) başlangıç durumunu ifade eden deney kombinasyonu mevcutsa ilgili deney kombinasyonuna ait kalite karakteristiği değerleri Şekil 9-A’da “başlangıç durumu” bölümüne otomatik olarak yazdırılır. Şayet seçilen ortogonal dizinde başlangıç durumuna ait deney kombinasyonu bulunmuyorsa Şekil 5 B’de görülen

“ekle” butonuna basıldığında program otomatik olarak yeni bir deney satırı ekler. Bu satıra başlangıç durumu parametrelerine göre elde edilen kalite karakteristiklerinin ölçüm sonuçlarının girilmesi gerekir. Şekil 9-A’daki başlangıç durumu için kalite karakteristikleri değerleri kullanılarak başlangıç durumu için S/N değerleri hesaplanır (Şekil 9-B). Aynı şekilde Şekil 8’de girilen doğrulama deneyi sonuçları kullanılarak da S/N oranları program tarafından hesaplanıp ekrana yazdırılır (Şekil 9-C). Böylece S/N oranı düzeyinde kalite karakteristiğinde iyileşme gerçekleşip gerçekleşmediği, gerçekleştirilen iyileşmenin düzeyi hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Buna göre Şekil 9 incelendiğinde her üç kalite karakteristiğinde de başlangıç durumuna göre iyileşme gözlemlendiği görülebilmektedir. Doğrulama deneyinde elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 1’de, MINITAB’da gerçekleştirilen *t testi* ile elde edilen %95 güven düzeyindeki güven aralığı değerleri ise Çizelge 2’de verilmektedir.

4.1. Programın Alternatifli Çalışma Özelliği (Flexibility level of The Software)

Geliştirilen bilgisayar uygulaması en fazla 3 adet kalite karakteristiği kullanılarak parametre eniyilemesi gerçekleştirebilmekle birlikte, esnek bir yapıda programlandığından 2 adet kalite karakteristiği için veya

Çizelge 1. Doğrulama deneyinde elde edilen sonuçlar (Results obtained from verification experiments)

Doğrulama Deneyi Sonuçları	Sıcaklık (°C)	Sertlik ($\frac{kgf}{h}$)	Yüzey pürüzlülüğü (Ra)
Ölçüm 1	22,8	54	1,75
Ölçüm 2	24	54	2,22
Ölçüm 3	22,3	66	2,38
Ölçüm 4	22,7	65	2,34
Ölçüm 5	23,2	65	1,88
Ölçüm 6	24,2	54	1,92
Ölçüm 7	25,1	65	2,15
Ölçüm 8	24,7	65	2,32
Ölçüm 9	25,2	54	1,78
Ölçüm 10	24,1	54	2,18
Ölçüm 11	23,8	65	1,98

Çizelge 2. *t*-testi ile %95 güven düzeyindeki güven aralığı değerleri (Confidence interval according to *t*-test results at 95% confidence level)

	Ortalama	Standart Sapma	%95 Güven Aralığı (Alt; Üst)
Sıcaklık	23.8273	0.9778	(23.1703; 24.4842)
Sertlik	60.0909	5.8387	(56.1684; 64.0134)
Yüzey Pürüzlülüğü	2.08182	0.22895	(1.92801; 2.23563)

Çizelge 3. L9 ortogonal deney planı (L9 orthogonal experimental design)

Deney Numarası	Kesme Hızı(devir/dk)	Kesme Derinliği(mm)	Kesici Takım Çapı(mm)
1	115	0,5	12
2	115	1,5	4
3	115	2,5	8
4	230	0,5	4
5	230	1,5	8
6	230	2,5	12
7	360	0,5	8
8	360	1,5	12
9	360	2,5	4

tek kalite karakteristiği için de parametre eniyilemesi yapacak şekilde oluşturulmuştur. Bu çalışma şekline süreçlerin iyileştirilmesiyle gerçekleştirilebilir. Bu tür iyileştirmeler ise ürün kalitesi ve dolayısıyla müşteri

Çizelge 4. Deney sonuçları (Experimental results)

Sıcaklık			Pürüzlülük			Sertlik		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
24	26	26	1,85	1,57	1,8	66	65	65
25	25	26	1,98	2,08	1,29	66	67	66
23	25	26	4,27	3,82	3,97	70	69	69
25	25	25	1,27	1,75	1,17	66	67	67
23	35	28	3,71	3,71	3,65	68	68	68
25	36	32	1,47	2,29	3,38	72	71	72
24	27	32	2,31	3,38	2,66	67	68	68
26	32	31	2,49	2,11	1,93	73	74	73
24	25	25	2,13	2,44	1,65	65	66	66

Şekil 10. Kalite karakteristikleri bilgilerinin giriş ekranı - Senaryo 1 (User interface to enter the information of quality characteristics – Scenario 1)

ilişkin olarak iki örnek aşağıda sunulmaktadır.

Örnek 1: Gerçekleştirilen uygulamada eğer Şekil 4'te "sıcaklık" ve "yüzey pürüzlülüğü" olmak üzere iki kalite karakteristiğiyle eniyileme yapılmak istendiğinde ve sıcaklığın önem yüzdesi %70, yüzey pürüzlülüğünün önem yüzdesi %30 olarak belirlendiğinde (Şekil 10) en iyi parametre seviyeleri kesme hızı için 360 dev/dk (3. Seviye), kesme derinliği için 1,5 mm (2. Seviye) ve kesici takım çapı için 8 mm (2. Seviye) olarak elde edilebilmektedir.

Örnek 2: Diğer taraftan programda sadece "sıcaklık" kalite karakteristiğine göre eniyileme yapıldığında ise TOPSIS yöntemine ihtiyaç ortadan kalkmakta ve en iyi parametre seviyeleri tek yanıtı Taguchi eniyilemesi yöntemi prensipleriyle elde edilmektedir. Bu durumda kesme hızı için 230 dev/dk (2. Seviye), kesme derinliği için 1,5 mm (2. Seviye) ve kesici takım çapı için 12 mm (3. Seviye) en iyi parametre seviyeleri olarak tespit edilmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Üretim yapan her tesisin, üretimin doğası gereği israfları olduğu bir gerçektir. Kaliteli üretim yapmak öncelikli tasarımı ve proses özelliklerinden kaynaklanan başarısızlıkların azaltılması amacıyla tasarım ve

memnuniyetinde olumlu etkiler yaparak işletmelerin karlılıklarını olumlu etkileyebilecektir.

Üretim ve hizmet sektöründe kaliteye verilen önemin artması ve kalite arayışında bilimsel metotlara başvurulması yukarıda belirtilen hedeflerin gerçekleştirilmesi için en önemli yoldur. Ancak kalite iyileştirmeye yönelik olarak bilimsel metotların öğrenilmesi, benimsenmesi, içselleştirilmesi ve uygulanması bilgi birikimi ve deneyimin gelişmesine doğrudan bağlıdır. Bu nedenle özellikle ülkemizdeki KOBİ'lere kalite iyileştirme çalışmalarında bilimsel metotlara dayanan araçların sunulmasının önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında bu amaçla geliştirilen bilgisayar uygulaması; kalite iyileştirme, parametre tasarımı, deney düzeni ve eniyileme kavramlarına yabancı olan kullanıcılar için kolay ve hızlı bir kalite iyileştirme aracı olarak genel kabul görmüş bilimsel kavramlara ve metotlara dayanan kullanıcı dostu ve hızlı bir şekilde sonuç alınabilen bir yapıda ortaya konabilmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak, KOBİ işletmelerinin kalite arayışı sürecinde bu çalışmada sunulan bilgisayar uygulamasından faydalanabilecekleri ve üç seviyeli ve üç parametrelili, üç kalite karakteristiğine kadar olan

parametre tasarımı problemlerindeki çalışmalarda kolayca uygulayabilecekleri söylenebilir. İleriki dönem çalışmaları kapsamında bu çalışmada ortaya konan bilgisayar uygulamasının 3'ten fazla parametreyle, daha fazla seviyeli (örneğin 5 seviye) ve daha fazla kalite karakteristiğine sahip problemler için de uygun bir hale getirilmesi için çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda ayrıca daha ileri hedef olarak; MINTAB, SPSS gibi istatistik paket programlarıyla etkileşimli olarak çalışabilen ve dolayısıyla daha esnek bir yapıda kullanıcıya çok farklı boyut ve özellikteki kalite iyileştirme çalışmalarında kullanılacak yazılımlar ve uygulamalar geliştirilebileceği düşünülmektedir.

EKLER (APPENDIXES)

Ek-1. Taguchi-TOPSIS Yönteminin Uygulanma Adımları (Appendix-1. Application Steps of Taguchi-TOPSIS Method)

İlk olarak kesme parametreleri ve seviyeleri kullanılarak Taguchi'nin L9 ortogonal deney planı oluşturulmuştur.

(Çizelge 3). Deney tasarımına uygun olarak deneyler gerçekleştirilerek kalite karakteristiklerine ait ölçüm sonuçları elde edilmiştir (Çizelge 4). En küçük en iyi formülü kullanılarak S/N oranları bulunmuştur. S/N oranları Çizelge 5'teki gibi elde edilmiştir.

/N oranlarını içeren Çizelge 5, TOPSIS yönteminin karar matrisini oluşturmaktadır. Bu karar matrisi kullanılarak normalize matris bulunmuştur (Çizelge 6).

Kalite karakteristiği ağırlıkları (kriter ağırlıkları) her bir

Çizelge 5. S/N oranlarının hesaplanması (Calculation of S/N ratios)

S/N Ratio	Sıcaklık	Pürüzlülük	Sertlik
1	-28,07985775	-4,83226	-36,3029
2	-28,07535028	-5,18992	-36,4349
3	-27,85329835	-12,1705	-36,819
4	-27,95880017	-3,04225	-36,4784
5	-29,27370363	-11,3408	-36,6502
6	-29,91964044	-6,39134	-37,1065
7	-28,90048234	-9,00114	-36,6077
8	-29,4792362	-6,8055	-37,3062
9	-27,84379518	-6,4388	-36,3471

Çizelge 6. Normalize matris (Normalized matrix)

Sıcaklık	Pürüzlülük	Sertlik
0,109097	0,0741	0,109991
0,10908	0,079585	0,110391
0,108217	0,186628	0,111555
0,108627	0,046651	0,110523
0,113735	0,173905	0,111043
0,116245	0,098008	0,112426
0,112285	0,138028	0,110915
0,114534	0,104359	0,113031
0,10818	0,098736	0,110125

Çizelge 7. Ağırlıklandırılmış normalize matris (Weighted normalized matrix)

Sıcaklık	Pürüzlülük	Sertlik
0,036002	0,024453	0,036297097
0,035996	0,026263	0,036429009
0,035712	0,061587	0,036813134
0,035847	0,015395	0,036472539
0,037533	0,057389	0,036644297
0,038361	0,032343	0,037100578
0,037054	0,045549	0,036601832
0,037796	0,034438	0,037300222
0,035699	0,032583	0,036341291

kalite karakteristiği için eşit ağırlıkta (0.333) alınarak normalize matrisin elemanlarıyla çarpılıp ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulmuştur (Çizelge 7). Ağırlıklandırılmış matriste, her bir sütundaki en büyük ve en küçük değerler yani A^* ve A^- değerleri bulunmuştur. A^* ve A^- değerleri pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerlerini belirtmektedirler (Çizelge 8).

Çizelge 8. A^* ve A^- değerlerinin belirlenmesi (Determination of A^* and A^- values)

	Sıcaklık	Pürüzlülük	Sertlik
A^*	0,0384	0,0616	0,0373
A^-	0,0357	0,0154	0,0362

Her bir ağırlıklandırılmış matris elemanının pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıkları yani S^* ve S^- değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 9).

Çizelge 9. S^* ve S^- değerlerinin belirlenmesi (Determination of S^* and S^- values)

Deneysel Numarası	S^*	S^-
1	0,037223	0,009063
2	0,035414	0,010873
3	0,002694	0,046195
4	0,046268	0,000229
5	0,004329	0,042035
6	0,029245	0,017174
7	0,016106	0,030186
8	0,027155	0,019185
9	0,029142	0,017188

TOPSIS yönteminin son aşamasında ise C_i^* sıralama puanları hesaplanmıştır (Çizelge 10). Tek yanıtlı Taguchi eniyilemesi prensipleri doğrultusunda, TOPSIS yönteminden elde edilmiş olan C_i^* değerleri kullanılarak, kesme hızı, kesme derinliği ve kesici takım çapının 1,2 ve 3.düzeylerinin karşılık geldiği değerlerin ortalaması alınmıştır. Örneğin kesme hızının 1. düzeyi için $(0.19581+0.234902+0.944901)/3$ işlemi gerçekleştirilmiştir ve elde edilen en iyi parametre seviyeleri bulunmuştur (Çizelge 11).

Çizelge 10. C_i^* değerlerinin belirlenmesi (Determination of C_i^* values)

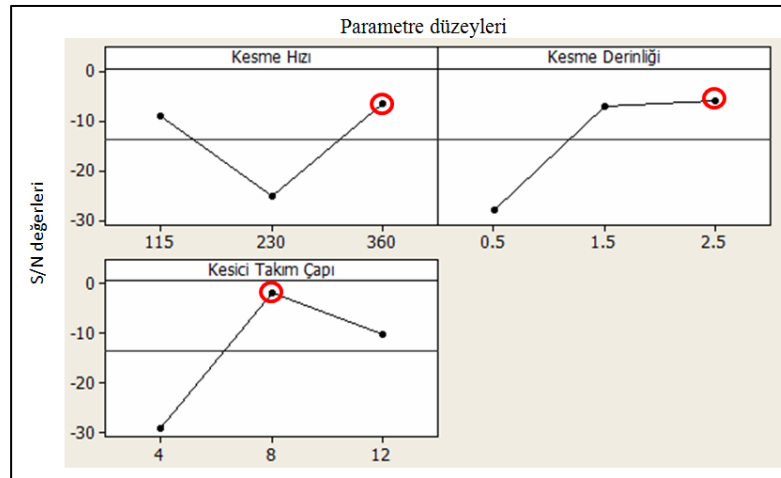
Deneysel Numarası	C_i^*
1	0,19581
2	0,234902
3	0,944901
4	0,004929
5	0,906623
6	0,369979
7	0,652076
8	0,414006
9	0,370989

Elde edilen ortalama değerlerin büyük olması istendiğinden her bir parametrenin en büyük değere karşı gelen düzeyi seçilmiştir. Sonuç olarak kesme

Çizelge 11. En iyi parametre seviyelerinin belirlenmesi (Determination of the optimum parameter levels)

Seviye	Kesme hızı	Kesme Derinliği	Kesici Takım Çapı
1	0,458537642	0,284271	0,203607
2	0,427176754	0,51851	0,834533*
3	0,479023602*	0,561956*	0,326598

*En iyi parametre seviyelerini gösterir (3,3,2)



Şekil 11. Optimal parametre düzeyleri (Optimal parameter levels)

hızının 3. Düzeyi (360 dev/dk), kesme derinliğinin

3.düzeyi (2,5 mm) ve kesici takım çapının 2.düzeyi (8 mm) en iyi parametre değerleri olarak belirlenmiştir. Taguchi - TOPSIS modelinden S/N değerlerine göre elde edilen optimal parametre seviyelerini gösteren grafik ise Şekil 11’de verilmektedir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

S/N	: sinyal/gürültü oranı
Y_i	: performans yanıtının i.gözlem değeri,
N	: bir denemedeki test sayısı,
\bar{y}	: ortalama değeri,
S^2	: gözlem değerlerinin varyansını
A	: Karar Matrisi
R	: Normalize Karar Matrisi
V	: Ağırlıklı Karar Matrisi
A^*	: İdeal Çözüm
A^-	: Negatif İdeal Çözüm
S_i^*	: İdeal noktaya uzaklık
S_i^-	: Negatif ideal noktaya uzaklık
C_i^*	: İdeal çözüme göreceli yakınlık
dev/dk	: devir/dakika
Ni	:Nikel
Cu	: Bakır
Mo	:Molibden

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kıvık T., “Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts”, *Measurement*, 50(4): 19-28, (2014)
2. Pınar A. M., Güllü A., “Sayısal denetimli hidrolik pozisyonlama sisteminin taguchi metodu ile optimizasyonu”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 25(1): 93-100, (2010)
3. Çakır R., Acır A., “Optimization of cutting parameters on drill bit temperature in drilling by Taguchi method”, *Measurement*, 46 (9): 3525-3531, (2013)
4. Kumar S., Satsang P.S., Prajapati D.R., “Optimization of green sand casting process parameters of a foundry by using Taguchi’s method”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55 (1): 23-34, (2012)
5. Dovey S.J., Matthews A., “Taguchi and TQM quality issues for surface engineered applications”, *Surface and Coatings Technology*, 110: 86-93, (1998)
6. Yang W.H., Tarn Y.S., “Design optimization of cutting parameters for turning based on Taguchi method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 84: 122-129, (1998)
7. Kuo Y., Yang T., Huang G.W., “The use of a grey based Taguchi method for optimizing multi response simulation problems”, *Engineering Optimization*, 40 (6): 517-528, (2008)
8. Liao H.C., “Using PCR-TOPSIS to optimise Taguchi’s multi response problem”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22: 649-655, (2003)

9. Yang T., Chou P., “Solving a multi response simulation-optimization problem with discrete variables using a multiple- attribute decision making method”, *Mathematics and Computers in Simulation*, 68: 9-21, (2005)
10. Liao J.T., Huang Y.S., “Optimization of machining parameters of wire –EDM based on grey relational and statistical analyses”, *International Journal of Production Research*, 41 (8): 1707-1720, (2003)
11. Biswas S.A., Datta S., Bhaumik S., Majumdar G., “Application of VIKOR Based Taguchi Method for Multi Response Optimization: a case study in submerged arc welding (SAW)”, *International Conference on Mechanical Engineering*, ICME 09-RT-35, 1-5, (2009)
12. Tong L.I., Chen C.C., Wang C.H., “Optimization of multi-response processes using the VIKOR method” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31: 1049-1057, (2007)
13. Lan T-S., “Taguchi optimization of multi objective CNC machining using TOPSIS” *Information Technology Journal*, 8 (6): 917-922, (2009)
14. İç Y.T., Yıldırım S., “Çok kriterli karar verme yöntemleriyle birlikte taguchi yöntemini kullanarak bir ürünün tasarımının geliştirilmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 27 (2):447-458, (2012)
15. Gök A., “A new approach to minimization of the surface roughness and cutting force via fuzzy TOPSIS, multi-objective grey design and RSA”, *Measurement*, 70: 100-109, (2015)
16. Yıldırım S., 2011. “Ürün tasarımı geliştirilmesi: Taguchi tasarımı”, *Yüksek Lisans Tezi*, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011)
17. Groover M.P., “Fundamentals of Modern Manufacturing”, *Wiley*, Third Ed., USA, (2007)