

SÜREÇ DOĞRULUK İNDEKSİ VE BULANIK KARAR ORTAMINDA KULLANILMASI

Cengiz Kahraman, İhsan Kaya*

İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34367, Maçka/İstanbul

Özet

Süreç Yeterlilik İndeksi (SYI), sürecin performansı hakkında fikir sahibi olmamızı sağlayan oldukça kullanışlı olan özet bir istatistiksel bilgidir. Literatürde sürecin mevcut durumunun ortaya konulması amacıyla kullanılan $C_p, C_{pl}, C_{pu}, C_{pk}, C_{pm}$ ve C_{pkm} süreç yeterlilik indeksleri bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bu indekslerden farklı olarak sürecin merkezlenmesinin derecesini belirten, süreç ortalaması hedef değerden (spesifikasyon limitlerinin orta noktası) farklılık gösterdiğinde uyarı veren ve süreç doğruluk indeksi (SDI - C_a) olarak adlandırılan bir SYI incelenecektir. Aynı zamanda, karar verme sürecindeki bazı değerlerin bulanık olarak ifade edilmesinin avantajları yardımıyla, alternatif makineler için tanımlanan bulanık spesifikasyon limitleri ve bulanık ortalamalar kullanılarak bir firmanın aynı özelliklere sahip olan makinalardan hangisini yenilemeye öncelik vereceği belirlenecektir. Bu amaçla otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın üretmekte olduğu silindirler incelenerek bu silindirlerin üretildiği 4 makinanın performansı, bulanık SDI kullanılarak analiz edilmiştir. Böylece yenileme veya bakım çalışmasında işletmenin hangi makinarya öncelik vermesi gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Süreç doğruluk indeksi, süreç yeterlilik indeksleri, bulanık mantık, makina yenileme kararı

USING PROCESS ACCURACY INDEX IN FUZZY DECISION MAKING ENVIRONMENT

Abstract

Process capability index (PCI) which is a summary and usable statistic about process performance gives us useful information to analyze process capability or incapability. For this aim many process capability indices (PCIs) have been used in the literature such as $C_p, C_{pl}, C_{pu}, C_{pk}, C_{pm}$, and C_{pkm} . Unlike these indices, a new PCI called Process Accuracy Index (PAI) and giving an alert when the process mean, μ , departures from target value that is defined as the midpoint of the specification limits is analyzed in this paper. Also the decision making process with fuzzy parameters gives us advantages on parameters' definition. At the same time the priorities of the machine for maintenance or replacement are determined by using fuzzy specification limits and means for alternative machines. The proposed PCI is applied in an automotive firm. Fuzzy process accuracy indices (FPIs) are evaluated for pistons produced by the firm and 4 alternative machines are compared with each other. As a result, the order of the maintenance or the order of the replacement for machines is determined.

Keywords: Process accuracy index, process capability indices, fuzzy logic, replacement decision

* E-posta: kayai@itu.edu.tr

1. Giriş

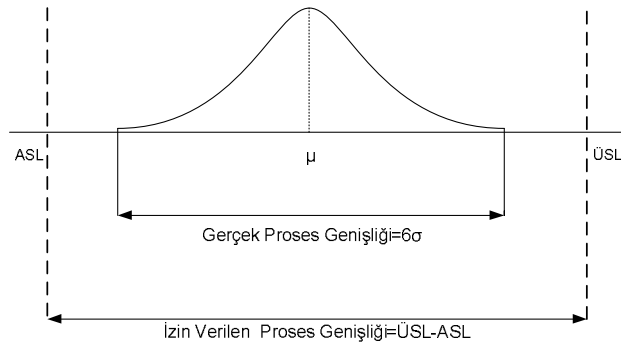
Süreç yeterlilik indeksleri, genellikle sürecin spesifikasyonları karşılama oranı olarak tanımlanan yeterliliklerini ölçmek amacıyla kullanılırlar. Bir anlamda SYI, sürecin spesifikasyon limitlerini karşılayacak şekilde çıktı ortaya koyabilmesinin bir ölçütüdür. Bu açıdan SYI, bir ürünün veya sürecin spesifikasyonlarla ilişkili olarak davranışını özetleyen sayısal bir değer olarak tanımlanabilir. Süreç yeterlilik indeksleri bizlere spesifikasyonların ne ölçüde karşılandığı ve yapılması gerekenlerle ilgili olarak karar vermemizi sağlayacak bilgiler sunarlar [1].

Süreç yeterliliğini tahmin etmek için genellikle C_p, C_{pk}, C_{pm} gibi süreç yeterlilik indeksleri kullanılmaktadır [2]. C_p , literatürde kullanılmaya başlanan ilk indekstir ve Eşitlik 1’de verildiği gibi hesaplanmaktadır [3].

$$C_p = \frac{\text{İzin Verilen Proses Gen.}}{\text{Gerçek Proses Gen.}} = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sigma} \quad (1)$$

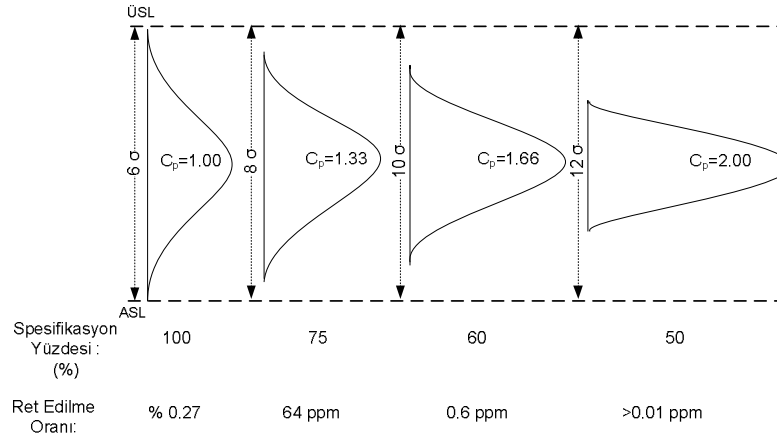
ÜSL: Üst Spesifikasyon Limiti ASL: Alt Spesifikasyon Limiti

Bu ifade de kullanılan 6σ değeri, doğal tolerans limiti olarak ta adlandırılmaktadır. Bu durum Şekil 1’de ifade edilmektedir.



Şekil 1. Süreç Yeterlilik Analizinin Genel İfadesi

Şekil 2’de ise süreç genişliği ile süreç spesifikasyon limitleri arasındaki ilişkinin değişik C_p değerleri için nasıl değişim gösterdiği belirtilmiştir [3].



Şekil 2. Sürecin Değişik Genişlikleri İçin Cp İndeksleri

Devam eden bir süreç için genellikle minimum değer olarak $C_p = 1.33$ olması istenir, bu yaklaşım, %0.007 gibi çok küçük bir spesifikasyon aralığının dışında kalma oranı sağlar.

C_p süreç yeterlilik oranı, süreç ortalaması spesifikasyonlara yakın olarak yerleştirildiği zaman dikkate alınmaz. C_p basit olarak, spesifikasyon genişliği ile altı sigma genişliğinin ilgisinin bir ölçüsüdür. Dolayısıyla bu indeks, sürecin

merkezlenmesi ile ilgilenmemektedir. Süreçlerin durumunu daha sağlıklı bir şekilde ifade edebilmek için yeni bir süreç yeterlilik oranının dikkate alınması gerekmektedir. Bu yeni oran, Eşitlik 2'deki gibi ifade edilebilir [1, 4]:

$$C_{pk} = \frac{\min\{\bar{U}SL - \mu, \mu - ASL\}}{3\sigma} \quad (2)$$

C_p ve C_{pk} indeksleri müşteri gereklerinin sağlanmaması durumunun oluşturduğu durumu dikkate almazlar. Ayrıca C_{pk} değeri, σ ifadesinin tersi ile ilişkilidir. Çok büyük σ değerleri için bu değer sıfıra yaklaşır. Bu özellik, C_{pk} ifadesinin merkezlenme ölçüsü olarak kullanılması bakımından bir dezavantaj yaratmaktadır. Bu durumda C_{pk} bu geniş ÜSL-ASL aralığı için ortalamasının yeri hakkında gerçek bir bilgi veremez. Bu problemi çözebilmek için C_{pm} indeksi kullanılmaktadır [5].

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{E[(X - T)^2]}} \quad (3)$$

Burada σ , sürecin standart sapması, T hedef değer ve $E[.]$ ise beklenen değerdir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde geleneksel anlamda süreç doğruluk indeksi incelenmiş ve temel özellikleri kısaca özetlenmiştir. Üçüncü bölümde ise, spesifikasyon limitleri ve ortalamasının bulanık üçgen sayı olarak ifade edilmesi durumunda süreç doğruluk indeksinin nasıl elde edilebileceği izah edilmiş ve bulanık sayıların karşılaştırılması için kullanılacak olan bir yöntem kısaca açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın ürettiği silindirlerden hareketle, üretimde kullandığı makinalar için bulanık süreç doğruluk indeksleri elde edilmiş ve bunlar karşılaştırılarak en kötü durumdaki makina belirlenmiştir. Böylece yenileme ve onarımda bu makineye öncelik verilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları kısaca tartışılmıştır.

2. Süreç doğruluk indeksi (Ca)

C_p indeksi süreç değişimlerinin, süreç içinde oluşan değişkenliklerin büyüklüğünü ölçerken, Eşitlik 4'te tanımlanan k indeksi ise süreç ortalaması μ 'nun merkez nokta (m)'dan sapmasının bir ölçütüdür. k indeksi, merkezlenmemiş bir süreç için sürecin genişleme değerini belirtir. Literatürde Japon indeksi olarak ta ifade edilen k indeksi şöyle tanımlanır [5]:

$$k = \frac{|\mu - m|}{\frac{USL - LSL}{2}} = \frac{|\mu - m|}{d} \quad (4)$$

Bu formülasyon da μ , süreç ortalaması; $d = \frac{\bar{U}SL - ASL}{2}$ yarım spesifikasyon genişliği, ÜSL-ASL sırasıyla üst ve alt spesifikasyon limitleri ve $m = \frac{\bar{U}SL + ASL}{2}$ ise spesifikasyon limitlerinin orta noktasıdır.

k değeri süreç ortalamasının, spesifikasyonların orta noktasından uzaklığını ifade eden istatistiksel bir sayıdır. Bu anlamda, sürecin performansını, hedef değeri veya spesifikasyon genişliğinin orta noktasını göz önünde tutarak yorumlaması bakımından C_a indeksi önemlidir. C_a indeksi, süreç ortalamasının, hedef değere olan uzaklığını göz önünde tutarak sürecin performansına ilişkin özet bir istatistik sunar. Örneğin, $k=0$ sürecin merkezlendiğini ve süreç ortalamasının hedef değere (orta nokta) eşit olduğunu ($\mu = m$) ifade eder. $k=1$ olması ise süreç ortalamasının spesifikasyon limitlerinden herhangi biri üzerinde olduğunu ($\mu = \bar{U}SL$) veya ($\mu = ASL$) ve sürecin buna göre bir dağılım gösterdiğini ifade etmektedir. Eğer $0 < k < 1$, şeklinde bir sonuç elde edilmişse, süreç ortalamasının spesifikasyon limitlerinden herhangi biri ile orta değer arasında olduğu anlaşılır. $k > 1$ olması durumunda ise süreç ortalamasının spesifikasyon limitlerinin dışında olacak şekilde ($\mu > \bar{U}SL$) veya ($\mu < ASL$) bir dağılım olduğu anlaşılacaktır [5].

Literatürde süreç merkezlenmesinin, spesifikasyon limitleri ile ilişkisini tanımlayan ve $C_a = 1 - k$ şeklinde tanımlanan indeks, Süreç Doğruluk İndeksi (SDİ) olarak adlandırılmaktadır. Bu indeks Eşitlik 5 kullanılarak elde edilir [5, 6]:

$$C_a = 1 - \frac{|\mu - m|}{d} \quad (5)$$

Çizelge 1’de değişik $C_a = 1 - k$ değerleri için, süreç ortalaması μ ’nün değişim aralığı verilmektedir.

Çizelge 1. C_a Değerleri ve μ ’nün Değişim Aralığı

Değeri	μ Aralığı
$C_a = 1.00$	$\mu = m$
$0.75 < C_a < 1.00$	$0 < \mu - m < \frac{d}{4}$
$0.50 < C_a < 0.75$	$\frac{d}{4} < \mu - m < \frac{d}{2}$
$0.25 < C_a < 0.50$	$\frac{d}{2} < \mu - m < \frac{3d}{4}$
$0.00 < C_a < 0.25$	$\frac{3d}{4} < \mu - m < d$
$C_a = 0.00$	$((\mu = USL) \text{ veya } (\mu = LSL))$
$C_a < 0.00$	$((\mu > USL) \text{ veya } (\mu < LSL))$

3. Bulanık süreç doğruluk indeksi $(BSDİ - \tilde{C}_a)$

Klasik kümelerdeki kesinlik kavramı, hem tanımlama hem de modelleme açısından pek çok zorluğu da beraberinde getirmektedir. 1965 yılında Zadeh tarafından “bulanık mantık-fuzzy logic” kavramı ortaya konulmuştur. Bulanık küme teorisi olarak adlandırılan bu felsefesinin temel düşüncesi, bir yargı için doğruluk değerleri (veya bulanık kümelerde üyelik değerleri) klasik küme yaklaşımındaki gibi sadece 0 veya 1 değeri almaz, 0 ile 1 arasında değişen değerler alır ve olabilirlik kavramı ile tüm alternatifleri değerlendirme imkânı sağlar. Bulanık mantık felsefesi ile ortaya konulan bu yaklaşım kısa sürede istatistik, kalite kontrol, karar verme, optimizasyon, maliyetlendirme... vb birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır. Son yıllarda bazı araştırmacılar bulanık mantığın SYI üzerindeki etkilerini de incelemişlerdir.

Chen ve Chen [7] bulanık çıkarsama yöntemi yardımıyla SYI’yi incelemişlerdir. Chen ve Chen [7] bulanık “eğer” kurallarına dayalı olarak çoklu-SYI değerlerini belirlemişlerdir. Hsu ve Shu [8] bulanık sayıların vektörel değerlerinden hareketle Taguchi kayıp fonksiyonuna dayanan ve C_{pm} indeksinin tahminlemesi için bulanık sayılar üreten bir metot önermişlerdir. Önerilen yaklaşım, elde edilen bulanık sonuçlardan hareketle ürün kalitesinin de tahmin edilmesine imkân sağlamaktadır. Hsu ve Shu [8] C_{pm} indeksine bağlı olarak, üretim sürecinin yeterlilik değerinin belirlenmesi için bulanık kritik değer ve bulanık p değerine dayanan iki bulanık çıkarsama kriteri önermişlerdir. Parchami ve Mashinchi [4], Kahraman ve Kaya [13], Kaya ve Kahraman [9, 10], Parchami ve diğ. [17], Buckley tarafından geliştirilen tahmin yaklaşımı üzerine bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım, C_p , C_{pk} ve C_{pm} proses yeterlilik değerlerinin tahmini için güven aralıklarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu SYI değerleri için üçgensel ve yamuk bulanık sayılar kullanılmış ve bunların karşılaştırılabilmesi için bazı sıralama yöntemleri önerilmiştir. Kaya ve Kahraman [11] analiz edilecek parametreler arasında bir korelasyon durumu varken sürecin yeterliliğinin bulanık parametreler altında analiz edilmesini incelemişlerdir. Bu amaç çerçevesinde, İstanbul

un hava kirliliği analiz edilmiştir. İstanbul'da Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kartal, Sarıyer, Üsküdar, Ümraniye ve Yenibosna'da kurulmuş olan ve sürekli olarak gözlem yapmakta olan hava kontrol istasyonlarının gözlem değerleri Mart 2007–2008 yılları arasında incelenmiş ve süreç yeterlilik değerleri elde edilerek risk değerlendirmesi yapılmıştır. Kahraman ve Kaya [13], Kaya ve Kahraman [10], Buckley'in tahmin yaklaşımını kullanarak spesifikasyon limitleri ve varyansın bulanık olması durumunda C_p ve C_{pk} indekslerini verecek üyelik fonksiyonlarını üçgensel ve yamuk bulanık sayılar için elde etmişlerdir. Kaya ve Kahraman [12] elde edilen SYI değerleri bulanık altı sigma yaklaşımı çerçevesinde değerlendirmiş ve altı sigma yaklaşımı çerçevesinde SYI değerlerini türetecek olan üyelik fonksiyonlarını elde etmişlerdir. Parchami ve diğ. [15], Buckley'in tahmin teorisini kullanarak üçgensel bulanık sayılar için SYI değerlerinin güven aralıklarını bulanık olarak elde etmişlerdir. Tsai ve Chen [16] C_p için üyelik fonksiyonlarının elde edilmesini sağlayacak yaklaşımları incelemiş ve SYI değerleri için uygun hipotez testleri prosedürlerini geliştirmiştir. Chen ve diğ. [18] bulanık çıkarsama yaklaşımı kullanılarak SYI değerlerinin bulanık olarak tahminlemesini incelemişlerdir. Chen ve diğ. [19], bulanık parametreler altında C_{pm} indeksinin elde edilmesini ve tedarikçi seçim probleminde kullanılmasını incelemişlerdir. Lee [20], C_{pk} indeksinin bulanık olarak elde edilmesini incelemiştir. Bu çalışma kapsamında, bu indekslerden farklı olarak sürecin merkezlenmesinin derecesini belirten, süreç ortalaması hedef değerden (spesifikasyon limitlerinin orta noktası) farklılık gösterdiğinde uyarı veren ve süreç doğruluk indeksi ($SDI - C_a$) olarak adlandırılan yeni bir SYI, bulanık parametreler altında incelenmiştir. Aynı zamanda, karar verme sürecindeki bazı değerlerin bulanık olarak ifade edilmesinin avantajları yardımıyla, alternatif makineler için tanımlanan bulanık spesifikasyon limitleri ve bulanık ortalamalar kullanılarak bir firmanın aynı özelliklere sahip olan makinalardan hangisini yenilemeye öncelik vereceği C_a indeksi kullanılarak belirlenmiştir. SYI için bulanık mantık yaklaşımının kullanılmasının en önemli avantajlarından biri spesifikasyon limitlerinin bulanık olarak tanımlanabilmesidir. Yani kesin bir değer yerine, daha hassas bir aralığı kapsayacak şekilde, “arasında”, “yaklaşık olarak” şeklinde yargı içeren ifadelerle spesifikasyon limitleri tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında spesifikasyon limitleri ve ortalama değeri tanımlanırken, “yaklaşık olarak” dilsel ifadesi kullanıldığı için, spesifikasyon limitleri üçgensel bulanık sayı (ÜBS) olarak tanımlanmıştır. Ayrıca uygulama aşamasında, karar vericinin makina tercihleri için, makina çıktılarının ortalaması da ÜBS olarak tanımlanacaktır. Spesifikasyon limitleri ve ortalamanın ÜBS olarak ifade edilmesi durumunda $SDI(\tilde{C}_a)$ bulanık olarak analiz edilecektir.

3.1. Üçgensel bulanık sayılar için bulanık süreç doğruluk indeksi

Bir ÜBS için sırasıyla bulanık toplama, çıkarma ve bölme işlemi aşağıdaki gibi tanımlanır [21]:

$\tilde{A} = \text{ÜBS}(a_1, a_2, a_3)$, ve $\tilde{B} = \text{ÜBS}(b_1, b_2, b_3)$ şeklinde tanımlanan bulanık sayılar olmak üzere:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \text{ÜBS}(a_1, a_2, a_3) \oplus \text{ÜBS}(b_1, b_2, b_3) \quad (6)$$

$$= \text{ÜBS}(a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \text{ÜBS}(a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1). \quad (7)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = \text{ÜBS}(a_1, a_2, a_3) \oslash \text{ÜBS}(b_1, b_2, b_3) \quad (8)$$

$$= \text{ÜBS}\left(\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1}\right)$$

$$\tilde{A} \oslash m = \text{ÜBS}(a_1, a_2, a_3) \oslash m = \text{ÜBS}\left(\frac{a_1}{m}, \frac{a_2}{m}, \frac{a_3}{m}\right) \quad (9)$$

Üst ve alt spesifikasyon limitleri bulanık olarak $\tilde{U}SL = \text{ÜBS}(u_1, u_2, u_3)$, $\tilde{A}SL = \text{ÜBS}(l_1, l_2, l_3) \in F_T(\mathfrak{R})$ şeklinde tanımlanmış olsun. $\tilde{\mu}$ bulanık olarak tanımlanmış süreç ortalaması olmak üzere bulanık SDI aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\tilde{C}_a = 1 - \frac{|\tilde{\mu} - \tilde{m}|}{\tilde{d}} \quad (10)$$

$$\tilde{m} = \frac{\tilde{U}\tilde{S}L + A\tilde{S}L}{2} = \left(\frac{u_1 + l_1}{2}, \frac{u_2 + l_2}{2}, \frac{u_3 + l_3}{2} \right) \quad (11)$$

$$\tilde{d} = \frac{\tilde{U}\tilde{S}L - A\tilde{S}L}{2} = \left(\frac{u_1 - l_3}{2}, \frac{u_2 - l_2}{2}, \frac{u_3 - l_1}{2} \right) \quad (12)$$

SDI, bulanık olarak \tilde{C}_a Eşitlik 13'ten elde edilebilir:

$$\tilde{C}_a = \begin{cases} 1 - \frac{\tilde{\mu} - \tilde{m}}{\tilde{d}}, & \text{Eğer } \tilde{\mu} \geq \tilde{m} \\ 1 - \frac{\tilde{m} - \tilde{\mu}}{\tilde{d}}, & \text{Eğer } \tilde{\mu} < \tilde{m} \end{cases} \quad (13)$$

3.2. Tran ve duckstein'in metodu

Eşitlik 13 kullanılarak $\tilde{\mu}$ ve \tilde{m} değerlerini kıyaslamak için bir bulanık karşılaştırma yönteminin kullanılması gerekir. Bu çalışmada bu amaçla Tran ve Duckstein [22] tarafından geliştirilen yöntem kullanılacaktır. Bu yöntem, bulanık sayıların daha önceden belirlenmiş olan kesin maksimum (crisp-max: Max) ve kesin minimum (crisp-min: Min) gibi iki değere olan uzaklığına göre karar veren bir yöntemdir. D_{max} kesin maksimuma olan uzaklık, D_{min} ise kesin minimuma olan uzaklık iken, yöntem D_{max} için en küçük, D_{min} için en büyük değeri veren alternatifi tespit eder. Bu alternatifi en iyi alternatif olarak tanımlar. A kümesi $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ şeklinde tanımlanan bir ÜBS olmak üzere, maksimum ve minimum değerler aşağıdaki eşitliklere göre belirlenir:

$$\begin{aligned} Max(I) &\geq \sup \left(\bigcup_{i=1}^I s(A_i) \right) \\ Min(I) &\leq \inf \left(\bigcup_{i=1}^I s(A_i) \right) \end{aligned} \quad (14)$$

Bir ÜBS için hesaplama Eşitlik 15 göz önünde tutularak yapılır.

$$D^2(A, M) = \left\{ \begin{aligned} &(a_2 - M)^2 + \frac{1}{2}(a_2 - M)[(a_3 + a_1) - 2M] \\ &+ \frac{1}{9}[(a_3 - a_2)^2 + (a_2 - a_1)^2] - \frac{1}{9}[(a_2 - a_1)(a_3 - a_2)] \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Bu eşitlikte M , sırasıyla Max ve Min değerlerini alır ve D_{max} ve D_{min} hesaplanır.

4. Uygulama

Bu çalışma kapsamında üretim sürecinde yer alan alternatif 4 makina için bulanık SDI (\tilde{C}_a) kullanılarak yenileme kararının verilmesi incelenmiştir. Tüm makineler için bulanık spesifikasyon limitleri ve bulanık ortalamalar kullanılarak bulanık SDI oluşturulmuş ve ikili karşılaştırmalar yapılarak yenilemeye en çok ihtiyaç duyan makina belirlenmiştir. Otomotiv sanayinde faaliyet gösteren bir firmanın silindir üretmekte olan makineleri incelenmiştir. Şekil 3 ve 4'te incelenen bu ürün ve incelemeye tabi tutulan özellik gösterilmektedir. Firma bu silindirlere ait göbek

çapını (ΦA) kontrol etmek istemektedir. Makinalardan alınan örneklere göre elde edilen ortalama değerleri (ΦA) ÜBS şöyledir (mm):

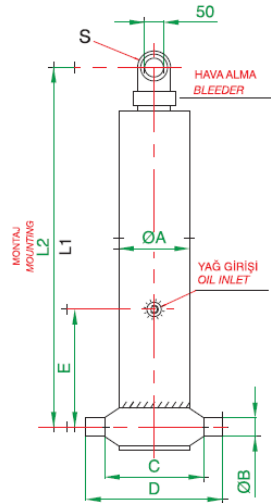
$$\begin{aligned}\mu_I &= \text{Yaklaşık } 141.05 \text{ mm} = \text{ÜBS } (141.045, 141.050, 141.055) \\ \mu_{II} &= \text{Yaklaşık } 141.35 \text{ mm} = \text{ÜBS } (141.345, 141.350, 141.355) \\ \mu_{III} &= \text{Yaklaşık } 141.17 \text{ mm} = \text{ÜBS } (141.165, 141.170, 141.175) \\ \mu_{IV} &= \text{Yaklaşık } 141.11 \text{ mm} = \text{ÜBS } (141.105, 141.110, 141.115).\end{aligned}$$

Bu çap değeri için spesifikasyon limitleri ise ÜBS olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (mm):

$$\begin{aligned}\text{ÜSL} &= \text{Yaklaşık } 141.37 = (141.365, 141.370, 141.375); \\ \text{ASL} &= \text{Yaklaşık } 141.03 = (141.025, 141.030, 141.035).\end{aligned}$$

Eşitlik 11 ve 12 dikkate alınarak \tilde{d} ve \tilde{m} değerleri aşağıdaki gibi belirlenir:

$$\begin{aligned}\tilde{m} &= (141.195, 141.200, 141.205) \\ \tilde{d} &= (0.165, 0.170, 0.175)\end{aligned}$$



Şekil 3. Silindir İçin Örnek Bir Teknik Resim



Şekil 4. Silindir Normal Görünüm

Eşitlik 13'ten bulanık SDI için en uygun formülü seçmek için $\tilde{\mu}$ ve \tilde{m} değerlerinin karşılaştırılması gerekir. Tran ve Duckstein'in yöntemi kullanılarak yapılan karşılaştırmalar Çizelge 2'de özetlenmektedir.

Çizelge 2. $\tilde{\mu}$ ve \tilde{m} Değerlerinin Karşılaştırılması

	a_1	a_2	a_3	Dmax	Dmin	Karar
\tilde{m}	141.1950	141.2000	141.2050	0.0142	0.1273	$\mu_I < \tilde{m}$
$\tilde{\mu}_I$	141.0450	141.0500	141.0550	0.2263	0.0849	
\tilde{m}	141.1950	141.2000	141.2050	0.0142	0.1273	$\mu_{II} > \tilde{m}$
$\tilde{\mu}_{II}$	141.3450	141.3500	141.3550	0.1980	0.3394	
\tilde{m}	141.1950	141.2000	141.2050	0.0142	0.1273	$\mu_{III} < \tilde{m}$
$\tilde{\mu}_{III}$	141.1650	141.1700	141.1750	0.0566	0.0849	
\tilde{m}	141.1950	141.2000	141.2050	0.0142	0.1273	$\mu_{IV} < \tilde{m}$
$\tilde{\mu}_{IV}$	141.1050	141.1100	141.1150	0.1414	0.0017	

Eşitlik 13 kullanılarak her makina için \tilde{C}_a değerleri şu şekilde belirlenmiştir:

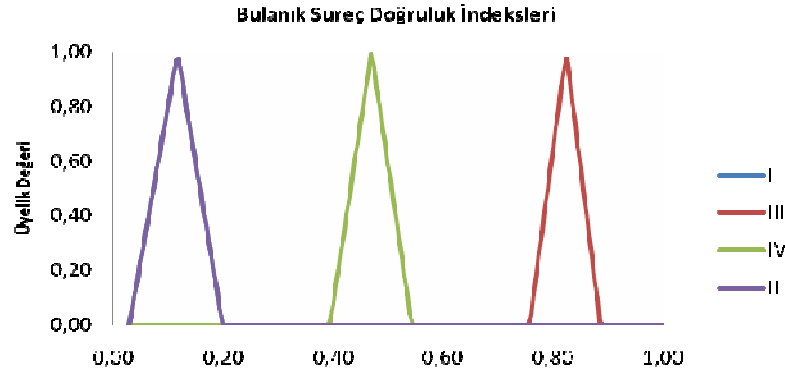
$$\tilde{C}_{aI} = (0.03, 0.118, 0.200),$$

$$\tilde{C}_{aII} = (0.03, 0.118, 0.200),$$

$$\tilde{C}_{aIII} = (0.758, 0.824, 0.886),$$

$$\tilde{C}_{aIV} = (0.394, 0.471, 0.543).$$

Her makina için \tilde{C}_a indekslerinin üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. \tilde{C}_a İndeksleri İçin Üyelik Fonksiyonları

Toplam olarak 4 makina analiz edilmesine karşın, Şekil 5'te I ve II numaralı makinalar için üyelik fonksiyonları eşit olduğundan 3 adet grafik görülmektedir. I ve II numaralı alternatifler için grafikler birebir örtüşmektedir.

\tilde{C}_a İndeksi yardımıyla bu makinalar karşılaştırılmıştır. Buradaki temel amaç, en kötü durumdaki makinayı belirlemek ve olası bir bakım veya yenileme anında bu makinaya öncelik vermektir. Süreç doğruluk indeksleri bulanık olarak ifade edildiği için bunların karşılaştırılması içinde Tran ve Duckstein'in yöntemi kullanılmıştır. Çizelge 3'te bu karşılaştırmalar verilmiştir.

Çizelge 3. Bulanık Doğruluk İndeksine Göre Makina Karşılaştırması

Makina	a_1	a_2	a_3	Dmax	Dmin	Sıralama
I	0,03	0,12	0,20	1,249	0,140	4,3
II	0,03	0,12	0,20	1,249	0,140	3,4
III	0,76	0,82	0,89	0,251	1,136	1
IV	0,39	0,47	0,54	0,750	0,637	2

Çizelge 3'ten de görüleceği üzere makinaların doğruluk indeksine göre en iyi durumdan en kötüye doğru sıralaması $\{III - IV - I - II\}$ veya $\{III - IV - II - I\}$ şeklindedir. Dolayısıyla Makina-I veya Makina-II'nin yenileme kararlarında öncelikli tutulması sürecin iyileştirilmesi açısından yararlı olacaktır.

5. Sonuçlar

SYI bir sürecin mevcut performansını özetlemek için kullanılabilir çok yararlı bir istatistiktir. Son yıllarda SYI ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Literatürde bu amaçla kullanılan bazı indeksler ile karşılaşmak mümkündür. Bunlardan biride sürecin ortalama değeri ile hedef değeri (spesifikasyon limitlerinin orta noktası) arasındaki mesafeyi dikkate alan ve doğruluk indeksi olarak adlandırılan C_a indeksidir. Bu indeks hedef değer ile ortalama arasındaki değişimi çok başarılı bir şekilde ifade edebilmektedir. Bu çalışmada, ayrıca klasik yaklaşımın tanımlamadaki kesinlik yargılarının dezavantajlarını ortadan kaldırabilmek için SYI için spesifikasyonlar ve

ortalamalar BÜS olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım çerçevesinde \tilde{C}_a indeksi elde edilmiş ve otomotiv sektöründe faaliyette bulunan bir işletmede makina yenileme analizi kararları için uygulanmıştır. Aynı silindirleri üreten ve aynı özelliklere sahip 4 makina alternatifi karşılaştırılmış ve II veya I numaralı makinaların değişim veya bakım faaliyetlerinde öncelikli tutulmasının sürecin kalitesini iyileştireceği tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Montgomery, D. C., “*Introduction to Statistical Quality Control*”, John Wiley& Sons, New York, (2005).
- [2] Kotz, S., Johnson, N., “Process capability indices-a review 1992-2000”, *Journal of Quality Technology*, Vol. 34, 2-19 (2002).
- [3] Kane, V.E., “Process capability indices”, *Journal of Quality Technology*, Vol. 18, No 1, 41–52 (1986).
- [4] Parchami, A., Mashinchi, M., “Fuzzy estimation for process capability indices”, *Information Sciences*, Vol. 177, 1452–1462 (2007).
- [5] Pearn, W. L., Kotz, S., “*Encyclopedia and Handbook of Process Capability Indices*”, Series on Quality, Reliability and Engineering Statistics, 12, World Scientific, (2006).
- [6] Pearn, W.L., Lin, G.H., Chen, K.S., “Distributional and inferential properties of the process accuracy and process precision indices”, *Communications in Statistics: Theory and Methods*, Vol. 27, No 4, 985–1000 (1998).
- [7] Chen, K.S., Chen, T.W., “Multi-process capability plot and fuzzy inference evaluation”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 111, No 1, 70–79 (2008).
- [8] Hsu, B.M., Shu, M.H., “Fuzzy inference to assess manufacturing process capability with imprecise data”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 186, No 2, 652–670 (2008).
- [9] Kaya, İ., Kahraman, C., 2007b, “Air pollution control using six sigma approach”, *Proceedings of the 1st International Conference on Risk Analysis and Crisis Response, Book Series: Advances In Intelligent System Research*, Vol.2, 110-115 (2007).
- [10] Kaya, İ., Kahraman, C., “Fuzzy process capability analyses: An application to teaching processes”, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 19, No 4-5, 259-272 (2008).
- [11] Kaya, İ., Kahraman, C., “Fuzzy robust process capability indices for risk assessment of air pollution”, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, doi: 10.1007/s00477-008-0238-2 (2008)
- [12] Kaya, İ., Kahraman, C., “Air pollution control using fuzzy process capability indices in six-sigma approach”, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, Article in Pres (2009).
- [13] Kahraman, C., Kaya, İ., “Fuzzy process capability indices for quality control of irrigation water”, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, doi: 10.1007/s00477-008-0232-8 (2009).
- [14] Kahraman, C., Kaya, İ., “Fuzzy process accuracy index to evaluate risk assessment of drought effects in Turkey”, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, Article in Pres (2009).
- [15] Parchami, A., Mashinchi, M., Maleki, H.R., “Fuzzy confidence interval for fuzzy process capability index”, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 17, 287–295 (2006).
- [16] Tsai, C. C., Chen, C. C., “Making decision to evaluate process capability index C_p with fuzzy numbers”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 30, 334–339 (2006).
- [17] Parchami, A., Mashinchi, M., Yavari, A.R., Maleki, H.R., “Process capability indices as fuzzy numbers”, *Austrian Journal of Statistics*, Vol.34, No 4, 391–402 (2005).
- [18] Chen, T. W., Chen, K. S., Lin, J. Y., “Fuzzy evaluation of process capability for bigger-the-best type products”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 21, 820–826 (2003).
- [19] Chen, T.W., Lin, J.Y., Chen, K.S., “Selecting a supplier by fuzzy evaluation of capability indices C_{pm} ”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 22, 534–540 (2003).
- [20] Lee, H.T., “ C_{pk} index estimation using fuzzy numbers”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 129, 683–688 (2001).
- [21] Lee, K.W., “*First course on fuzzy theory and applications*”, Advances in soft computing, Springer, Heidelberg (2005).
- [22] Tran, L., Duckstein, L., “Comparison of fuzzy numbers using a fuzzy distance measure”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.130, 331-341 (2002).