

## Bulanık $\bar{x}$ – R diyagramları kullanılarak bulanık süreç yeterlilik analizi

Halenur Soysal<sup>1\*</sup>, Semra Boran<sup>2</sup>

17.04.2014 Geliş/Received, 06.06.2014 Kabul/Accepted

### ÖZ

Süreç yeterlilik analizi, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için sürecin yeteneğini değerlendiren bir istatistiksel süreç kontrol tekniğidir. Ancak, gözlemlerin ve spesifikasyon limitlerinin dilsel ifadeler içerdiği veya kesin değerler olarak ifade edilemediği durumlarda, geleneksel yeterlilik indisleri yanıltıcı sonuçlara sebep olabilir. Bu çalışmada, daha detaylı ve esnek analiz sağlanması için bulanık sayılar kullanılmıştır. Bu amaçla, bulanık gözlem değerlerine sahip bir sürecin bulanık mantıkla analizi yapılmıştır. Bulanık kontrol diyagramlarıyla sürecin kontrol durumu test edilmiş, bulanık spesifikasyon limitleri ile sürecin yeterlilik indisleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada, süreç yeterlilik indisinin aldığı üçgensel bulanık değere göre, süreç “yeterli-yetersiz” ifadelerine ek olarak süreç “kısmen yeterli-kısmen yetersiz” gibi kararlar da mümkün kılınmıştır. Süreç yeterliliğinin yorumlanması için “Direkt Bulanık Yaklaşım” esas alınarak bazı bulanık kurallar önerilmiş ve uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** süreç yeterlilik analizi, kontrol diyagramları, bulanık kurallar, üçgensel bulanık sayılar

## Fuzzy process capability analysis by using fuzzy $\bar{x}$ – R control charts

### ABSTRACT

Process capability analysis, which assesses the ability of a process to meet customer needs, is a statistical process control technique. However, when measurements and specification limits have linguistic definitions or cannot be defined with crisp numbers, traditional capability indices would cause misleading results. In this study, fuzzy numbers are used to provide more flexible and deep analyses. For this aim, a process with fuzzy measurements is analyzed with fuzzy logic. Control situation of the process is tested by fuzzy control charts, and capability indices are calculated based on fuzzy specification limits. Regarding triangular fuzzy numbers of the capability indices, this study makes “rather capable-rather incapable” statements possible in addition to “capable-incapable”. On the basis of “Direct Fuzzy Approach”, some fuzzy rules are proposed and applied to interpret the capability of the process.

**Keywords:** process capability analysis, control charts, fuzzy rules, triangular fuzzy numbers

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya - halenursoysal@gmail.com

2 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya- boran@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Müşterinin istediği spesifikasyonlarda üretim yapılabilmesi için, şirketlerin kurdukları süreçleri sürekli kontrol etmesi ve yüksek performanslı istikrarlılık sağlaması gerekir. Bu amaçla, örnekleme yapılarak periyodik ölçümlerle kalitenin sürekli izlenmesi ve kontrolüne yardımcı olan istatistiksel süreç kontrol teknikleri geliştirilmiştir. İstatistiksel süreç kontrolü değişimin özel nedenlerini ortadan kaldırarak süreci sürekli kontrol altında tutmayı amaçlar. Süreçteki değişkenlikleri tespit etmenin bir yolu kontrol diyagramlarıdır. Kontrol diyagramları, belirli ve eşit zaman aralıklarında örneklemlerden elde edilen değerlerin zaman içindeki değişimlerinin gösterildiği grafiklerdir [1].

İstatistiksel süreç kontrolüyle kararlı ve kontrol altında olan bir sürecin performansı ve gelecekteki durumu hakkında tahminler yapılabilir. Sürecin değişkenliğini ölçmede, istenen spesifikasyonlarda üretim sağlamada sürecin potansiyel ve gerçek yeteneği süreç yeterlilik analizi ile ölçülebilir. Süreç yeterlilik analizi, bir bakıma istenen spesifikasyonlarla sürecin doğal değişkenliği arasındaki ilişkinin derecesidir, sürecin istenen spesifikasyonları karşılamadaki yeterliliğidir. Süreç yeterlilik analizi yapılırken sürecin yeterliliği süreç yeterlilik indisleriyle özetlenir. Sürecin yeterli denebilmesi için, analizin başında belirlenen süreç yeterlilik değerine göre sürecin geleceği hakkında kararlar alınır, gerekli düzenleme ve iyileştirmeler yapılır. Normal dağılıma uyan veya benzeyen bir sürecin etkili ve doğru şekilde yeterliliğinin ölçülebilmesi için sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması gerekir. Kararlılık veya sürecin istatistiksel kontrolü süreç yeterlilik indislerinin doğru tercüme edilmesinde önemli rol oynar. Süreç kontrol altında değilse, parametreler de sabit olmayacaktır ve bu parametrelerin gelecekteki değerleri de belirsiz olacaktır [2].

İşletmelerde her bir süreçten çıkan parçaların kalite kontrolü yapılırken, ölçüm sisteminden ya da işçi faktöründen kaynaklanan bazı ölçüm hataları olabilmektedir. Sürecin performans ve yeteneğinin analizi yapılırken, bu ölçüm hataları dikkate alınarak gözlem verilerinin belirsiz ifadeler içermesi analizin yapılmasında sıkıntılara yol açabilmektedir. Belirsizlik altındaki durumlarda karar analizleri genellikle olasılık teorisi ve/veya bulanık kümeler teorisi kullanılarak yapılmaktadır. Zadeh [3] tarafından geliştirilen bulanık kümeler teorisi, ne rassal ne de stokastik olan insanın zihinsel yapısından kaynaklanan belirsizliğin modellenmesinde mükemmeldir [4].

Bu çalışmada, bulanık gözlem değerlerine sahip bir sürecin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesinde

bulanık kontrol limitlerine sahip kontrol diyagramları kullanılmıştır. Kontrol diyagramları oluşturulurken, bulanık kontrol limitleri ve örneklem değerleri klasik sayılara dönüştürülmeden bulanık sayılar olarak değerlendirilmiştir. Böylece bulanık sayıların taşıdıkları bilgilerin kaybolması önlenmiştir. Sonrasında süreç yeterliliği, bulanık spesifikasyon limitleri üzerinden yeterlilik indisleri aracılığıyla analiz edilmiştir. Bu analiz yapılırken bu çalışmada geliştirilen bulanık kurallar kullanılmıştır.

Genelde bulanık süreç yeterlilik analizi, literatürdeki çalışmalarda bulanık değerlerin temsili değerlere dönüştürülmesiyle ya da elde edilen bulanık yeterlilik indislerinin kalite uzmanlarının yorumuna bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ancak bulanık sayılar temsili değerlere dönüştürüldüğü zaman taşıdığı bilgileri kaybetmektedir. Bu da, kalite uzmanlarının süreç yeterliliğini yanlış veya eksik değerlendirmelerine neden olabilmektedir. Bu değerlendirmedeki belirsizlikler, sürecin yeteneği hakkında doğru karar verilmesini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, bulanık sayıların klasik sayılara dönüştürülmeden kullanılmasına olanak tanıyan “Direkt Bulanık Yaklaşım” [4] esas alınarak, süreç yeterliliğinin yorumlanmasında kullanılmak üzere yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımla, bulanık elde edilen süreç yeterlilik indislerinin, bulanık kurallar yardımıyla temsili değerlere dönüştürülmeden incelenmesiyle yeterlilik analizine farklı bir bakış açısı getirilmiş ve literatürdeki eksiklik kapatılmaya çalışılmıştır. Süreç yeterlilik indisleri için geliştirilen bu kurallar; yeterlilik indisinin aldığı üçgensel bulanık değeri baz alarak, süreç “yeterli” ya da “yetersiz” gibi katı ifadelerden ziyade, süreç “kısmen yeterli” ya da süreç “kısmen yetersiz” gibi ara ifadeleri de mümkün kılmaktadır. Bu şekilde, bulanık gözlem değerlerine ve spesifikasyon limitlerine sahip süreçlerin daha esnek ve doğru olarak yeterliliğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bölüm 2’de geleneksel kontrol diyagramları ve süreç yeterlilik analizi, Bölüm 3’te bulanık kontrol diyagramları ve bulanık süreç yeterlilik analizi anlatılmıştır. Bölüm 4’te bulanık gözlem değerlerine sahip bir sürecin bulanık yeterlilik analizi uygulaması yapılmıştır. Bölüm 5’te bu analizin sonuçları ve gelecek çalışma önerilerinden bahsedilmiştir.

## 2. GELENEKSEL KONTROL DİYAGRAMLARI VE SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ (TRADITIONAL CONTROL CHARTS AND PROCESS CAPABILITY ANALYSIS)

$\bar{x}$  diyagramı belirli bir zaman aralığında süreçteki her bir örneklemin ortalamasının ana kütle ortalaması içerisindeki değişimlerinin gözlenmesinde kullanılır.  $R$  değişim aralığı diyagramıdır ve her bir örneklemin

içindeki en büyük ve en küçük değer farkının, ana kütle değişim aralığı ortalamasına göre değişkenliğinin izlenmesinde kullanılır.  $\bar{x} - R$  kontrol diyagramları, kalite karakteristiğinin ortalamasını oluşturan bir orta çizgi (merkez çizgisi-MÇ) ile sürecin sınırlarını belirten alt kontrol limiti (AKL) ve üst kontrol limitinden (ÜKL) oluşur. Süreçten alınan herhangi bir örneklem bu limitlerin dışına çıktığında süreç kontrol dışındadır. Denklem (1)-(8)  $\bar{x}$  ve  $R$  diyagramları için kontrol limitlerini, süreç ortalamasını ve standart sapmasını göstermektedir.

$$\text{ÜKL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \quad (1)$$

$$M\check{C}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} \quad (2)$$

$$AKL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \quad (3)$$

$$\text{ÜKL}_R = \bar{R}D_4 \quad (4)$$

$$M\check{C}_R = \bar{R} \quad (5)$$

$$AKL_R = \bar{R}D_3 \quad (6)$$

$$\mu = \bar{\bar{x}} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (8)$$

Sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğu belirlendikten sonra, sürecin potansiyel ( $C_p$ ) ve gerçek ( $C_{pk}$ ) yeterlilik indisleri hesaplanır.  $C_p$  basit olarak, spesifikasyon genişliği ile altı sigma genişliğinin ilgisinin bir ölçüsüdür (Denklem 9). Dolayısıyla bu indeks, sürecin merkezlenmesi ile ilgilenmemektedir. Süreçlerin durumunu daha sağlıklı bir şekilde ifade edebilmek için yeni bir süreç yeterlilik oranının dikkate alınması gerekmektedir [5]. Bu yeni oran  $C_{pk}$  ile gösterilir (Denklem 12).

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sigma} \quad (9)$$

$C_{pk}$  indisi sürecin hem yayılımını hem de süreç ortalamasının hedef değerden sapmasını kontrol ederek sürecin spesifikasyonlar arasında gerçekleşen performansını özetler.  $C_{pl}$  alt spesifikasyon limitindeki (ASL),  $C_{pu}$  üst spesifikasyon limitindeki (ÜSL) süreç yeterliliğini hesaplayarak sürecin spesifikasyon limitlerinin ortasında merkezlenip merkezlenmediğini belirler (Denklem 10-11). Süreç ortalaması merkezden kayma gösterdiğinde ürünler spesifikasyon limitlerine yakın üretilecek, kusurlu ürün oranı da artacaktır. Çoğu süreçlerde sürecin spesifikasyonların tam orta noktasında merkezlenmesi çok zordur, ancak yine de sürecin merkezden kayması en az olacak şekilde üretim sağlanmalıdır. Birçok uygulamanın kritikliği ve süreç ortalamasının spesifikasyon genişliğinin orta noktasında sürekliliğini sağlayamayacak olması, devam eden süreçler için süreç yeterlilik değerinin en az 1.33

olmasını gerektirmiştir [6]. Sonuç olarak  $C_p$  ve  $C_{pk}$ 'nin 1.33'ten büyük olması durumunda proses yeterliliği sağlanmış olduğundan İPK(istatistiksel proses kontrol)'nin "yetenek oluşturma" fazı bitirilmiş, "yeteneğin korunması" aşamasına geçilmesi için gerekli ortam sağlanmış olacaktır [7].

$$C_{pl} = \frac{\mu - \text{ASL}}{3\sigma} \quad (10)$$

$$C_{pu} = \frac{\text{ÜSL} - \mu}{3\sigma} \quad (11)$$

$$C_{pk} = \min\{C_{pl}, C_{pu}\} \quad (12)$$

Kararlı ve iyi bir sürecin yeterlilik hesaplamasında  $C_p = C_{pk}$  olması gerekir. Bu eşitlik sürecin spesifikasyonları aynı oranda kullandığını ve spesifikasyonların ortasında merkezlendiğini gösterir [8].  $C_{pk} < C_p$  olduğunda ise sürecin ortalamasının merkezlenmediği anlaşılır.

### 3. BULANIK KONTROL DİYAGRAMLARI VE BULANIK SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ (FUZZY CONTROL CHARTS AND FUZZY PROCESS CAPABILITY ANALYSIS)

Kontrol şemalarının sürecin genel davranışını örnekleme esasına dayanarak göstermesi, süreçten alınan örneklerin çok hassas ölçü aletleriyle yapılamaması ya da ölçüm sonuçlarının işçi farklılıklarına göre değişmesi gözlem değerlerinin kesin olmayan yaklaşık değerler ifade etmesine sebep olacaktır. Bu belirsiz değerler, geleneksel Shewart kontrol diyagramlarının [9], sürecin kontrol altında olduğunu belirlemesi açısından yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu yetersizliği gidermek amacıyla, bulanık küme teorisinin kullanıldığı, daha hassas istatistiksel süreç kontrolü sağlayan bulanık kontrol diyagramları geliştirilmiştir. Son yıllarda geliştirilen bulanık kontrol diyagramları sayesinde geleneksel kontrol diyagramları kesin sınırlarından arındırılmıştır. Kontrol diyagramlarında bulanık kümelerin kullanımı Wang ve Raz [10] ve Raz ve Wang [11] ile önem kazanmıştır. Bu çalışmalarda kontrol diyagramlarına olasılık ve üyelik yaklaşımlarını kazandırmış, dilsel verilere sahip kontrol diyagramlarının klasik kontrol diyagramlarına göre daha hassas olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak kullandıkları modelde bulanık verileri temsili değerlere dönüştürdükleri için bulanık veriler taşıdıkları önemi kaybetmiştir. Gülbay ve Kahraman [4] kontrol diyagramlarına alternatif bir yaklaşım geliştirmişlerdir. "Direkt Bulanık Yaklaşım" ile, mevcut kontrol şeması modeli  $\alpha$ -kesimle geliştirilerek bulanık veriler temsili değerlere dönüştürülmeden bulanık ortamda değerlendirilmiştir. Böylece bulanık verilerin taşıdığı özelliklerin kaybolması önlenmek istenmiştir. Yakın zamandaki çalışmalardan Şentürk ve Erginel [12]  $\alpha$ -kesim kullanarak bulanık  $\bar{\bar{x}} - \bar{R}$  ve  $\bar{\bar{x}} - \bar{S}$  kontrol diyagramlarını geliştirmişlerdir. Böylece klasik kontrol

limitlerinin esnekliğini artırmışlardır. Kaya ve Kahraman [13] bulanık gözlem değerlerine sahip süreçlerin istatistiksel kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi için bulanık kontrol diyagramlarını yeniden düzenlemişlerdir. Bu çalışmalarında, bulanık  $\bar{x} - \bar{R}$  diyagramı üzerinde üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar kullanarak bulanık orta ve bulanık kural yaklaşımlarını geliştirmişlerdir.

Süreç yeterlilik indisleri, spesifikasyonların  $6\sigma$  süreç doğal yayılımı tarafından ne kadarının kullanıldığını gösterir. Ancak geleneksel süreç yeterlilik indisleri, süreçten alınan örneklerin, spesifikasyon limitlerinin ve varyansın bulanık değerler olduğu durumlarda daha detaylı ve esnek analiz konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, süreç yeterlilik indisleri üzerinde bulanık küme teorisi geliştirilmiştir. Literatürde bulanık küme teorisinin kullanıldığı birçok yeterlilik indisi çalışmaları bulunmaktadır. Lee [14] gözlem değerleri bulanık sayılarken bulanık yeterlilik indisi  $\tilde{C}_{pk}$ 'yi değerlendirmiştir. Parchami vd. [15] spesifikasyon limitleri üçgen bulanık sayılarken bulanık süreç yeterlilik indislerini önermiş ve bulanık süreçleri karşılaştırmışlardır. Parchami vd. [16]  $\tilde{C}_p$  süreç yeterlilik indisi için bulanık güven aralıklarını tanımlamışlardır. Parchami ve Mashinchi [17] Buckley tarafından geliştirilen bulanık tahmin yaklaşımı üzerine bir algoritma geliştirmişlerdir. Chen ve Chen [18] bulanık çıkarsama yöntemi kullanarak süreç yeterlilik indislerini incelemişlerdir. Kaya ve Kahraman [19] Buckley'in tahmin yaklaşımını kullanarak spesifikasyon limitleri ve varyansın bulanık olması durumunda  $C_p$  ve  $C_{pk}$  indekslerini verecek üyelik fonksiyonlarını üçgen ve yamuk bulanık sayılar için elde etmişlerdir. Kaya ve Kahraman [20] süreç yeterlilik indislerini bulanık altı sigma yaklaşımı çerçevesinde değerlendirmişlerdir. Chen vd. [21]  $C_{pm}$  süreç yeterlilik indisini bulanık verilerle güven aralıkları kullanarak değerlendirmişlerdir. Abdolshah vd. [22]  $C_{pmk}$  süreç yeterlilik indisini bulanık verilerle güven aralıkları kullanarak değerlendirmiş, diğer bulanık yeterlilik indisleriyle sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Abdolshah [23], Taguchi kayıp fonksiyonunu ve  $C_{pk}$  süreç yeterlilik indisini entegre etmiş, sonuçları bulanık olarak değerlendiren yeni bir Taguchi kayıp tabanlı bulanık süreç yeterlilik indisi geliştirmiştir.

Literatürde bulanık verilere sahip süreç yeterlilik indislerinin geliştirilmesi konusunda birçok çalışma mevcutken sürecin yeterli-yetersiz kararının verilmesine ilişkin yöntemler geliştirilmemiştir. Çoğunlukla bulanık süreç yeterlilik analizi, bulanık değerlerin temsili değerlere dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmiştir ya da sürecin yeterli-yetersiz kararı çalışmayı yapan kişi ve kalite uzmanlarının yorumuna bırakılmıştır. Bu yüzden,

bulanık veriler taşıdığı bilgileri kaybederek anlamını yitirmektedir. Halbuki sürecin yeterlilik indislerinin bulanık sayılar olarak elde edilmesiyle, bu değerleri yorumlamada sıkıntı oluşturabilecek bazı durumlar söz konusudur. Bu durumlar: bulanık verileri durulaştırma ya da dönüştürme işlemiyle temsili değerler elde ederek bilgi kaybı oluşumu, farklı durulaştırma yöntemlerinin farklı sonuçlar vermesi, örneğin  $\bar{ÜBS}(a, b, c)$  ile gösterilen üçgensel bulanık süreç yeterlilik oranının bulanık sayı genişliğinin büyük olması ( $c$  ve  $a$ 'nın farkının), bulanık süreç yeterlilik oranı içerisinde hem yeterli hem yetersiz denebilecek değerler bulunmasıdır. Bu durumlar üçgensel ve yamuksal sayılar için ortak problemlerdir. Örneğin,  $\bar{ÜBS}(a, b, c)$  ile gösterilen bulanık sayı genişliği içerisinde, yeterlilik sınırı olan 1.33 değerinin altında kalan  $a$  ve 1.33 değerini aşan  $b$  ve  $c$  değeri olabilir. Aynı zamanda bu bulanık sayı, yapılan dönüştürme işlemine göre aldığı temsili değer 1.33'ü geçemeyebilir. Bu durumda analizi yapan kişi, süreç hem "yeterli" hem "yetersiz" gibi bir durum söz konusu olduğundan, sürecin yeterliliğini yorumlamada güçlük çekecektir. Bu sıkıntıları gidermek için, bu çalışma kapsamında bulanık sayıların klasik sayılara dönüştürülmeden kullanılmasına olanak tanıyan "Direkt Bulanık Yaklaşım" [4] esas alınarak, süreç yeterliliğinin yorumlanmasında kullanılmak üzere yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımla, bulanık elde edilen süreç yeterlilik indislerinin, bulanık kurallar yardımıyla temsili değerlere dönüştürülmeden incelenmesiyle yeterlilik analizine farklı bir bakış açısı getirilmiş ve literatürdeki eksiklik kapatılmaya çalışılmıştır.

### 3.1. Üçgen Bulanık Sayılar İçin Bulanık Kontrol Diyagramları (Fuzzy Control Charts For Triangular Fuzzy Numbers)

Gözlem değerleri bulanık olan süreçlerde örnek ortalamaları ve değişim aralığı Denklem (13-14)'teki gibi hesaplanır [13]. Alt grup büyüklüğü  $n$  olan,  $m$  adet  $\bar{x}$  ve  $\bar{R}$  değeri hesaplanmış olacaktır. Her bir gözlem  $(a, b, c)$  şeklinde üçgen bulanık sayılara ( $\bar{ÜBS}$ ) dönüştürülür.  $(a_{max}, b_{max}, c_{max})$  değeri her bir örneklem grubunun içinde bulunan en büyük gözlem değerini,  $(a_{min}, b_{min}, c_{min})$  değeri ise her bir örneklem grubunun içinde bulunan en küçük gözlem değerini göstermektedir. Ölçülen değerler arasında kıyaslama yapabilmek için bir bulanık sıralama yöntemi kullanılmalıdır.

$$\bar{x} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \right) = \bar{ÜBS}(o_1, o_2, o_3) \quad (13)$$

$$\bar{R} = [(a_{max} - c_{min}), (b_{max} - b_{min}), (c_{max} - a_{min})] = \bar{ÜBS}(g_1, g_2, g_3) \quad (14)$$

$m$  adet örneklem grubu incelendikten sonra sürecin genel ortalamaları Denklem (15)-(16) ile hesaplanacaktır [13].

$$\bar{\bar{x}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^m o_{1i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m o_{2i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m o_{3i}}{m} \right) = \text{ÜBS}(\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (15)$$

$$\bar{\bar{R}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^m g_{1i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m g_{2i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m g_{3i}}{m} \right) = \text{ÜBS}(\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3) \quad (16)$$

Kontrol limitleri analize esneklik katması açısından bulanık olarak hesaplanır (Denklem 17-23). Bazı durumlarda, ortalama diyagramında AKL'nin sıfırın altında bulunduğu tecrübe edilmiştir, Denklem (20) bu durum gerçekleştiğinde AKL'nin ne alınması gerektiğini ifade etmektedir. Süreç kontrol altında olduğu zaman sürecin yeterliliğinin analizine geçilebilir.

$\bar{\bar{x}}$  kontrol diyagramı için [13];

$$\widehat{\text{ÜKL}}_{\bar{\bar{x}}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{\bar{R}} = (\mu_1 + A_2 \bar{r}_1, \mu_2 + A_2 \bar{r}_2, \mu_3 + A_2 \bar{r}_3) = \text{ÜBS}(\text{ÜKL}_{x_1}, \text{ÜKL}_{x_2}, \text{ÜKL}_{x_3}) \quad (17)$$

$$\widehat{M\bar{C}}_{\bar{\bar{x}}} = \bar{\bar{x}} = (\mu_1, \mu_2, \mu_3) = \text{ÜBS}(M\bar{C}_{x_1}, M\bar{C}_{x_2}, M\bar{C}_{x_3}) \quad (18)$$

$$\widehat{AKL}_{\bar{\bar{x}}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{\bar{R}} = (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3, \mu_2 - A_2 \bar{r}_2, \mu_3 - A_2 \bar{r}_1) = \text{ÜBS}(AKL_{x_1}, AKL_{x_2}, AKL_{x_3}) \quad (19)$$

$\bar{\bar{x}}$  diyagramı için kontrol kuralları [13]:

$$C_{x_i} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } (o_{3i} \leq \text{ÜKL}_{x_1}) \wedge (o_{1i} \geq AKL_{x_3}) \\ 0, & \text{Eğer } (o_{1i} > \text{ÜKL}_{x_3}) \vee (o_{3i} < AKL_{x_1}) \\ 1 - \frac{(o_{3i} - \text{ÜKL}_{x_1})}{(o_{3i} - o_{1i})}, & \text{Eğer } (o_{3i} > \text{ÜKL}_{x_1}) \\ 1 - \frac{(AKL_{x_3} - o_{1i})}{(o_{3i} - o_{1i})}, & \text{Eğer } (o_{1i} < AKL_{x_3}) \\ \text{Min} \left\{ 1 - \frac{(o_{3i} - \text{ÜKL}_{x_1})}{(o_{3i} - o_{1i})}, 1 - \frac{(AKL_{x_3} - o_{1i})}{(o_{3i} - o_{1i})} \right\}, & \text{Eğer } (o_{3i} > \text{ÜKL}_{x_1}) \wedge (o_{1i} < AKL_{x_3}) \end{cases} \quad (24)$$

$\bar{\bar{R}}$  diyagramı için kontrol kuralları:

$$C_{r_i} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } (g_{3i} \leq \text{ÜKL}_{r_1}) \wedge (g_{1i} \geq AKL_{r_3}) \\ 0, & \text{Eğer } (g_{1i} > \text{ÜKL}_{r_3}) \vee (g_{3i} < AKL_{r_1}) \\ 1 - \frac{(g_{3i} - \text{ÜKL}_{r_1})}{(g_{3i} - g_{1i})}, & \text{Eğer } (g_{3i} > \text{ÜKL}_{r_1}) \\ 1 - \frac{(AKL_{r_3} - g_{1i})}{(g_{3i} - g_{1i})}, & \text{Eğer } (g_{1i} < AKL_{r_3}) \\ \text{Min} \left\{ 1 - \frac{(g_{3i} - \text{ÜKL}_{r_1})}{(g_{3i} - g_{1i})}, 1 - \frac{(AKL_{r_3} - g_{1i})}{(g_{3i} - g_{1i})} \right\}, & \text{Eğer } (g_{3i} > \text{ÜKL}_{r_1}) \wedge (g_{1i} < AKL_{r_3}) \end{cases} \quad (25)$$

$$(AKL_{x_1}, AKL_{x_2}, AKL_{x_3}) = \begin{cases} AKL_{x_1} = \begin{cases} \mu_1 - A_2 \bar{r}_3, & \text{Eğer } (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_1 - A_2 \bar{r}_3) < 0 \end{cases} \\ AKL_{x_2} = \begin{cases} \mu_2 - A_2 \bar{r}_2, & \text{Eğer } (\mu_2 - A_2 \bar{r}_2) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_2 - A_2 \bar{r}_2) < 0 \end{cases} \\ AKL_{x_3} = \begin{cases} \mu_3 - A_2 \bar{r}_1, & \text{Eğer } (\mu_3 - A_2 \bar{r}_1) \geq 0 \\ 0, & \text{Eğer } (\mu_3 - A_2 \bar{r}_1) < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (20)$$

$\bar{\bar{R}}$  kontrol diyagramı için;

$$\widehat{\text{ÜKL}}_R = \bar{\bar{R}} D_4 = (\bar{r}_1 D_4, \bar{r}_2 D_4, \bar{r}_3 D_4) = \text{ÜBS}(\text{ÜKL}_{r_1}, \text{ÜKL}_{r_2}, \text{ÜKL}_{r_3}) \quad (21)$$

$$\widehat{M\bar{C}}_{R} = \bar{\bar{R}} = (\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3) = \text{ÜBS}(M\bar{C}_{r_1}, M\bar{C}_{r_2}, M\bar{C}_{r_3}) \quad (22)$$

$$\widehat{AKL}_R = \bar{\bar{R}} D_3 = (\bar{r}_1 D_3, \bar{r}_2 D_3, \bar{r}_3 D_3) = \text{ÜBS}(AKL_{r_1}, AKL_{r_2}, AKL_{r_3}) \quad (23)$$

### 3.1.1. Sürecin Bulanık Kontrolü (Fuzzy Control of Process)

Bu çalışmada, süreç kontrolünde durulaştırmayla bilgi kaybını önlemek için literatürde bulunan “bulanık kural metodu” kullanılmıştır (Denklem 24-25) [13]. Denklem (26)'da ÜBS'de tanımlanmış bulanık kurallar için sağlanan kontrol ifadeleri bulunmaktadır.  $\beta$  örneklem genişliğinin ne oranda kontrol limiti dahilinde kalması gerektiğini gösteren bir sabittir. Bu oran her çalışmaya göre  $0 \leq \beta < 1$  arasında farklılık gösterebilir.

$$Kontrol = \begin{cases} \text{"Kontrol altında",} & \text{Eğer } (C_{x_i} = 1) \wedge (C_{r_i} = 1) \\ \text{"Kontrol dışında",} & \text{Eğer } (C_{x_i} = 0) \vee (C_{r_i} = 0) \\ \text{"Kısmen kontrol altında",} & \text{Eğer } (C_{x_i} \geq \beta) \wedge (C_{r_i} \geq \beta) \\ \text{"Kısmen kontrol dışında",} & \text{Eğer } (C_{x_i} < \beta) \vee (C_{r_i} < \beta) \end{cases} \quad (26)$$

Sürecin “kontrol altında” olması için her iki diyagram için de kontrol altında olma durumunu sağlaması gerekmektedir. Sürecin “kontrol dışında” denebilmesi için herhangi bir diyagramın kontrol dışında olması gerekmektedir. Sürecin “kısmen kontrol altında” olması için her iki diyagramın kontrol durumu değerinin önceden belirlenmiş kabul edilebilir oran olan  $\beta$  değerinden büyük veya  $\beta$  değerine eşit olması gerekmektedir. Sürecin “kısmen kontrol dışında” olması için de herhangi bir kontrol diyagramının kontrol durumu değerinin  $\beta$  değerinden küçük olması yeterlidir.

### 3.2. Üçgen Bulanık Sayılar İçin Bulanık Süreç Yeterlilik Analizi (Fuzzy Process Capability Analysis For Triangular Fuzzy Numbers)

Bulanık süreç yeterlilik indisi olan  $\tilde{C}_p$  değeri hesaplaması için gerekli olan ASL ve ÜSL “civarında, yaklaşık” olarak tanımlanır ve ÜBS olarak ifade edilir (Denklem 27-28). Sürecin bulanık ortalaması ve standart sapması Denklem (29)-(30)’daki gibi hesaplanır [13]. Standart sapma hesaplamasında kullanılan  $d_2$  değeri alt grup büyüklüğüne bağlı olarak belirlenen geleneksel kontrol diyagramı sabitidir.

$$\widetilde{USL} = \text{ÜBS}(u_1, u_2, u_3) \quad (27)$$

$$\widetilde{ASL} = \text{ÜBS}(l_1, l_2, l_3) \quad (28)$$

$$\tilde{\mu} = \tilde{\bar{x}} = \text{ÜBS}(\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (29)$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{\tilde{R}}{d_2} = \left( \frac{\tilde{r}_1}{d_2}, \frac{\tilde{r}_2}{d_2}, \frac{\tilde{r}_3}{d_2} \right) = \text{ÜBS}(s_1, s_2, s_3) \quad (30)$$

Elde edilen sonuçlardan yeterlilik indisinin alması mümkün olan en küçük değer, en çok beklenen değer ve alması mümkün olan en büyük değer görülebilir. Denklem (31)-(34) bulanık  $\tilde{C}_p, \tilde{C}_{pk}, \tilde{C}_{pu}, \tilde{C}_{pl}$  indislerini ÜBS olarak hesaplamaktadır.  $\tilde{C}_{pl}$  ve  $\tilde{C}_{pu}$  değerlerini kıyaslayarak minimum olan değeri bulabilmek için bir bulanık sıralama yöntemi kullanılmalıdır.

$$\tilde{C}_p = \frac{\widetilde{USL} - \widetilde{ASL}}{6\tilde{\sigma}} = \text{ÜBS} \left( \frac{u_1 - l_3}{6s_3}, \frac{u_2 - l_2}{6s_2}, \frac{u_3 - l_1}{6s_1} \right) \quad (31)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \frac{\widetilde{USL} - \tilde{\mu}}{3\tilde{\sigma}} = \text{ÜBS} \left( \frac{u_1 - \mu_3}{3s_3}, \frac{u_2 - \mu_2}{3s_2}, \frac{u_3 - \mu_1}{3s_1} \right) \quad (32)$$

$$\tilde{C}_{pl} = \frac{\tilde{\mu} - \widetilde{ASL}}{3\tilde{\sigma}} = \text{ÜBS} \left( \frac{\mu_1 - l_3}{3s_3}, \frac{\mu_2 - l_2}{3s_2}, \frac{\mu_3 - l_1}{3s_1} \right) \quad (33)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min\{\tilde{C}_{pu}, \tilde{C}_{pl}\} \quad (34)$$

#### 3.2.1. Süreç yeterliliği için bulanık kural metodu (Fuzzy rules method for process capability)

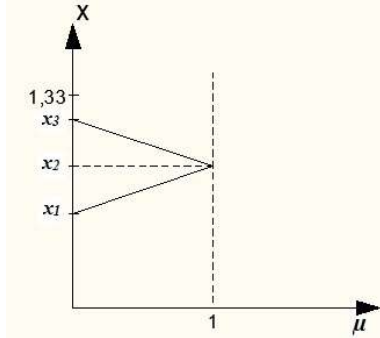
Bulanık süreç yeterlilik indisleri  $\text{ÜBS}(x_1, x_2, x_3)$  olarak varsayılmıştır. Sürecin hatalı ürün oranı düşük şekilde üretim yapabilmesi ve “yeterli” olarak ifade edilebilmesi için, geleneksel süreç yeterlilik değeri en az 1.33 olmalıdır. Önerilen yeni bulanık kurallar da bu değer baz alınarak geliştirilmiştir. Denklem (35) ÜBS olarak ifade edilen bulanık süreç yeterlilik indisleri için önerilen kuralları göstermektedir.  $C_{cp}$  bu çalışma için yeterlilik indisini değerlendirmek amacıyla tanımlanmış olan bir simgedir.

$$C_{cp} = \begin{cases} 0, & \text{Eğer } x_3 \leq 1.33 \\ 1, & \text{Eğer } x_1 \geq 1.33 \\ \frac{x_3 - 1.33}{x_3 - x_1}, & \text{Eğer } (x_3 > 1.33 \wedge x_1 < 1.33) \end{cases} \quad (35)$$

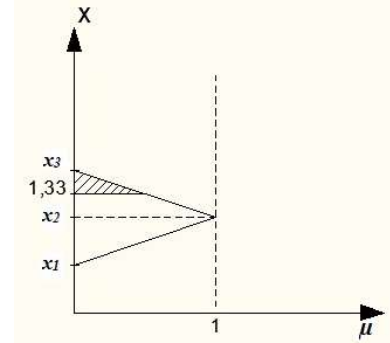
Süreç yeterlilik indisleri için bulanık kurallar işlendikten sonra sürecin yeterliliğinin yorumlanması Denklem (36)’daki şekilde yapılır.  $\theta$ , bu çalışma için tanımlanmış, yeterlilik değerinin “yeterli” kategorisine dahil olabilmesi için  $\theta$ ’nın, 1.33 sınır değerini ne oranda aşması gerektiğini belirten bir sabittir. Bu oran  $0 < \theta < 1$  arasında farklılık gösterebilir.

$$Yeterlilik = \begin{cases} \text{"Yeterli",} & \text{Eğer } C_{cp} = 1 \\ \text{"Yetersiz",} & \text{Eğer } C_{cp} = 0 \\ \text{"Kısmen yetersiz",} & \text{Eğer } C_{cp} < \theta \\ \text{"Kısmen yeterli",} & \text{Eğer } C_{cp} \geq \theta \end{cases} \quad (36)$$

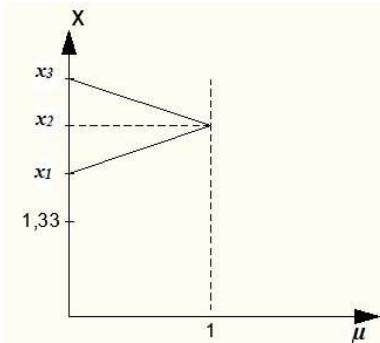
Kural-1’de ÜBS olan süreç yeterlilik değerinin 1.33 sınır değerinin altında kaldığı durum gösterilmektedir. Bu durumda süreç “yetersiz” olarak ifade edilir (Şekil 1). Kural-2’de yeterlilik indisinin 1.33 değerini aştığı durum gösterilmektedir. Bu durumda süreç “yeterli” olarak ifade edilir (Şekil 2). Kural-3’te yeterlilik değerinin genişliğinin bir kısmının 1.33 sınır değerinin aştığı durum gösterilmektedir. Bu durumda sürecin yorumlanması yeterlilik indisinin 1.33’ü ne oranda aştığına göre “kısmen yeterli” ya da “kısmen yetersiz” olarak yorumlanabilir (Şekil 3).



Şekil 1. Süreç yeterliliği ÜBS için Kural-1 (Rule-1 of process capability for TFN)



Şekil 3. Süreç yeterliliği ÜBS için Kural-3 (Rule-3 of process capability for TFN)



Şekil 2. Süreç yeterliliği ÜBS için Kural-2 (Rule-2 of process capability for TFN)

#### 4. UYGULAMA (APPLICATION)

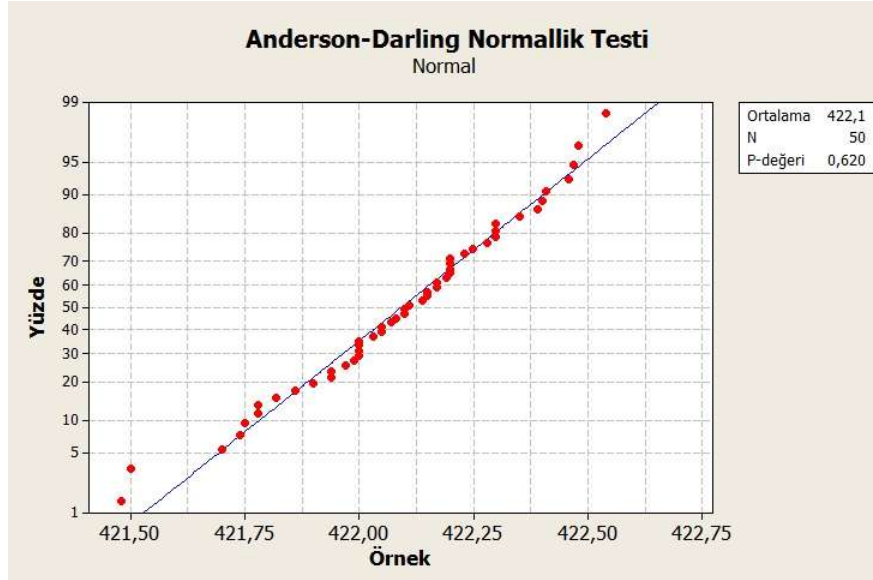
Uygulamada otomotiv parçaları üreten bir şirketin üretimini yaptığı parçalardan biri olan vites kolunun boy ölçüsü analiz için kullanılmıştır. Vites kolu için ASL 421 mm, ÜSL 423 mm olarak tanımlanmıştır. Tablo 1 vites kolu boy uzunluğunun belirli bir zaman aralığında üretilmiş ve rastgele olarak seçilmiş “yaklaşık” sayısal gözlem değerlerini göstermektedir.

Tablo 1. Vites kolu boy ölçüsü değerleri (mm) (Measurement values of gearshift length)

Örnek	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
1	422.070	421.500	421.700	422.280	422.400
2	422.000	422.150	422.100	422.170	422.150
3	422.350	421.780	422.170	421.750	422.200
4	421.900	422.460	422.110	422.000	421.990
5	422.050	422.200	422.030	422.250	422.200
6	422.200	421.480	421.780	422.230	422.390
7	422.140	421.820	421.940	421.940	422.100
8	422.300	422.410	421.860	422.480	422.080
9	422.000	422.050	422.190	422.300	422.300
10	421.970	422.000	422.540	422.470	421.740

Süreçin ilk olarak normal dağılıma uygunluk testi yapılacaktır. Normal dağılıma uygunluğu test etmek için Minitab 16 programında güvenilirliği yüksek olan Anderson-Darling normallik testi uygulanmıştır. Minitab 16’da yapılan testin sonucunda p değeri,  $\alpha=0.05$  (%95

güvenilirlik düzeyi) değerinden büyük olduğu için sürecin normal dağılıma uygun olduğu söylenebilir (Şekil 4).



Şekil 4. Anderson-Darling normallik testi (Anderson-Darling normality test)

Tablo 1.'deki "yaklaşık" olarak kaydı tutulan gözlem sonuçları 0.005 mm bulanıklık değerine göre Tablo 2.'deki şekilde üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür.

Bulanıklık değeri, ölçümler yapılırken işçi farklılığı ve ölçümdeki oluşabilecek hata oranı gibi nedenlere bağlı olarak oluşan farklılık değeridir.

Tablo 2. Vites kolu boy uzunluğu ÜBS olarak gözlem değerleri (Measurement values of gearshift length as TFN)

Örnek	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
1	(422.065, 422.07, 422.075)	(421.495, 421.5, 421.505)	(421.695, 421.7, 421.705)	(422.275, 422.28, 422.285)	(422.395, 422.4, 422.405)
2	(421.995, 422, 422.005)	(422.145, 422.15, 422.155)	(422.095, 422.1, 422.105)	(422.165, 422.17, 422.175)	(422.145, 422.15, 422.155)
3	(422.345, 422.35, 422.355)	(421.775, 421.78, 421.785)	(422.165, 422.17, 422.175)	(421.745, 421.75, 421.755)	(422.195, 422.2, 422.205)
4	(421.895, 421.9, 421.905)	(422.455, 422.46, 422.465)	(422.105, 422.11, 422.115)	(421.995, 422, 422.005)	(421.985, 421.99, 421.995)
5	(422.045, 422.05, 422.055)	(422.195, 422.2, 422.205)	(422.025, 422.03, 422.035)	(422.245, 422.25, 422.255)	(422.195, 422.2, 422.205)
6	(422.195, 422.2, 422.205)	(421.475, 421.48, 421.485)	(421.775, 421.78, 421.785)	(422.225, 422.23, 422.235)	(422.385, 422.39, 422.395)
7	(422.135, 422.14, 422.145)	(421.815, 421.82, 421.825)	(421.935, 421.94, 421.945)	(421.935, 421.94, 421.945)	(422.095, 422.1, 422.105)
8	(422.295, 422.3, 422.305)	(422.405, 422.41, 422.415)	(421.855, 421.86, 421.865)	(422.475, 422.48, 422.485)	(422.075, 422.08, 422.085)
9	(421.995, 422, 422.005)	(422.045, 422.05, 422.055)	(422.185, 422.19, 422.195)	(422.295, 422.3, 422.305)	(422.295, 422.3, 422.305)
10	(421.965, 421.97, 421.975)	(421.995, 422, 422.005)	(422.535, 422.54, 422.545)	(422.465, 422.47, 422.475)	(421.735, 421.74, 421.745)

Gözlem değerlerinin ÜBS olarak ifade edilmesinden sonra her bir örneklem grubunun ortalama ve değişim aralığı değerleri Tablo 3'teki şekilde hesaplanır.  $\tilde{R}$  değerleri hesaplanırken örneklem grupları içerisindeki max ve min ölçüm değerlerini belirleyebilmek için Kwong-Bai durulaştırma yöntemi kullanılmıştır. Toplam satırında gösterilen ortalamalar  $\tilde{\bar{x}} =$  ÜBS(422.0884, 422.0934, 422.0984) ve  $\tilde{R} =$

ÜBS(0.53, 0.54, 0.55) Denklem (15)-(16)'dan yararlanılarak bulunmuştur.



Tablo 3. Ortalama ve değişim aralığı değerleri ile kontrol sonuçları (Average and range values with control results)

Örnek	$\tilde{\bar{x}}$	$\tilde{R}$	Kontrol Sonucu $\tilde{\bar{x}}$	Kontrol Sonucu $\tilde{R}$
1	(421.985, 421.99, 421.995)	(0.89, 0.9, 0.91)	Kontrol altında	Kontrol altında
2	(422.109, 422.114, 422.119)	(0.16, 0.17, 0.18)	Kontrol altında	Kontrol altında
3	(422.045, 422.05, 422.055)	(0.59, 0.6, 0.61)	Kontrol altında	Kontrol altında
4	(422.087, 422.092, 422.097)	(0.55, 0.56, 0.57)	Kontrol altında	Kontrol altında
5	(422.141, 422.146, 422.151)	(0.21, 0.22, 0.23)	Kontrol altında	Kontrol altında
6	(422.011, 422.016, 422.021)	(0.9, 0.91, 0.92)	Kontrol altında	Kontrol altında
7	(421.983, 421.988, 421.993)	(0.31, 0.32, 0.33)	Kontrol altında	Kontrol altında
8	(422.221, 422.226, 422.231)	(0.61, 0.62, 0.63)	Kontrol altında	Kontrol altında
9	(422.163, 422.168, 422.173)	(0.2, 0.3, 0.4)	Kontrol altında	Kontrol altında
10	(422.139, 422.144, 422.149)	(0.79, 0.8, 0.81)	Kontrol altında	Kontrol altında
TOPLAM	<b>(422.0884, 422.0934, 422.0984)</b>	<b>(0.53, 0.54, 0.55)</b>	Kontrol Altında	Kontrol Altında

Her biri bulanık küme olan kontrol limitlerinin arasında, tüm örneklem için tanımlanmış üyelik fonksiyonunun olabildiği için, merkez çizgileri (MÇ) süreç ortalamaları olarak alınmamış, kontrol limitleri hesaplandıktan sonra aşağıdaki gibi seçilmiştir. Kontrol diyagramları için oluşturulan bulanık kurallar örneklemle uygulandığında sürecin kontrol altında olduğu Tablo 3'teki gibi belirlenmiştir.

$$\widetilde{ÜKL}_{\bar{x}} = \text{ÜBS}(422.3942, 422.405, 422.4158)$$

$$\widetilde{MÇ}_{\bar{x}} = \text{ÜBS}(421.7818, 422.0934, 422.405)$$

$$\widetilde{AKL}_{\bar{x}} = \text{ÜBS}(421.7711, 421.7818, 421.7926)$$

$$\widetilde{ÜKL}_R = \text{ÜBS}(1.1204, 1.1416, 1.1627)$$

$$\widetilde{MÇ}_R = \text{ÜBS}(0.671, 0.681, 0.691)$$

$$\widetilde{AKL}_R = (0,0,0)$$

Bulanık süreç yeterlilik analizi yapılırken gerekli olan alt ve üst spesifikasyon limitleri uygulama içerisinde "yaklaşık" olarak ifade edilmiş ve ÜBS olarak gösterilmiştir.

$$\widetilde{ÜSL} = \text{ÜBS}(422.995, 423, 423.005)$$

$$\widetilde{ASL} = \text{ÜBS}(420.995, 421, 421.005)$$

Aşağıda  $\tilde{x} - \tilde{R}$  kontrol diyagramları için hesaplanmış olan bulanık ortalama ve standart sapma değerleri yer almaktadır.

$$\tilde{\mu} = \text{ÜBS}(422.0884, 422.0934, 422.0984)$$

$$\tilde{\sigma} = \text{ÜBS}(0.2279, 0.2322, 0.2365)$$

Sürecin spesifikasyon limitleri, ortalama ve standart sapması artık bilindiğine göre, bulanık süreç yeterlilik indisleri hesaplanabilir.

$$\tilde{C}_p = \text{ÜBS}(1.4026, 1.4358, 1.4702)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \text{ÜBS}(1.2639, 1.3017, 1.3409)$$

$$\tilde{C}_{pl} = \text{ÜBS}(1.5273, 1.5699, 1.6142)$$

$\tilde{C}_{pk}$  değerinin belirlenmesinde bulanık sıralama yöntemlerinden biri olan Kwong-Bai durulaştırma

yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin sonucuna göre gerçekleşen yeterlilik değeri  $\tilde{C}_{pk}$  aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\tilde{C}_{pk} = \text{ÜBS}(1.2639, 1.3017, 1.3409)$$

Yeterlilik değerlerinin hesaplanmasından sonra, bu çalışmada önerilen süreç yeterliliği için bulanık kural yöntemi uygulanacaktır (Süreç yeterliliğinde  $\theta = 0.50$  olarak belirlenmiştir). Bulanık yeterlilik indisi  $\text{ÜBS}(x_1, x_2, x_3)$  olarak varsayılırsa,  $\tilde{C}_p = \text{ÜBS}(1.4026, 1.4358, 1.4702)$  sayısında  $x_1$  değeri 1.33'ten büyük olduğu için potansiyel süreç yeterliliği "yeterli" kabul edilir.  $\tilde{C}_{pk} = \text{ÜBS}(1.2639, 1.3017, 1.3409)$  bulanık sayısında  $x_3$  değeri 1.33'ten büyük ve aynı anda  $x_1$  değeri 1.33'ten küçük olduğu için  $\frac{x_3-1.33}{x_3-x_1}$  oranı tespit edilir. Bu oran  $\theta = 0.50$  değerinden küçük olduğu için süreç "kısmen yetersiz" bulunmuştur. Sürecin performansının yeterli olma potansiyeli vardır; fakat süreç çıktıları süreçten beklenen performansı yeteri kadar gösterememektedir. Özellikle üst spesifikasyon limitini kullanma oranı yüksek olduğu için  $\tilde{C}_{pu}$  değeri daha düşük çıkmıştır. Bu da sürecin üst spesifikasyon limitine yakın üretim yaptığı ve kusurlu oranlarının yüksek olabileceği anlamına gelir. Süreç spesifikasyonlar arasında orantılı şekilde dağılmamıştır. Sürecin gelecekteki durum tahmininde, ÜSL'ye yakın şekilde yüksek uygunsuzluk oranıyla üretim yapılabileceği, hatalı ürünü düzeltme maliyetlerinin de buna bağlı olarak yüksek olacağı düşünülmektedir. Daha iyi bir performans için sürecin iyileştirmelere ihtiyacı vardır. Gerekli tedbirlerle süreçteki değişkenlikler azaltılarak sürecin tatmin edici hale gelmesi sağlanabilir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

İşletmelerde kalite kontrol esnasında çıktı ölçümü yapılırken, ölçüm sisteminden ya da işçi faktöründen kaynaklanan ölçüm hatalarından dolayı gözlem verilerinin bulanık ifadeler içermesi analizin yapılmasında birtakım sıkıntılara yol açabilmektedir. Bulanık ifadelerin kullanıldığı durumlarda geleneksel süreç yeterlilik indislerinin kullanılması pek yerinde bir karar olmayacaktır. Bu durumlardaki eksikliği gidermek amacıyla bulanık süreç yeterlilik indisleri geliştirilmiştir. Süreç yeterlilik analizi için sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması gerekir. Gözlem verileri bulanık ifadeler olduğunda, sürecin istatistiksel kontrol altında olup olmadığı bulanık kontrol diyagramlarıyla belirlenebilmektedir. Sürecin kontrol altında olduğuna karar verildikten sonra, sürecin yeteneği hakkında yorum yapmamızı sağlayan bulanık yeterlilik indisleri hesaplanırken, spesifikasyon limitlerinin ve varyansın

bulanık sayılar olması analizde daha esnek, daha detaylı bilgi sağlayacaktır. Ayrıca bulanık süreç yeterlilik analizinde, bulanık sayıların üyelik derecelerinin  $\mu = 1$  olduğu değerler geleneksel süreç yeterlilik analizinin sonuçlarını göstermektedir. Yani bulanık analiz ile hem klasik analiz gerçekleştirilmiş olur, hem de analiz sonuçlarının alabileceği tüm olası değerler görülmüş olur.

Süreç yeterlilik indislerinin bulanık sayılar olarak elde edilmesi, sürecin yeterliliğini değerlendirme konusunda birtakım zorluklara neden olabilmektedir. Bu zorluklar, durulaştırma işlemiyle temsili değerler elde ederek kaybedilen bilgilerden, farklı durulaştırma yöntemlerinin farklı sonuçlar vermesinden, bulanık yeterlilik değerinin bulanık sayı genişliğinin büyük olmasından, bulanık yeterlilik değeri içerisinde hem yeterli hem yetersiz denebilecek değerler bulunmasından kaynaklanabilir. Bu nedenlerden dolayı sürecin tercih edilen yeterlilik değerini karşılayıp karşılamadığı, bu çalışma kapsamında geliştirilen süreç yeterlilik indisleri için oluşturulmuş bulanık kurallar yardımıyla incelenebilir. Bu bulanık kurallar, bulanık verileri klasik sayılara dönüştürmeden bulanık uzayda değerlendirmemize olanak sağlamaktadır. Literatürdeki çalışmalarda çoğunlukla bulanık analiz, bulanık değerlerin temsili değerlere dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmiştir, ya da sürecin yeteneğinin kararı kalite uzmanlarının yorumuna bırakılmıştır. Bu çalışmada, bulanık verilere sahip süreç yeterlilik oranlarının değerlendirmesi için geliştirilmiş olan bulanık kurallar ile literatürdeki bu eksiklik kapatılmak istenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, farklı bulanık kurallar kontrol diyagramları ve yeterlilik indisleri için geliştirilip uygulanabilir, farklı bulanık sayı türleri için yeterlilik analizinde yeni bulanık kurallar geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Özdemir, T. (2000) *İstatistiksel Kalite Kontrol*, Ankara: A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları.
- [2] Montgomery, D. C. (2009) *Introduction to Statistical Quality Control*: Wiley.
- [3] Zadeh, L. A. (1965) 'Fuzzy Sets', *Information and Control*, cilt 8, sayı 3, s. 338-353.
- [4] Gülbay, M., Kahraman, C. (2008) 'Bulanık kontrol diyagramı modellerinin geliştirilmesi: Direkt bulanık yaklaşım', *itüdergisi/d mühendislik*, cilt 7, sayı 2, s. 95-105.
- [5] Kahraman, C., Kaya, İ. (2009) 'Süreç doğruluk indeksi ve bulanık karar ortamında kullanılması', *TÜBAV Bilim Dergisi*, cilt 2, sayı 2, s. 148-156.
- [6] Juran, J. M., Godfrey, A. B. (1999) *Juran's Quality Handbook*, New York : McGraw-Hill.

- [7] Durman, B. M., Pakdil, F. (2005) 'İstatistikî proses kontrol için MS Excel'de bir sistem tasarımı', 7. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, 26-27 Mayıs 2005, İstanbul, Türkiye.
- [8] Kane, V. E. (1986) 'Process capability indices', *Journal of Quality Technology*, cilt 18, sayı 1, s. 41-52.
- [9] Shewhart, W. A. (1926) 'Quality control charts', *Bell System Technical Journal*, s. 593-603.
- [10] Wang, J-H., Raz, T. (1990) 'On the construction of control charts using linguistic variable', *International Journal of Production Research*, cilt 28, sayı 3, s. 477-487.
- [11] Raz, T., Wang, J-H. (1990) 'Probabilistic and membership approaches in the constuction of control charts for linguistic data', *Production Planning and Control*, cilt 1, sayı 3, s. 147-157.
- [12] Şentürk, S., Erginel, N. (2009) 'Development of  $\bar{\tilde{x}}-\bar{R}$  and  $\bar{\tilde{x}}-\bar{S}$  control charts using  $\alpha$ -cuts', *Informations Sciences*, cilt 179, sayı 10, s. 1542-1551.
- [13] Kaya, İ., Kahraman, C. (2011) 'Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts', *Expert Systems with Applications*, cilt 38, s. 3172-3184.
- [14] Lee, H. T. (2001) 'Cpk estimation using fuzzy numbers', *European Journal of Operational Research*, cilt 129, s. 683-688.
- [15] Parchami, A., Mashinchi, M., Yavari, A.R., Maleki, H.R. (2005) 'Process capability indices as fuzzy numbers', *Austrian Journal of Statistics*, cilt 34, sayı 4, s. 391-402.
- [16] Parchami, A., Mashinchi, M., Maleki, H. R. (2006) 'Fuzzy confidence interval for fuzzy process capability index', *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 17, s. 287-295.
- [17] Parchami, A., Mashinchi, M. (2007) 'Fuzzy estimation for process capability indices', *Information Sciences*, cilt 177, s. 1452-1462.
- [18] Chen, K. S., Chen, T. W. (2008) 'Multi-process capability plot and fuzzy inference evaluation', *International Journal of Production Economics*, cilt 111, s. 70-79.
- [19] Kaya, İ., Kahraman, C. (2008) 'Fuzzy process capability analyses: An application to teaching process', *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, cilt 19, s. 259-272.
- [20] Kaya, İ., Kahraman, C. (2009) 'Air pollution control using fuzzy process capability indices in six-sigma approach', *Human and Ecological Risk Assesment: An International Journal*, cilt 15, sayı 4, s. 689-713.
- [21] Chen, C. C., Lai, C. M., Nien, H. Y. (2010) 'Measuring process capability index Cpm with fuzzy data', *Quality & Quantity*, cilt 44, sayı 3, s. 529-535.
- [22] Abdolshah, M., Yusuff, R. M., Hong, T.S., İsmail, M.Y.B, Sadigh, A. N. (2011) 'Measuring process capability index Cpmk with fuzzy data and compare it with other fuzzy process capability indices', *Expert Systems with Applications*, cilt 38, s. 6452-6457.
- [23] Abdolshah, M. (2013) 'A fuzzy Taguchi loss-based process capability index', *International Journal of Quality Engineering and Technology*, cilt 3, sayı 4, s.303-318.

