



Orijinal Araştırma / Original Research

TOPLAM RENK FARKLILIĞI PARAMETRESİ KULLANILARAK BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜ: ALÜMİNYUM ÜRETİM TESİSİNDE BİR UYGULAMA

STATISTICAL QUALITY CONTROL WITH FUZZY LOGIC METHOD USING TOTAL COLOR DIFFERENCE PARAMETER: AN APPLICATION IN ALUMINUM PRODUCTION PLANT

Volkan Arslan^{a,*}

^a Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu II. Bölge Müdürlüğü, Konya, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 18 Eylül / September 2018

Kabul Tarihi / Accepted : 06 Nisan / April 2019

Anahtar Sözcükler:

Bulanık kontrol kartları,
İstatistiksel kalite kontrolü,
Proses yeterlilik indeksi,
Alüminyum,
Toplam renk farklılığı.

ÖZ

Üretim sürecini izlemek için bulanık bir ortalama ve değişim aralığı kontrol çizelgeleri kullanılmıştır. Bulanık kontrol grafikleri, fabrikadan veri toplayarak ve bunu prosesin izlenmesi için fabrika tarafından zaten uygulanmış olan geleneksel Shewhart kontrol grafikleri ile karşılaştırarak, alüminyum üretim tesisindeki bir vaka çalışması ile doğrulanmıştır. Sonuçlar, önerilen bulanık kontrol grafiklerinin, üretim sürecindeki anormal değişimleri, geleneksel Shewhart kontrol listelerinden daha doğru bir şekilde tespit edebildiğini, çünkü süreçten daha fazla bilgi kullandıklarını ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, Eti Alüminyum A.Ş. alüminyum üretim tesisinde bulanık mantık istatistiksel kalite kontrol uygulaması yapılmıştır. Toplam renk farkı parametresi (ΔE) verileri, alüminyum üretim tesisinde bulanık gözlem yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla, alüminyum üretim tesisi ürünlerinin renk parametreleri, ilgili formüller yardımıyla hesaplanan bulanık üçgen sayılar (TFN) ve bulanık süreç yeterlilik indeksleri (PCI) kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bilgilerle üretim sürecinin yeterli olup olmadığını tespit etmek amacıyla proses yeterlilik analizi yapılmıştır. Cp, Cpu ve Cpl indisleri sırası ile 1,267, 1,263, 1,257; 1,419, 1,414, 1,408 ve 1,115, 1,111, 1,106 bulunmuştur. Bu değerlere göre prosesin ihtiyaçları karşıladığı tespit edilmiştir.

ABSTRACT

Keywords:

Fuzzy control charts,
Statistical process control,
Process capability indices,
Aluminium,
Total color difference.

A fuzzy mean and range control charts were used to monitor the production process. Fuzzy control charts were validated through a case study at the aluminum production company by collecting data from the factory and comparing it to the traditional Shewhart control charts which have been already applied by the factory for monitoring the process. The results reveal that the proposed fuzzy control charts could detect abnormal shifts in the production process more accurately than the traditional Shewhart control charts, as they had used more information from the process.

In this study, fuzzy statistical quality control application was applied to Eti Aluminum Co. aluminum production plant. Total color difference parameter (ΔE) data were studied using fuzzy observation on an aluminum production plant. For this purpose, color parameters of the aluminum production plant were evaluated using triangular fuzzy number (TFN) and fuzzy process capability indices (PCIs). Process capability analysis was carried out to determine whether there was sufficient of the production process with the information obtained. The Cp, Cpu and Cpl indices were 1.267, 1.263, 1.257; 1.419, 1.414, 1.408 and 1.115, 1.111, 1.106, respectively. According to these values, it has been determined that the processes meet the needs.

* Sorumlu yazar / Corresponding author : volkanarslan76@hotmail.com • <https://orcid.org/0000-0002-5594-1495>

GİRİŞ

Alüminyum üretiminin başlangıç hammaddesi alüminadır. Alüminanın (Al_2O_3) günümüzde %90'dan fazlası boksit cevherlerinden elde edilmektedir (Aksu, 2001). Boksit cevherleri ihtiva ettiği alümina mineralleri bakımından farklı sınıflandırılmaya tabi tutulmuştur. Boksit cevherleri alüminyum içeren mineraller gibsit, böhmit ve diyasporit mineralleridir. Gibsit kimyasal formülü $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, monoklinik kristal yapılı ve 2,5-3,5 sertliktedir. Böhmit kimyasal formülü $Al_2O_3 \cdot H_2O$, ortorombik kristal yapılı ve 3,5-6,5 sertliktedir. Diasporit kimyasal formülü $Al_2O_3 \cdot H_2O$, ortorombik kristal yapılı ve 6,5-7 sertliktedir (Bayça ve Kısık, 2015).

Alüminyum, bronz, bakır, kurşun ve demir gibi yüzyıllardır bilinen ve üretilen malzemelere göre çok daha yeni bir malzeme olmasına karşın günümüzde demirden sonra en çok kullanılan metaldir. Yapılan araştırmalara göre alüminyum kullanımının 2017 yılında yaklaşık 63.4 milyon tondan daha fazladır (Aydın, 2002; Dwight, 2002; Chen ve Lui, 2005; IAI, 2018). Alüminyum endüstrisindeki hızlı büyüme, bu metalin mükemmel bir karakteristiğe sahip olmasından ileri gelmektedir. Bu karakteristik alüminyumu çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biri haline getirmektedir. Alüminyum alaşımlarının hafifliği dışında yüksek korozyon dayanımı, iyi elektrik ve ısı iletkenliği, ışığı yansıtma özelliği, düşük sıcaklıklardaki dayanımı ve geri dönüşüm özellikleri gibi avantajları da mevcuttur (Kissel ve Ferry, 2002; Günay, 2006; Uslu ve ark., 2017).

Alüminyum üretim tesislerinde ürün kalitesini etkileyen parametrelerden biri de renktir. Kompleks kristal kimyası olan polimineral doğal numunelerde, renk çalışması yaygın yansıma spektroskopisi tekniklerinin kullanıldığı yüksek saflıkta (hatta sentetik olan) minerallerden daha karmaşıktır (Burns, 1993; Murray, 2002). Bu yüzden Uluslararası Eclairage Komisyonu (CIE) adlı bir kuruluş, rengi ölçmek için dünya çapında kullanılan standart değerleri belirlemiştir. CIE tarafından kullanılan değerler L^* , a^* ve b^* olarak adlandırılır ve renk ölçüm yöntemi CIELab olarak bilinmektedir. L^* sembolü, $L^* = 100$ ise parlak ve $L^* = 0$ olduğunda ise karanlık olarak belirlenir. a^* , yeşil ($-a^*$) ve kırmızı ($+a^*$) arasındaki farkı ve b^* ise sarı ($+b^*$) ve mavi ($-b^*$) arasındaki farkı temsil eder (Sharafudeen, 2012).

Bulanık mantık son yıllarda üzerinde çalışılan esnek modelleme yöntemlerinden birisidir. Klasik mantıkta bir şey ya tümüyle siyahtır ya da tümüyle beyazdır. Bulanık mantığa göre ise bir şey kısmen siyah ve kısmen beyaz olabilir. Zadeh (1965) bulanık mantık kavramında, var veya yok gibi kesin ifadeler yerine değer aralıklarını insan düşüncesine daha yakın olan "çok iyi", "iyi", "orta", "kötü" ve "çok kötü" gibi sözel ifadelerle tanımlayarak, kümeler arası geçişe esneklik kazandırmış ve gerçek yaşamdakine benzetmiştir. Bazı araştırmacılar (Wang ve Raz, 1988; Gülbay ve Kahraman, 2007; Gülbay ve Kahraman, 2008; Shu ve Wu, 2011) bulanık kontrol şemalarının yapımı için bulanık küme teorisini kullanmışlardır. Modern üretim sürecinde bulanık veri mevcut olduğundan, örnek ortalama ve varyansını izlemek için, Shu ve Wu (2011), bulanık kontrol limitleri çözüm sonuçlarına dayalı olarak elde edilen bulanık X ve R kontrol çizelgelerini önermişlerdir. Bulanık baskınlık yaklaşımını kullanarak, bulanık ortalamaları ve varyansları bulanık kontrol limitleri ile karşılaştırarak, üretim sürecinin ayarlanması gerekip gerekmediğini belirleyebilirler (Alizadeh ve Ghomi, 2011).

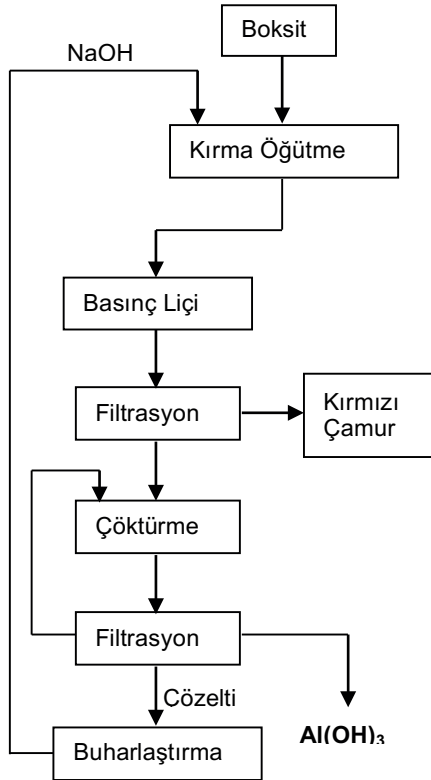
Bulanık kontrol çizelgeleri ve bunların literatürdeki uygulamaları üzerine çalışmış olan Raz ve Wang (1990), Wang ve Raz (1990), Kanagawa ve ark. (1993), Gülbay ve ark. (2004), Gülbay ve Kahraman (2006), Şentürk ve ark. (2011), Shu ve Wu (2011), Aslangiray ve ark. (2014) ve Şentürk (2017) gibi araştırmacılar uygulamalarla bulanık kontrol grafikleri için teorik bir yapı göstermişlerdir. Ayrıca, Kaya ve Kahraman (2011) bulanık kontrol tablolarını oluşturmak için "bulanık kural tabanlı yöntem" üzerinde çalışmışlardır. Yöntemleri, bir sürecin tüm olası kalıplarını tanımlayan bazı kurallara dayanmaktadır. Ayrıca, bulanık X-R kontrol çizelgeleri için önerilen yöntemi simetrik üçgen bulanık sayı kullanarak uygulamışlardır. Khademi ve Amirzadeh (2014), bulanık X-R kontrol çizelgelerine simetrik olmayan bulanık bir sayı kullanarak doğrudan bulanık bir yaklaşım önermişlerdir. Keskin kuralların bulanıklığına dayanan bulanık doğal olmayan desen kurallarını tanımlamışlardır. Uçurum (2017) ise Niğde'de kalsit öğütme tesisine bulanık istatistiksel kalite kontrolü uygulamıştır.

Bu çalışmada, Eti Alüminyum A.Ş. alüminyum üretim tesisinde düzenli olarak ölçülen renk

parametrelerinden elde edilen veriler kullanılmış ve bulanık X-R kontrol çizelgeleri için bir uygulama sunulmuştur. Hesaplanan toplam renk farklılıkları (ΔE) kullanılarak bulanık kontrol tabloları oluşturulmuş ve sürecin kontrol altında olup olmadığı analiz edilmeye çalışılmıştır. Ek olarak, bulanık istatistiksel işlem kontrol çalışmasında kullanılan rastgele seçilmiş bir örnek üzerinde kuru hidratin özellikleri ve hesaplanan beyazlık indeksi (WI) gibi diğer renk parametresi de irdelenmiştir.

1. MATERYAL VE METOT

Eti Alüminyum A.Ş. 1973 yılında kurulmuştur. Alümina, ham alüminyum ve dökme mamul üretimi için faaliyete geçmiştir. 2005 yılında Cengiz Holding tarafından özelleştirme kapsamında Eti Alüminyum A.Ş. satın alınmıştır. Türkiye'nin birincil alüminyum üreticisi olan Eti Alüminyum A.Ş. aynı zamanda cevherin çıkarılmasından nihai ürüne kadar üretim yapabilen dünyanın en büyük entegre tesislerinden biridir. Alüminyum üretiminde kullanılan bayer işleminin akım şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Eti Alüminyum A.Ş.'de kullanılan bayer prosesi akım şeması

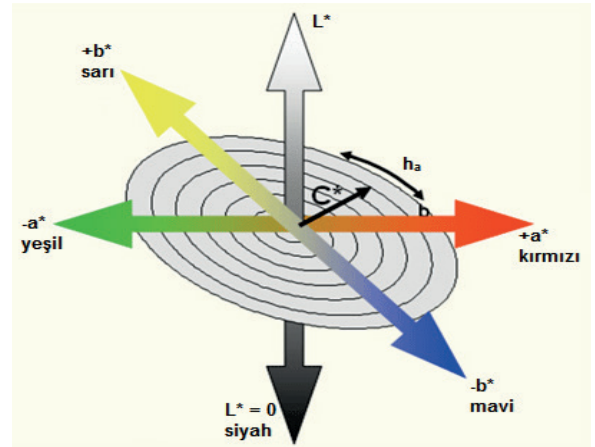
Uluslararası Eclairage Komisyonu (CIE) adlı kuruluş, rengi ölçmek için dünya çapında kullanılan standart değerler belirlemiştir. CIE tarafından kullanılan bu değerler L^* , a^* ve b^* olarak adlandırılmış ve renk ölçüm yöntemi de CIELAB olarak belirlenmiştir. L^* sembolü, parlak ($L=100$ ise "saf beyaz") ve karanlık ($L=0$ ise "siyah") arasındaki renk farkını, a^* sembolü ise, yeşil ($-a$) ve kırmızı ($+a$) arasındaki renk farkını ve b sembolü de mavi ($-b$) ve sarı ($+b$) arasındaki renk farkını temsil eder. CIELAB değerleri, kolorimetrelerin kırmızı yeşil ve mavi filtrelerinden hesaplanır ve özellikle Eşitlik 1-3'e göre beyaz numunelerin tanımlanması için kullanılır:

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right] \quad (2)$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right] \quad (3)$$

X, Y ve Z, kolorimetrik sistemden kaynaklanan numuneler için tristimülüs değerleri ve X^n , Y^n ve Z^n , nominal beyaz uyarıcı olarak seçilen bir yüzey renginin değerleridir. Silindirik CIELAB renk uzayı sistemi, Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Silindirik CIELAB renk alanı

CIELAB veya CIE (1976)'ya göre L^* , a^* ve b^* değerlerinin algısal bir anlamı vardır: L^* , bir rengin fiziksel yoğunluğu ile ilgili olan parlaklıktır, a^* ve b^* ise kırmızı-yeşil ve sarı-mavi renk eksenlerindeki koordinatlarıdır. Bu şema, CIELAB uzayında öklid uzaklığı tarafından tanımlanan toplam renk

farklılığı parametresi (ΔE) sabit bir farklılık olacak şekilde tasarlanmıştır (Eşitlik 4);

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (4)$$

Renk alanındaki konum ne olursa olsun, sabit bir "algılanan" renk farkı vermelidir. Birbiriyle temas eden iki renkli parçalar için algılanabilir en küçük fark yaklaşık 0,5-1,0 ΔE birimdir (Christidis ve ark., 2004; Fairchild, 1998).

1.1. Shewhart X-R Kontrol Kartları

Bir üretim sürecinde üretilen her ürünün kalite özelliklerinin değişkenlik göstermesi doğaldır. Kalite ile ilgili işçi, makine ve malzeme gibi özelliklerden kaynaklanan belirlenebilir değişimler daha önemli olup bu etkenlerden kaynaklanan sorunlar olması durumunda proses kontrol dışındadır ve bu değişimlere yol açan etkenlerin tespit edilip düzeltilmesi kalite kontrolün ana amaçlarından biridir. Üretimden belirli ve eşit zaman aralığında alınan örneklerden elde edilen ölçümlerin zamana bağlı değişimlerinin gösterildiği grafiğe kontrol grafiği adı verilir (Bircan ve Özcan, 2003). Proses çıktısı sayısal bir ifade ile ölçülebiliyorsa değişkenler için kontrol kartlarından söz edilebilir. Değişkenler için hazırlanan kontrol kartlarının içinde en fazla kullanılanı X-R kontrol kartlarıdır. Madencilik faaliyetlerinde genellikle kalite verileri ölçülebilir özelliktedir ve bu yüzden X-R kontrol kartlarının kullanımı daha uygundur (Akın, 1996). Bir kontrol grafiği esas olarak üç çizgiden oluşur. Bunlar; alt kontrol limiti (AKL), üst kontrol limiti (ÜKL) ve orta değer (OÇ) çizgisidir. Kalite özelliğinin ortalama değeri aynı zamanda hedeflenen değer olarak da ifade edilen orta çizgi ile temsil edilir. Bu üç temel elemanın hesaplanması için kontrol değişkeni olarak seçilen ve ölçümü yapılarak elde edilen veri tablosundaki veriler alt gruplara bölünürler. Alt grubun numune alma sıklığı ise önceden belirlenir ve saatte bir, vardiyada bir, günde 3 gibi belirli bir değere ayarlanır. Her bir alt grup (m) için ortalama ve değişim aralığı hesaplanır. Bu hesaplamalar için Eşitlik 5'den yararlanılır;

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m}; \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (5)$$

Burada alt grup ortalaması, alt grupların ortalamalarının ortalaması, alt grup değişim aralığı değeri ve değişim aralıklarının ortalamasıdır. Kontrol sınırlarının belirlenmesinde ise Eşitlik 6'den yararlanılır;

$$\begin{aligned} \text{ÜKL}_X &= \bar{X} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} = \bar{X} + A_2\bar{R}; & \text{OÇ} &= \bar{X}; \\ \text{AKL}_X &= \bar{X} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} = \bar{X} - A_2\bar{R} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{ÜKL}_R &= \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} = D_4\bar{R}; & \text{OÇ} &= \bar{R}; \\ \text{AKL}_R &= \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} = D_3\bar{R} \end{aligned} \quad (7)$$

Yukarıdaki formüllerde; ÜKL üst kontrol limitini, AKL alt kontrol limitini ve OÇ'de orta çizgiyi ifade etmektedir. Ayrıca; A_2, D_3, D_4 ve d_2 doğal toleranslar olarak tanımlanan sabitler olup, alt ve üst kontrol limitlerinin ve proses yeterlilik indislerinin hesaplanmasında Çizelge 1'de verilen bu sabit değerlerden uygun olanlar kullanılmaktadır (Elevli ve Behdioğlu, 2006; Arslan, 2017).

Çizelge 1. X-R kontrol kartları için katsayılar (Mongomery, 2009)

AGS*(n)	A_2	d_2	D_3	D_4
2	1.880	1.128	0.000	3.267
3	1.023	1.693	0.000	2.574
4	0.729	2.059	0.000	2.282
5	0.577	2.326	0.000	2.114
6	0.483	2.534	0.000	2.004
7	0.419	2.704	0.076	1.924

AGS*: Alt Grup Sayısı

1.2. Üçgen Bulanık Sayılar için Bulanık Mantık X-R Kontrol Kartları

Bir kalite karakteristiğinin "yaklaşık X" olarak tanımlandığını varsayacak olursak, bulanık kümeler kavramı göz önüne alındığında, bu değer üçgen bulanık sayıya (TFN)=(X_a, X_b, X_c) dönüştürülebilir. Bulanık durumda, her örnek veya alt grup üçgen bulanık bir sayıyla (a, b, c) temsil edilir.

Bu çalışmada, her bir gözlem, her bir alt grupta m 'nin alt grup sayısı ve n 'nin örnek büyüklüğü olan üçgen bir bulanık sayı $\tilde{X}_{ij} = (X_{a_{ij}}, X_{b_{ij}}, X_{c_{ij}})$; $i = 1, 2, 3, \dots, m$; $j = 1, 2, 3, \dots, n$

olarak kabul edilmektedir. Eğer $(X_{a_{i1}}, X_{b_{i1}}, X_{c_{i1}}), \dots, (X_{a_{in}}, X_{b_{in}}, X_{c_{in}})$ alt grup içindeki n bulanık gözlemlerin bir örneği olarak kabul edilirse, o zaman $(\bar{X}_{a_i}, \bar{X}_{b_i}, \bar{X}_{c_i})$ her bir numunenin ortalamasıdır ve Eşitlik 8'e göre hesaplanmaktadır.

$$\bar{X}_{a_i} = \frac{\sum_{j=1}^n X_{a_{ij}}}{n}; \bar{X}_{b_i} = \frac{\sum_{j=1}^n X_{b_{ij}}}{n}; \bar{X}_{c_i} = \frac{\sum_{j=1}^n X_{c_{ij}}}{n} \quad (8)$$

Alt grubun aralığı ise Eşitlik 9'a göre hesaplanır;

$$\begin{aligned} R_{a_i} &= (\max X_{a_{ij}}) - (\min X_{c_{ij}}); (j = 1, 2, \dots, n) \\ R_{b_i} &= (\max X_{b_{ij}}) - (\min X_{b_{ij}}); \\ R_{c_i} &= (\max X_{c_{ij}}) - (\min X_{a_{ij}}) \end{aligned} \quad (9)$$

Bir bulanık X kontrol kartı çizmek için, önce; hesaplanmalıdır. $\widetilde{O\bar{C}_{\bar{X}}} = (\widetilde{O\bar{C}_a}, \widetilde{O\bar{C}_b}, \widetilde{O\bar{C}_c}), \widetilde{C\bar{L}_{\bar{X}}}$, gözlemlerin bulanık aritmetik ortalamasıdır ve Eşitlik 10'a göre hesaplanır.

$$\begin{aligned} \widetilde{O\bar{C}_{\bar{X}}} &= (\widetilde{O\bar{C}_a}, \widetilde{O\bar{C}_b}, \widetilde{O\bar{C}_c}) = (\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_c); \\ \bar{X}_k &= \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_{k_i}}{m}; k = a, b, c \end{aligned} \quad (10)$$

ÜKL_X ve AKL_X'i hesaplamak için; öncelikle bulanık ortalama aralığı R (R₁, R₂, R₃) Eşitlik 11 kullanılır. Daha sonra, bulanık X kontrol limitleri (ÜKL_X ve AKL_X) Eşitlik 12 kullanılır.

$$\bar{R}_k = \frac{\sum_{i=1}^m R_{k_i}}{m}; k = a, b, c \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{ÜKL}_{\bar{X}_{a,b,c}} &= \bar{X}_{a,b,c} + A_2 \bar{R}_{a,b,c} \\ \widetilde{AKL}_{\bar{X}_{a,b,c}} &= \bar{X}_{a,b,c} - A_2 \bar{R}_{a,b,c} \end{aligned} \quad (12)$$

R kartlarının bulanık üst ve alt kontrol limitleri (ÜKL_R ve AKL_R) ise Eşitlik 13 kullanılarak hesaplanır (Erginel, 2008; Montgomery, 2009; Zabihinpour ve ark., 2014).

$$\widetilde{ÜKL}_R = D_4 \bar{R}_{a,b,c}; \widetilde{AKL}_R = D_3 \bar{R}_{a,b,c} \quad (13)$$

1.3. Bulanık Mantık Proses Yeterlilik İndeksi

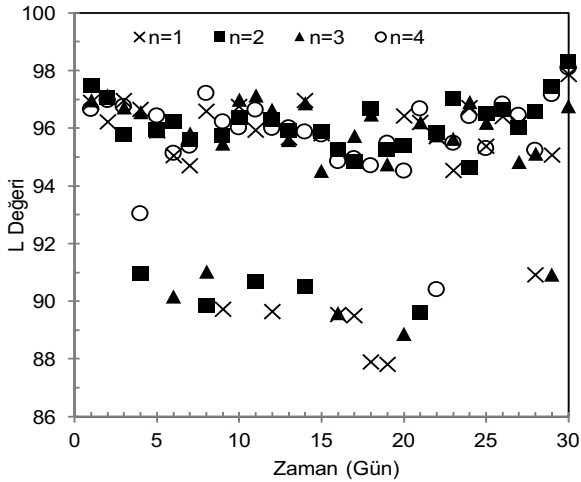
Proses yeterlilik indeksleri (PCIs), bir üretim sürecinin belirtilen sınırlar içinde ürün üretip üretemeyeceğini belirlemek için birçok farklı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Müşteri gereksinimlerini karşılayan bir proses "yeterli" olarak adlandırılır. Proses yeterlilik indeksi (PCI), teknik özelliklere göre bir işlem karakteristiğidir. Bu endeksler, bir prosesin spesifikasyonları ne kadar iyi karşıladığına karar vermeye yardımcı olur. En yaygın kullanılan

proses yeterlilik indisleri C_p, C_{pl} ve C_{pu}'dur. Burada C_p şartname limitleri ile proses kontrol limitleri arasındaki ilişkiyi, C_{pl} ve C_{pu} ise sırasıyla alt ve üst proses yeterlilik limitlerini göstermektedir (Kotz ve Johnson, 2002; Montgomery, 2009; Kaya ve Kahraman, 2010; Kahraman ve Kaya, 2011). "Yaklaşık" ve "ortalama" gibi değişkenler kullanarak spesifikasyon limitlerini (SL) tanımlamak mümkündür. Üçgen bulanık sayılar (TFN) bu değişkeni bulanık sayılara dönüştürmek için uygundur. Üst ve alt spesifikasyon limitlerinin, sırasıyla, $\widetilde{USL} = TFN(u_1, u_2, u_3)$ ve $\widetilde{ASL} = TFN(l_1, l_2, l_3)$ olarak tanımlandığı bulanık bir işlemdir. Ayrıca bulanık proses ortalaması, standart sapma ve bulanık proses yeterlilik indeksleri Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanır;

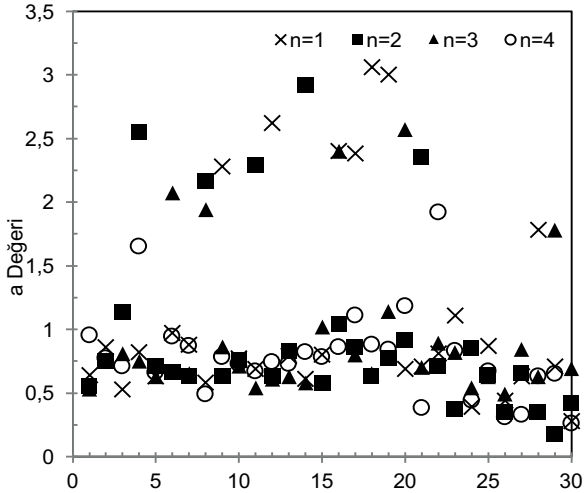
$$\begin{aligned} \tilde{\mu} &= \bar{X} = TFN(\mu_{1,2,3}); \tilde{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = TFN(\sigma_{1,2,3}); \\ \tilde{C}_p &= \frac{\widetilde{USL} - \widetilde{ASL}}{6\tilde{\sigma}} = TFN\left(\frac{u_1 - l_1}{6\sigma_1}, \frac{u_2 - l_2}{6\sigma_2}, \frac{u_3 - l_3}{6\sigma_3}\right); \\ \tilde{C}_{pu} &= \frac{\widetilde{USL} - \tilde{\mu}}{3\tilde{\sigma}} = TFN\left(\frac{u_1 - \mu_1}{3\sigma_1}, \frac{u_2 - \mu_2}{3\sigma_2}, \frac{u_3 - \mu_3}{3\sigma_3}\right); \\ \tilde{C}_{pl} &= \frac{\tilde{\mu} - \widetilde{ASL}}{3\tilde{\sigma}} = TFN\left(\frac{\mu_1 - l_1}{3\sigma_1}, \frac{\mu_2 - l_2}{3\sigma_2}, \frac{\mu_3 - l_3}{3\sigma_3}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

SONUÇLAR

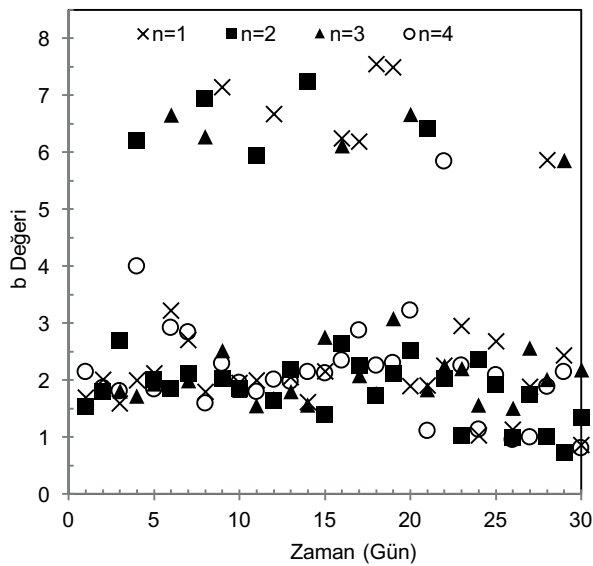
Bu çalışmada, bulanık mantık ile elde edilen veriler kullanılarak proses ortalama ve değişkenliğini izlemek için bulanık X-R kontrol çizelgeleri verilmiştir. Alüminyum üretiminde renk parametreleri çok önemlidir ve alüminyumun beyazlığını etkileyen demirdir. Ürün içeriğindeki demir oranı arttıkça renk pembeye dönmeye başlar, bu da müşteriler tarafından talep edilmeyen bir durumdur. Eti Alüminyum A.Ş. kalite kontrol birimi düzenli olarak bu verilerdeki değişiklikleri izlemekte ve kontrol etmektedir. Bu nedenle, bulanık mantık istatistiksel yöntemlerin kullanılması doğru bir yaklaşım gibi görünmektedir. Ürünün renk kalitesi verilerine dayanan bulanık mantık istatistiksel proses kontrol yöntemleri tesisi izlemeye yönelik standart yaklaşım oluşturmuştur. Kontrol grafikleri ile konsantre cevherin (kuru hidrat) renk parametreleri (L, a ve b) değerlerini analiz etmek için 30 günlük veriler toplanmıştır. Şekil 3-5'te m= 30 (örnek sayısı) ve n= 4 (örneklem büyüklüğü) olarak düzenlenmiş veriler verilmiştir. Dörtlü bir örnek büyüklüğüne sahip 30 adet örnek (toplam örnek sayısı 4x30= 120), kontrol altında olduğu varsayılan prosesden alınmıştır.



Şekil 3. L değerleri için çalışma verileri



Şekil 4. a değerleri için çalışma verileri



Şekil 5. b değerleri için çalışma verileri

Prosesteki konsantre cevherden (kuru hidrat) alınan veriler kullanılarak hesaplanan toplam renk farklılığı değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Eşitlik 1.10-1.13 kullanılarak, bulanık üçgen kontrol limitleri hesaplanmıştır (Çizelge 3). Her ölçüm numunesi üçgen bulanık sayı şeklinde ifade edilmiştir (X_a , X_b , X_c). Çizelge 4, bulanık üçgen verilerini, Çizelge 5 ise her bir alt grubun bulanık ortalama ve bulanık aralık değerlerini göstermektedir. Bu gözlemler sonucunda elde edilen kontrol limitleri gelecekteki üretimi izlemek için kullanılabilir.

Çizelge 2. Hesaplanmış toplam renk farklılığı (ΔE) değerleri

Örnek	n_1	n_2	n_3	n_4
1	6,135	6,703	6,280	5,619
2	5,399	6,182	6,237	6,066
3	6,280	4,584	5,904	5,946
4	5,740	1,611	5,844	1,698
5	5,146	5,228	5,258	5,698
6	3,736	5,538	2,384	3,996
7	3,857	4,949	5,156	4,233
8	5,867	2,797	1,432	6,473
9	3,035	5,086	4,520	5,233
10	5,851	5,611	6,127	5,305
.
.
.
25	4,342	5,698	5,457	4,738
26	6,209	6,491	6,102	6,652
27	5,468	5,465	4,046	6,354
28	1,363	6,429	4,685	4,849
29	4,329	7,239	1,363	6,084
30	7,458	7,508	5,738	7,674

Çizelge 3. Bulanık üçgen kontrol limitleri

	Konsantre (Kuru Hidrat)		
$\bar{U}SL$	6,730	6,743	6,755
$\bar{A}SL$	4,954	4,959	4,964
$\bar{\mu}$	3,177	3,174	3,172
$\bar{\sigma}$	5,562	5,585	5,608
\bar{C}_{pu}	2,437	2,447	2,457
\bar{C}_{pl}	0	0	0

Çizelge 4. Toplam renk farklılığı (ΔE) değerleri için bulanık üçgen verileri

	X_{a_1}	X_{b_1}	X_{c_1}	X_{a_2}	X_{b_2}	X_{c_2}	X_{a_3}	X_{b_3}	X_{c_3}	X_{a_4}	X_{b_4}	X_{c_4}
1	6,130	6,135	6,140	6,698	6,703	6,708	6,275	6,280	6,285	5,614	5,619	5,624
2	5,394	5,399	5,404	6,177	6,182	6,187	6,232	6,237	6,242	6,061	6,066	6,071
3	6,275	6,280	6,285	4,579	4,584	4,589	5,899	5,904	5,909	5,941	5,946	5,951
4	5,735	5,740	5,745	1,606	1,611	1,616	5,839	5,844	5,849	1,693	1,698	1,703
5	5,141	5,146	5,151	5,223	5,228	5,233	5,253	5,258	5,263	5,693	5,698	5,703
6	3,731	3,736	3,741	5,533	5,538	5,543	2,379	2,384	2,389	3,991	3,996	4,001
7	3,852	3,857	3,862	4,944	4,949	4,954	5,151	5,156	5,161	4,228	4,233	4,238
8	5,862	5,867	5,872	2,792	2,797	2,802	1,427	1,432	1,437	6,468	6,473	6,478
9	3,030	3,035	3,040	5,081	5,086	5,091	4,515	4,520	4,525	5,228	5,233	5,238
10	5,846	5,851	5,856	5,606	5,611	5,616	6,122	6,127	6,132	5,300	5,305	5,310
.
.
.
25	4,337	4,342	4,347	5,693	5,698	5,703	5,452	5,457	5,462	4,733	4,738	4,743
26	6,204	6,209	6,214	6,486	6,491	6,496	6,097	6,102	6,107	6,647	6,652	6,657
27	5,463	5,468	5,473	5,460	5,465	5,470	4,041	4,046	4,051	6,349	6,354	6,359
28	1,358	1,363	1,368	6,424	6,429	6,434	4,680	4,685	4,690	4,844	4,849	4,854
29	4,324	4,329	4,334	7,234	7,239	7,244	1,358	1,363	1,368	6,079	6,084	6,089
30	7,453	7,458	7,463	7,503	7,508	7,513	5,733	5,738	5,743	7,669	7,674	7,679

Çizelge 5. Kontrol sonuçları ile bulanık ortalama ve bulanık aralık değerleri

	\bar{X}_a	\bar{X}_b	\bar{X}_c	Sonuç	R_a	R_b	R_c	Sonuç
1	6,179	6,184	6,189	Kontrol altında	1,074	1,084	1,094	Kontrol altında
2	5,966	5,971	5,976	Kontrol altında	0,828	0,838	0,848	Kontrol altında
3	5,674	5,679	5,684	Kontrol altında	1,686	1,696	1,706	Kontrol altında
4	3,718	3,723	3,728	Kontrol altında	4,223	4,233	4,243	Kontrol altında
5	5,327	5,332	5,337	Kontrol altında	0,542	0,552	0,562	Kontrol altında
6	3,909	3,914	3,919	Kontrol altında	3,144	3,154	3,164	Kontrol altında
7	4,544	4,549	4,554	Kontrol altında	1,289	1,299	1,309	Kontrol altında
8	4,137	4,142	4,147	Kontrol altında	5,031	5,041	5,051	Kontrol altında
9	4,463	4,468	4,473	Kontrol altında	2,188	2,198	2,208	Kontrol altında
10	5,718	5,723	5,728	Kontrol altında	0,812	0,822	0,832	Kontrol altında
.
.
.
25	5,054	5,059	5,064	Kontrol altında	1,346	1,356	1,366	Kontrol altında
26	6,358	6,363	6,368	Kontrol altında	0,540	0,550	0,560	Kontrol altında
27	5,328	5,333	5,338	Kontrol altında	2,298	2,308	2,318	Kontrol altında
28	4,327	4,332	4,337	Kontrol altında	5,056	5,066	5,076	Kontrol altında
29	4,749	4,754	4,759	Kontrol altında	5,866	5,876	5,886	Kontrol dışı
30	7,090	7,095	7,100	Kontrol dışı	1,926	1,936	1,946	Kontrol altında
Ort.	4,954	4,959	4,964		2,437	2,447	2,457	

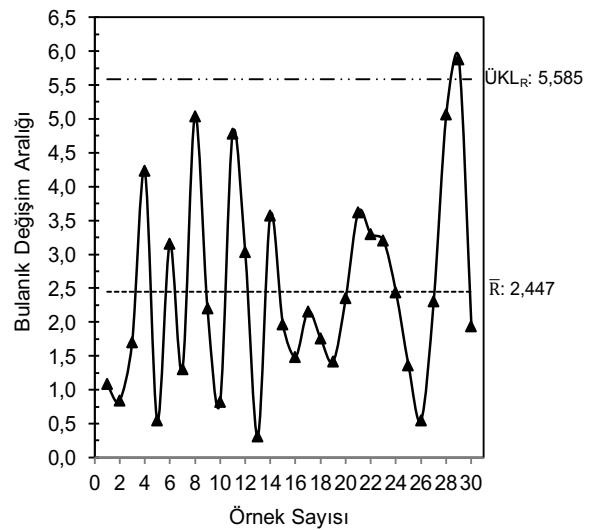
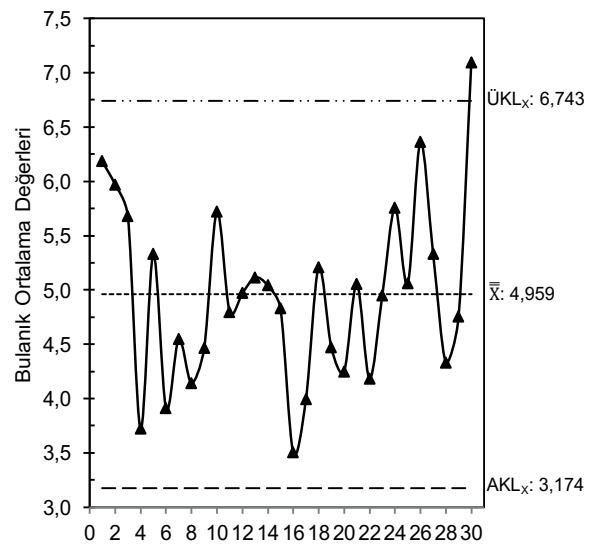
Hesaplama indeksleri için $\widetilde{ÜSL}$ ve \widetilde{ASLTFN} değerleri Eti Alüminyum A.Ş.'nin kalite kontrol biriminden temin edilmiştir. Konsantre cevher (kuru hidrat) için bulanık proses yeterlilik indeksleri (PCIs) belirlenmiştir. Bu indeksler ($\widetilde{\mu}$, $\widetilde{\sigma}$, \widetilde{C}_p , \widetilde{C}_{pu} ve \widetilde{C}_{pl}) ve Eşitlik 1.14 kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 6). Daha sonra, tesisin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını belirlemek için işlem kontrol edilmiştir. \widetilde{C}_p , \widetilde{C}_{pu} ve \widetilde{C}_{pl} indeksleri sırasıyla 1,267-1,263-1,257; 1,419-1,414-1,408 ve 1,115-1,111-1,106 olarak hesaplanmıştır. Birkaç iterasyon veri toplama işlemi gerçekleştirildikten sonra parametre değerleri 1,00'in üzerinde olduğu görülmüş ve alüminyum üretim tesisinin konsantre cevher üretmek için yeterli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6. Konsantre cevher için bulanık yeterlilik indeksleri

	Konsantre	(kuru	hidrat)
$\widetilde{ÜSL}$	9,995	10,000	10,005
\widetilde{ASL}	0,995	1,000	1,005
$\widetilde{\mu}$	4,954	4,959	4,964
$\widetilde{\sigma}$	1,184	1,188	1,193
\widetilde{C}_p	1,267	1,263	1,257
\widetilde{C}_{pu}	1,419	1,414	1,408
\widetilde{C}_{pl}	1,115	1,111	1,106

Eti Alüminyum A.Ş.'nin halihazırda kaliteyi izlemek için uyguladığı yöntem alternatif olarak önerilen bulanık ortalama ve değişim aralığı kontrol grafikleri ile Shewhart X-R kontrol grafiklerini karşılaştırmak için, bulanık gözlemlerin ortalama değerine göre Shewhart X-R kontrol kartlarının oluşturulması için net değer hesaplanmıştır (Zabihinpour ve ark., 2014). Bulanık sayıların ortalama ve beklenen değeri hakkında daha fazla bilgi için Carlsson ve Fuller (2001)'e ait makale detaylı olarak incelenebilir. Şekil 6, keskin gözlemler için konsantre cevherin Shewhart bulanık ortalama ve aralık kontrol grafiklerini göstermektedir. Bu ortalama ve rastlantısallıktan kaynaklanan belirsizliğe ek olarak bulanıklıktan kaynaklanan belirsizliği dikkate alan ortalama ve değişim aralığı kontrol grafiklerine göre konsantre cevherde örnek 29 ve 30'un kontrol dışı olduğunu göstermektedir. Bu durum, üretim

tesisindeki konsantre cevherin kalitesini ve aynı zamanda verimliliğini arttırmak için bulanık kontrol kartlarının uygulanmasının gerekliliğini açıkça göstermektedir. Konsantre cevher için örnek 29 ve 30'dan elde edilen verilerin analizi, bu verinin üst kontrol limitinin (ÜKL) üzerinde olduğunu ve azda olsa belirli bir dalgalanmaya neden olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, alüminyum üretim tesisinde konsantre (kuru hidrat) özelliklerinin homojen olmaması olabilir. Genel olarak, test döneminde bu fabrikada ciddi bir sorun olduğu gözlenmemiştir. Ancak tesise beslenen konsantre cevherin tenör değerleri sürekli izlenmelidir.



Şekil 6. Konsantre cevher için bulanık ortalama ve değişim aralığı değerleri

ÖNERİLER VE TARTIŞMA

Eti Alüminyum A.Ş. Seydişehir alüminyum üretim fabrikasının konsantre cevher (kuru hidrat) parametrelerini kullanarak bu tesisinin uygunluğunu kontrol eden bulanık prosesin amaçlandığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

Bu çalışma ile bulanık küme teorisinin geleneksel X-R kontrol çizelgeleri üzerinde uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Bulanık üçgenel gözlemlere dayanarak, kontrol limitlerinin üçgen bulanık sayılar ile bulanık bir ortalama ve değişim aralığı kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Proses koşullarını belirlemek için dönüşüm veya bulanıklaştırma teknikleri kullanmak yerine, ÜKL'nin üstünde veya AKL'nin altında kalan örnek ortalamasına dayanan doğrudan bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşımın performansını değerlendirmek için ortalama olarak 30 günlük bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Süreç, Shewhart'ın kontrol grafikleri tarafından izlenirse, bu geleneksel kontrol grafikleri, verilerin net değerlere sahip olduğunu varsayar. Ancak, proses her zaman net değildir. Belirsizlik ölçüm sisteminden veya çevresel koşullardan kaynaklanabilir. Böylece bulanık kontrol grafikleri, prosesi izlemek için kaçınılmaz araçlardır. Literatürde, dönüşüm tekniklerini kullanarak prosesi değerlendirmek için bulanık kontrol tabloları kullanılmıştır. Bu durumlarda, kararlar "kontrol altında" veya "kontrol dışı" içerir.

Proses varyasyonları, herhangi bir üretim hattındaki önemli noktalardan biri olan bulanık proses yeterlilik indeksi kullanılarak kontrol edilmelidir. Konsantre cevher (kuru hidrat) ile oluşturulan ortalama ve değişim aralığı kontrol grafiklerinin kontrolde olduğu gözlenmiştir. Ek olarak, 1,267-1,263-1,257 olarak hesaplanan \tilde{C}_p değerleri 1'den daha büyüktür. Bu arada \tilde{C}_{pu} ve değerleri de \tilde{C}_{pl} (sırasıyla 1,419-1,414-1,408; 1,115-1,111-1,106) 1'den daha büyüktür. Bu nedenle sürecin yeterli olduğu söylenebilir.

Bulanık mantık tekniği kullanılarak uygulanan istatistiksel proses kontrol yöntemleri, Eti Alüminyum A.Ş. alüminyum üretim tesisinde oldukça verimli olduğu görülmektedir. Sonuç olarak işletmeye kalite kontrolde bu yöntemin kullanılması önerilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazar, Eti Alüminyum A.Ş.'nin yöneticilerine gerekli veri ve bilgilerin temininde gösterdikleri yardımlardan dolayı içtenlikle teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Akın B., 1996. İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol. Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, s. 150.
- Aksu, S., 2001. Kırmızı Çamur Bileşenlerinin Hidroklorik Asit Çözeltisindeki Çözünürlükleri, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.
- Alizadeh, H.M., Ghomi, S.M.T.F., 2011. Fuzzy Development of Mean and Range Control Charts Using Statistical Properties of Different Representative Values. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 22, 253-265.
- Arslan, V., 2017. Bakır Konsantre Tesislerinde Kontrol Kartlarının ve Çok Boyutlu Ölçekleme Analizinin Uygulanması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 32, 1, 99-103.
- Aslangiray, A., Akyüz, G., 2014. Bulanık Kontrol Grafikleri: Tekstil Firmasında Bir Uygulama. İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi Dergisi, 43, 1, 70-89.
- Aydın, B., 2002. AA-2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.
- Bayça, S.U., Kısık, H., 2015. Bazik Liç İle Boksit Atığından Alüminyum Hidroksit Ekstraksiyonu. Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 20, 1-12.
- Bircan, H., Özcan, S., 2003. Excel Uygulamalı Kalite Kontrol. Yargı Yayınevi, Ankara, s. 375.
- Burns, R.G., 1993. Mineralogical Applications of Crystal Field Theory. Cambridge Topics in Minerals Physics and Chemistry, 2nd Edition, Cambridge Univ., Cambridge.
- Carlsson, C., Fullér, R., 2001. On Possibilistic Mean Value and Variance of Fuzzy Numbers. Fuzzy Sets and Systems, 122, 315-326.
- Chen, W.F., Lui, E.M., 2005. Handbook of Structural Engineering. CRC Press, New York.
- Christidis, G.E., Sakellariou, N., Repouskou, E.M., 2004. Influence of Organic Matter and Iron Oxides on The Colour Properties of A Micritic Limestone from Kefalonia. Bulletin of The Geological Society of Greece, 36, 72-79.
- Dwight, J., 2002. Aluminum Design and Construction. Taylor and Francis, New York.

- Elevli S., Behdioğlu S., 2006. İstatistiksel Proses Kontrolü Teknikleri İle Kömür Kalitesindeki Değişkenliğin Belirlenmesi. Madencilik Dergisi, 45, 3, 19-26.
- Erginel, N., 2008. Fuzzy Individual and Moving Range Control Charts with α -cuts. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 19, 373-383.
- Fairchild, M.D., 1998. Color Appearance Models. Reading, Mass: Addison Wesley Longman, Inc.
- Gülbay, M., Kahraman, C., 2008. Bulanık Kontrol Diyagramı Modellerinin Geliştirilmesi: Direkt Bulanık Yaklaşım. İTÜ Mühendislik Dergisi, 7, 2, 95-105.
- Gülbay, M., Kahraman, C., 2007. An Alternative Approach to Fuzzy Control Charts: Direct Fuzzy Approach. Information Sciences, 177, 1463-1480.
- Gülbay, M., Kahraman, C., 2006. Development of Fuzzy Process Control Charts and Fuzzy Unnatural Pattern Analyses. Computational Statistics & Data Analysis, 51, 434-451.
- Gülbay, M., Kahraman, C., Ruan, D., 2004. α -Cuts Fuzzy Control Charts for Linguistic Data. International Journal of Intelligent Systems, 19, 1173-1196.
- Günay, D., 2006. Alüminyum Sektörü Hakkında Bir Değerlendirme. Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş., Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü, GA-06-07-08, s. 50.
- IAI, 2018. International Aluminum Institute, <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#map>
- Kahraman, C., Kaya, I., 2011. Fuzzy Estimations of Process Incapability Index. Proceedings of The World Congress on Engineering, London.
- Kanagawa, A., Tamaki, F., Ohta, H., 1993. Control Charts for Process Average and Variability Based on Linguistic Data. International Journal of Production Research, 31, 913-922.
- Kaya, I., Kahraman, C., 2011. Process Capability Analyses Based on Fuzzy Measurements and Fuzzy Control Charts. Expert Systems with Applications, 38, 3172-3184.
- Kaya, I., Kahraman, C., 2010. Development of Fuzzy Process Accuracy Index for Decision Making Problems. Information Sciences, 180, 861-872.
- Khademi, M., Amirzadeh, V., 2014. Fuzzy Rules For Fuzzy X and R Control Charts. Iranian Journal of Fuzzy Systems, 11, 55-66.
- Kissel, J.R., Ferry, R.L., 2002. Aluminum Structures, A Guide To Their Specifications and Design. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
- Kotz, S., Johnson, N., 2002. Process Capability Indices-A Review 1992-2000. Journal of Quality Technology, 34, 2-19.
- Montgomery, D.C., 2009. Statistical Quality Control: A Modern Introduction. 6th Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Murray, H., 2002. Industrial Clays Case Study Report of the Mining Minerals and Sustainable Development Project. International Institute for Environment and Development and World Business Council for Sustainable Development, 64.
- Raz, T., Wang, J.H., 1990. Probabilistic and Membership Approach in The Construction of Control Charts for Linguistic Data. Production Planning Control, 1, 147-157.
- Sharafudeen, R., 2012. The Manufacturing Process Parameters Affecting Color and Brightness of TiO2 Pigment. International Journal of Industrial Chemistry, 3, 1-7.
- Shu, M.H., Wu, H.C., 2011. Fuzzy X-Bar and R Control Charts: Fuzzy Dominance Approach. Computers & Industrial Engineering, 613, 676-686.
- Şentürk, S., 2017. Construction of Fuzzy C Control Charts Based on Fuzzy Rule Method. Anadolu University Journal of Science and Technology Applied Sciences and Engineering, 18, 563-572.
- Şentürk, S., Erginel, N., Kaya, I., Kahraman, C., 2011. Design of Fuzzy Control Chart. Journal of Multiple Valued-Logic and Soft Computing, 5, 459-473.
- Uçurum, M., 2017. Fuzzy Statistical Process Control of A Calcite Grinding Plant Using Total Color Difference Parameter (ΔE). IOSR Journal of Engineering, 7, 7-22.
- Uslu, E., Çatar, R., Çolak, M., 2017. Si ve Cu Elementlerini İçeren Alüminyum Döküm Alaşımlarının Korozyon Özelliklerinin Belirlenmesi ve Karşılaştırılması. Engineering Sciences, 12, 3, 133-140.
- Wang, J.H., Raz, T., 1990. On The Construction of Control Charts Using Linguistic Variables. The International Journal of Production Research, 28, 477-487.
- Wang, J.H., Raz, T., 1988. Applying Fuzzy Set Theory in The Development of Quality Control Chart. Proceeding of The International of Production Research, 28, 30-35.
- Zabihinpour, S.M., Ariffin, M.K.A., Tang S.H., Azfanizam A.S., 2014. Fuzzy Based Approach for Monitoring The Mean and Range of The Products Quality. Journal of Applied Environmental & Biological Sciences, 4, 1-7.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets, Information and Control. 8, 338-353.