



Bulanık kontrol grafikleri: Tekstil firmasında bir uygulama

Alev Aslangiray¹

İşletme Ana Bilim Dalı,
Sosyal Bilimler Enstitüsü,
Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye

Gökhan Akyüz²

İşletme Bölümü,
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,
Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye

Özet

Bu çalışmada süreç kontrol grafiklerinin oluşturulmasında bulanık mantık kullanılmış ve bulanık kalite kontrol grafiklerine yönelik bir uygulama verilmiştir. Kontrol grafiklerinin çizimi klasik kontrol grafikleri (u-kontrol grafiği) ve bulanık kontrol grafikleri olmak üzere iki ana kategoride yapılmıştır. Bulanık kontrol grafiklerinde belirsizlik içeren dilsel ifadelerden hareketle bulanık mod, bulanık orta değer, bulanık orta aralık yaklaşımları ve "Direk Bulanık Yaklaşımı (DBY)" uygulanmıştır. Çalışmanın son bölümlerinde çizilen grafiklerin sonuçları bir arada verilir, karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucu u-kontrol grafiklerinde kontrol dışı nokta sayısının bulanık kontrol grafiklerine göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrıca u-grafiklerindeki "kontrol altında" ve "kontrol dışı" kararlarına alternatif olarak "kısmen kontrol altında" ve "kısmen kontrol dışı" gibi kararlar verilebilmektedir.

Anahtar Sözcükler: İstatistiksel Süreç Kontrol, Bulanık Küme Teorisi, Kontrol Grafikleri, Bulanık Kontrol Grafikleri

Fuzzy control charts: An application in a textile company

Abstract

In this study, fuzzy logic is used for establishing the process control charts and a relevant application is given. Plotting of the control charts is conducted in two main categories as classical control charts (u-control charts) and fuzzy control charts. In compliance with the linguistic expressions of uncertainty, fuzzy mode, fuzzy median, fuzzy midrange and "Direct Fuzzy Approach (DFA)" were applied when plotting fuzzy control charts. In the last part of the study, the results and the comparisons of them are presented. As a consequence of the comparisons, it is seen that the number of out of control points were higher in the u-control than the fuzzy control charts. It is also found that, "partially under control" and "partially out of control" decisions can be given as alternatives for "under control" and "out of control" decisions of u-graphics.

Keywords: Statistical Process Control, Fuzzy Set Theory, Control Charts, Fuzzy Control Charts

1. Giriş

Günümüzde işletmelerin, faaliyet gösterdikleri pazarda pay sahibi olabilmeleri, sahip olabildikleri payı koruyabilmeleri ve marka olabilmeleri için üretim yönetimi ve müşteri ilişkilerinde başarılı olmaları ve bununla birlikte fiyat ve kalite yönünden rakiplerinden üstün olmaları gerekmektedir. Bu nedenle, kalite kavramı ve kalite kontrolüne yönelik uygulamalar her geçen gün önem kazanmaktadır. Kalite kontrolü; kaliteyi korumak, geliştirmek ve üretimi alıcının tatmin olacağı en ekonomik seviyede sürdürmek için uygulanan işlemler dizisi olarak tanımlanmaktadır [1].

¹aaaslangiray@gmail.com (A. Aslangiray)

²akyuz@akdeniz.edu.tr (G. Akyüz)



Kontrol grafikleri, ürünün, ürünü oluşturan parçaların ve diğer bileşmelerin kalite spesifikasyonlarını belirlenmiş limitlere göre karşılaştırmaya yarayan araçlardır [2]. Kalite kontrol çalışmalarında yoğun olarak kullanılan bu grafikler, nitel özellikler ve değişkenler için çizilebilmektedir. Nitel özellikler için çizilen kontrol grafikleri, kırık, iyi-kötü, kusurlu, bozuk gibi sıfatlarla ifade edilen kalite spesifikasyonları ile ilgilidir. Değişkenler için çizilen kontrol grafikleri ise boyut, ağırlık, hacim, sıcaklık, hız gibi ölçülebilir karakteristikleri kapsamaktadır [3].

Klasik kontrol grafiklerinde sürecin bilinen parametre değerleri ile normal dağılım gösterdiği ve sürece ilişkin parametre tahminlerinin güvenilir bir şekilde yapıldığı varsayılır. Bu grafikler verilerin kesin ve tam olarak bilindiği durumlar için uygundur. Ancak sürece ait verilerin kesin ve tam olarak saptanması her zaman mümkün olmayabilir. Diğer taraftan kalite ile ilgili özellikler dilsel ifadelerle belirleniyorsa klasik kontrol grafikleri kalite özelliklerini açıklamada ve süreci değerlendirmede yetersiz kalacaktır. Belirsizlik altındaki durumlarda karar analizleri genellikle olasılık teorisi ve/veya bulanık kümeler teorisi kullanılarak yapılmaktadır [4].

1960'lı yıllarda Zadeh tarafından, doğal dildeki belirsizliği modellemek için önerilen bulanık küme teorisi, günümüzde, otomatik kontrol sistemleri, bilgi sistemleri, görüntüleme sistemleri, optimizasyon ve karar problemleri gibi birçok konuda uygulanabilmektedir. Bu çalışmada da süreç kontrol grafiklerinin oluşturulmasında bulanık mantığın kullanımı ve bulanık kalite kontrol grafiklerinin bir tekstil firması örneği üzerinde gösterimi amaçlanmıştır.

Çalışma genel olarak şu bölümlerden oluşmaktadır: İkinci bölümde bulanık mantık ve bulanık küme teorisine genel olarak değinilmiştir. Üçüncü bölümde bulanık kontrol grafikleri ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir; dördüncü bölümde ise çalışmada uygulanan kontrol grafikleri anlatılmıştır. Uygulama ve sonuçlara beşinci bölümde yer verilmiş, sonuç bölümünde ise genel değerlendirmeler yapılmıştır.

2. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi

Karar verme sürecinde karar vericiler, klasik bilimsel yaklaşım ve bu yaklaşımın yöntemlerini kullandıklarında siyah-beyaz, iyi-kötü, evet-hayır veya 0-1 gibi iki yönlü kararlar verirler. Ancak gerçek yaşam karar problemlerinde bu tür mutlak ayırımların yapılamayacağı durumların da var olduğu unutulmamalıdır [5]. Bu tür ortamlarda kullanılacak yaklaşımlardan biri bulanık mantıktır. Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanan bir disiplindir. Bulanık bir küme, farklı üyelik yani ait olma derecelerine sahip elemanları olan bir kümedir. Diğer bir ifadeyle, bulanık bir kümede, nesne kümenin elemanıdır veya değildir şeklinde katı bir tanımlama yapılmamaktadır. Buradaki temel düşünce herhangi bir nesnenin bir dereceye kadar kümenin üyesi olabileceğidir. Böyle bir kümede, "0" kümenin elemanı olmayanların, "1" kümeye tam üye olanların, diğer tüm ara değerler ise kısmi üyeliklerin derecesini göstermektedir [6].

Bulanık mantık, iki seviyeli mantığın oldukça genelleştirilmiş şekli olarak da düşünülebilmektedir. Doğruluğun ya da yanlışlığın derecesini konu alan bulanık mantıkta doğru ve yanlış arasına, kısmen doğru ya da kısmen yanlış kavramları da eklenerek spektrum genişletilmiştir [7].

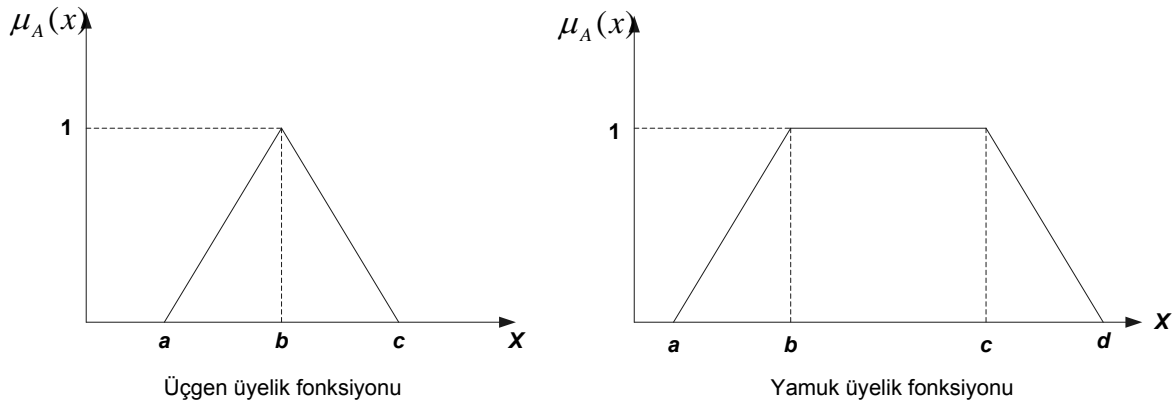
Bulanık küme teorisinde kesin sayısal değerler yerine doğal dilde ifade edilmiş dilsel değişkenler kullanılmaktadır [8]. Bu ifadelerin bulanık sayılara dönüştürülmesi ile çözümlenmeler yapılmaktadır. Bulanık sayı özel bir bulanık kümedir ($\tilde{A} = x \in R | \mu_{\tilde{A}}(x)$).

Burada x , reel doğru üstündeki $R_1 : -\infty < x < +\infty$ değerlerdir ve üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x)$, $[0, 1]$ aralığındaki bir sayı ile eşleşmektedir.

Bulanık kümelerin kullanışlılığı, farklı kavramlara uygun üyelik derecesi fonksiyonlarını oluşturabilme becerisine dayanmaktadır. En sık kullanılan fonksiyonlar kolaylık açısından "üçgen" ve "yamuktur" (Şekil 1). $\mu_A = (a, b, c)$ ve $\mu_A = (a, b, c, d)$ olarak ifade edilen üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanır [9]:

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{eğer } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{eğer } b \leq x < c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{eğer } a \leq x < b \\ 1 & \text{eğer } b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{eğer } c < x \leq d \\ 0 & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 1 Üçgen ve Yamuk Üyelik Fonksiyonları

3. Literatür Taraması

Guiffrida ve Nagi [10], üretim yönetimi araştırmalarında bulanık küme teorisi uygulamalarını konu alan literatür çalışmalarında bulanık kontrol grafikleri kavramının Bradshaw (1983) tarafından tanıtıldığını belirtmişlerdir. Bradshaw çalışmasında, belirli bir kalite standardı ile ürün uygunluğunu derecelendirilip yorumlanmak için bulanık küme teorisini kullanmıştır. Karwowski ve Evans [11], kalite karakteristiklerinin sayılara dönüştürülmesinde dilsel değişkenlerin, kontrol limitleri için ise bulanık sayıların kullanılmasını önermişlerdir.

Diğer taraftan, kontrol grafiklerinde bulanık küme teorisinin kullanımı, Wang ve Raz [12] ile önem kazanmıştır. Wang ve Raz [12], dilsel değişkenlere bağlı kontrol grafiklerini tanımlarken olasılık (probabilistic) ve üyelik (membership) yaklaşımı olmak üzere iki yaklaşım geliştirmişlerdir. Bulanık ölçümlerde kullanılacak temsil değerleri için bulanık mod, α -kesim bulanık değişim aralığı, bulanık medyan ve bulanık ortalama yaklaşımlarını kullanmışlardır. Wang ve Raz [13] 1990 yılında yaptıkları ilk çalışmada, x-ortalama kontrol grafiğini, ikinci çalışmada ise p kontrol grafiğini çalışmışlar ve bulanık kontrol grafiklerinin standart kontrol grafiklerine göre daha duyarlı olduklarını tespit etmişlerdir.

Kanagawa ve diğerleri [14], dilsel değişkenler için geliştirdikleri kontrol grafiklerinde süreç ortalamasının yanı sıra süreç değişkenliğini de kontrol etmek için olasılık yoğunluk fonksiyonlarını kullanmışlardır. Wang ve Chen [15], bulanık matematiksel programlama modeli ile ekonomik istatistiksel np kontrol grafiklerini tasarlamışlardır. Çalışmalarında, tip-1 ve tip-2 hatalarındaki katsayıların daha ekonomik şekilde tahmin edilmesini

sağlamışlardır. Franceschini ve Romano [16], dilsel değişkenler için kontrol grafiklerini kullanarak bir ürün/hizmetin nitel karakteristiklerini online kontrol edecek bir yöntem önermişlerdir. Yöntem, dilsel ölçek düzeylerinin üyelik fonksiyon biçimleri için kesin bilgi gerektirmemekte ve bu özelliği ile bulanık mantığı kullanan diğer yöntemlerden ayrılmaktadır. Rowlands ve Wang [17], FSEC (Fuzzy - SPC evaluation and control) yöntemini geliştirmişler ve analizlerini Borland C ++ 5.0 da hazırlanmış bir benzetim programıyla yapmışlardır. Bu yöntem, kalite değerlendirme kriterlerinin belirli süreç kontrol alanlarına (SPC-zone) dağıtılmasına dayanmaktadır. Dolayısıyla, bulanık verilerin taşıdığı belirsizliği ifade eden özellikler anlamını yitirmektedir. Taleb ve Limam [18], olasılık ve üyelik yaklaşımını farklı yönleri ile değerlendirmeye çalışmış; bulanık ve olasılık yaklaşımlarını sonuçta çıkan gerçek verilere göre değerlendirmişlerdir.

Gülbay ve diğerleri [19], muayene sıklığını düzenlemek için α -kesim bulanık kontrol grafiklerini geliştirmişlerdir. Gülbay ve Kahraman [20], bulanık kontrol diyagramları için anormal davranış testlerini geliştirmişlerdir. Bu testlerde bulanık olayların olasılığını kullanmışlar ve anormallik üyelik derecelerini tanımlamışlardır. Gülbay ve Kahraman [21], bulanık kontrol diyagramlarında alternatif bir yaklaşım olarak Direk Bulanık Yaklaşımı (DBY) önermişlerdir. Bu yaklaşımda bilgi kaybını engellemek için, dilsel veriler, durulaştırmaya veya herhangi bir dönüşüme tabi tutulmadan bulanık uzayda doğrudan karşılaştırılmaktadır.

Cheng [22], uzmanların kaliteye ilişkin subjektif değerlendirmeleri ile elde ettikleri bulanık sonuçları kullanarak süreç için bulanık kontrol grafikleri oluşturmuşlardır. Geliştirdikleri kontrol grafikleri, sürecin merkezi eğilimini izlemenin yanı sıra bulanıklığın derecesini de göstermektedir.

Literatürde bulanık kontrol grafikleri üzerine yakın zamanda yapılan çalışmalardan örnekler ise şunlardır: Şentürk ve Erginel [23], α kesimli bulanık $\tilde{X} - \tilde{R}$ ve $\tilde{X} - \tilde{S}$ kontrol grafiklerini; Shu ve Wu [24], Amirzadeh ve diğerleri [25], hatalı ürün oranlarını izlemek için bulanık p kontrol grafiklerini geliştirmişlerdir. Faraz ve Shapiro [26], bulanık tesadüfî değişkenlere bağlı olarak bulanık kontrol grafiklerini oluşturmuşlardır.

4. Kontrol Grafikleri

4.1. Klasik u-Kontrol Grafiği

Uzunluk, ısı, nem gibi ölçülebilen değişkenler için $\bar{X} - R$ ve $\bar{X} - s$ kontrol grafikleri, iyi-kötü, hatalı gibi ölçülemeyen özellikler için ise hatalı ürün oranı (p), hatalı ürün sayısı (np), hata sayısı (c) ve birim başına hata sayısı (u) grafikleri çizilebilmektedir.

"Hata" ve "hatalı" terimleri arasında her zaman bir karışıklık olmaktadır. "Hata" bir kalite karakteristiğini gösterir ve pek çok kalite karakteristiği bulunduğu için bir birimde pek çok hata meydana gelebilir. "Hatalı" ise tam bir birimi işaret eder. Özellikler için kullanılan grafikler, hatalı parçalar için p ve np ; hatalar için c ve u grafikleri olarak kategorize edilebilir [27].

Bu çalışma hatalar üzerine yoğunlaşmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan örnek büyüklükleri sabit değildir. Örneğin, dokuma sonrası yağ lekesi, delik, düğüm sayısı, vb. hataların belirlendiği kumaş toplarının uzunluğu aynı değildir. Bu nedenle hata sayısı (c) kontrol grafiği uygulanamaz. Örnekteki birim sayılarının farklılık gösterdiği durumlarda, birim başına düşen hata sayısı (u) kontrol grafikleri tercih edilmelidir. u -kontrol grafiğinin kontrol limitleri [28]:

\bar{u} : Bir örnek grubu için hesaplanan, birim başına düşen ortalama hata

c : Örnek grubundaki herhangi bir birimdeki hata sayısı olmak üzere

$$\bar{u} = c/n \quad (3)$$

$$UCL_u = \bar{u} + 3 \sqrt{\bar{u}/n} \quad (4)$$

$$CL_u = \bar{u} \quad (5)$$

$$LCL_u = \bar{u} - 3 \sqrt{\bar{u}/n} \quad (6)$$

olarak hesaplanır. Örnek büyüklüğünün farklı olması nedeniyle değişken kontrol limitleri ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan, alt kontrol limitinin negatif hesaplanması durumunda kontrol limiti "0" olarak alınır.

4.2. Bulanık Kontrol Grafikleri

Dilsel değişkenleri temsili değerlere (bulanık sayılara) dönüştürmek suretiyle veya herhangi bir dönüşüme tabi tutmadan doğrudan kullanarak bulanık kontrol grafiklerini oluşturmak mümkündür. Verileri temsili değerlere dönüştürerek oluşturulan bulanık kontrol grafiklerinde farklı yaklaşımlar uygulanabilmektedir. Literatürde yoğunlukla tercih edilenler, bulanık mod, α -seviyesinde bulanık orta aralık ve bulanık medyan yaklaşımlarıdır. Gülbay ve Kahraman [21] tarafından önerilmiş olan Direk Bulanık Yaklaşımda ise veriler, bulanık ortamda incelenmekte ve herhangi bir dönüştürme işlemi olmadan doğrudan kullanılmaktadır.

4.2.1. Bulanık Mod (Tepe Değeri) Yaklaşımı

f bulanık kümesinin bulanık modu (tepe değeri), üyelik derecesinin 1'e eşit olduğu değerdir. Üçgensel üyelik fonksiyonlarında sadece bir değer 1'e eşit olduğundan bulanık mod değeri de tektir [7].

$$f_{mod} = \{x \in X | \mu_f(x) = 1\} \quad (7)$$

Bulanık mod yöntemi ile kalite karakteristiğini oluşturan dilsel değişkenler bulanık bir yapıya kavuşturulabilir. Üçgensel üyelik fonksiyonları birçok modelden oluşabilir fakat bulanık mod küme değerleri "b" ve "c" olarak belirlenen değerler arasında yer almaktadır. Dönüşüm için kullanılan denklemler aşağıda yer almaktadır [21];

$$S_{modj} = [b_j, c_j] \quad (8)$$

$$CL_{mod} = f_{mod}(\bar{CL}) = [CL_2, CL_3] \quad (9)$$

$$LCL_{mod} = CL_{mod} - 3\sqrt{CL_{mod}} = [(CL_2 - 3\sqrt{CL_2}), (CL_3 - 3\sqrt{CL_3})] = [LCL_2, LCL_3] \quad (10)$$

$$UCL_{mod} = CL_{mod} + 3\sqrt{CL_{mod}} = [(CL_2 + 3\sqrt{CL_2}), (CL_3 + 3\sqrt{CL_3})] = [UCL_2, UCL_3] \quad (11)$$

$$\beta_j = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & \text{eğer } b_j \geq UCL_3 \\ \frac{UCL_3 - b_j}{c_j - b_j}, & \text{eğer } (LCL_2 \leq b_j \leq UCL_3) \wedge (c_j \geq UCL_3) \\ 1, & \text{eğer } (b_j \geq LCL_2) \wedge (c_j \leq UCL_3) \\ \frac{LCL_2 - b_j}{c_j - b_j}, & \text{eğer } (b_j \leq LCL_2) \wedge (LCL_2 \leq c_j \leq UCL_3) \\ 0, & \text{eğer } c_j \leq LCL_2 \end{array} \right\} \quad (12)$$

$$Süreç Kontrolü = \left\{ \begin{array}{ll} \text{kontrol altında,} & \text{eğer } \beta = 1 (b_j \geq LCL_2 \wedge c_j \leq UCL_2) \\ \text{süreç kontrol dışı,} & \text{eğer } \beta = 0 (b_j \geq UCL_2 \vee c_j \leq LCL_2) \\ \text{kısmen kontrol altında,} & \text{eğer } \beta_j \geq \beta \dots \dots \text{diğer durumlarda} \\ \text{kısmen kontrol dışı,} & \text{eğer } \beta_j < \beta \dots \dots \text{diğer durumlarda} \end{array} \right\} \quad (13)$$

4.2.2. α -Seviyesinde Bulanık Orta Aralık Yaklaşımı

α seviyesindeki kesmenin sınırlarının orta noktası olarak tanımlanabilir. a^α ve d^α değerleri α -kesim sonucu oluşmuş değerlerin sınır noktalarıdır ve α kesmesi, üyelik derecesi α 'ya eşit yada daha büyük üyelik dereceleri olan elemanları bütünleştiren bulanık olmayan kümelerdir. Buna göre [23];

$$f_{mr}^\alpha = \frac{1}{2}(a^\alpha + d^\alpha) \quad (14)$$

a^α ve d^α değerleri [20] ve kontrol limitleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır[21]:

$$a_1^\alpha = \alpha(b_1 - a_1) + a_1 \quad (15)$$

$$d_1^\alpha = d_1 - (d_1 - b_1)\alpha \quad (16)$$

$$S_{mr,j}^\alpha = \frac{a_j^\alpha + d_j^\alpha}{2} = \frac{(a_j + d_j) + \alpha[(b_j - a_j) - (d_j - c_j)]}{2} \quad (17)$$

$$CL_{mr}^\alpha = f_{mr}^\alpha(\bar{CL}) = \frac{CL_1^\alpha + CL_4^\alpha}{2} = \frac{CL_1 + CL_4 + \alpha[(CL_2 - CL_1) - (CL_3 - CL_4)]}{2} \quad (18)$$

$$LCL_{mr}^\alpha = CL_{mr}^\alpha - 3\sqrt{CL_{mr}^\alpha} \quad (19)$$

$$UCL_{mr}^\alpha = CL_{mr}^\alpha + 3\sqrt{CL_{mr}^\alpha} \quad (20)$$

$$Süreç Kontrolü = \left\{ \begin{array}{ll} \text{süreç kontrol altında,} & \text{eğer } LCL_{mr}^\alpha \leq S_{mr,j}^\alpha \leq UCL_{mr}^\alpha \\ \text{süreç kontrol dışı,} & \text{diğer durumlarda} \end{array} \right\} \quad (21)$$

$\alpha = 1$ olduğunda α -seviyesinde bulanık orta aralık yaklaşımı ile bulanık mod yaklaşımları aynı sonuçları verir.

4.2.3. α -Seviyesinde Bulanık Medyan Yaklaşımı

Bulanık kümenin üyelik fonksiyonu altındaki eğriyi iki eşit alana bölen ve aşağıdaki eşitliği sağlayan noktadır. Burada a ve b, F bulanık kümesinin temel değişkenin bitim noktalarıdır ve $a < b$ 'dir [23].

$$\int_a^{f_{med}} \mu F(x) dx = \int_{f_{med}}^b \mu f(x) dx = \frac{1}{2} \int_a^b \mu F(x) dx \quad (22)$$

Gerekli hesaplamalar için kullanılacak denklemler de aşağıdaki gibidir[21]:

$$S_{med,j}^\alpha = \frac{1}{4}(a_j^\alpha + b_j + c_j + d_j^\alpha) \quad (23)$$

$$CL_{med}^\alpha = f_{med}^\alpha(\bar{CL}) = \frac{1}{4}(CL_1^\alpha + CL_2 + CL_3 + CL_4^\alpha) \quad (24)$$

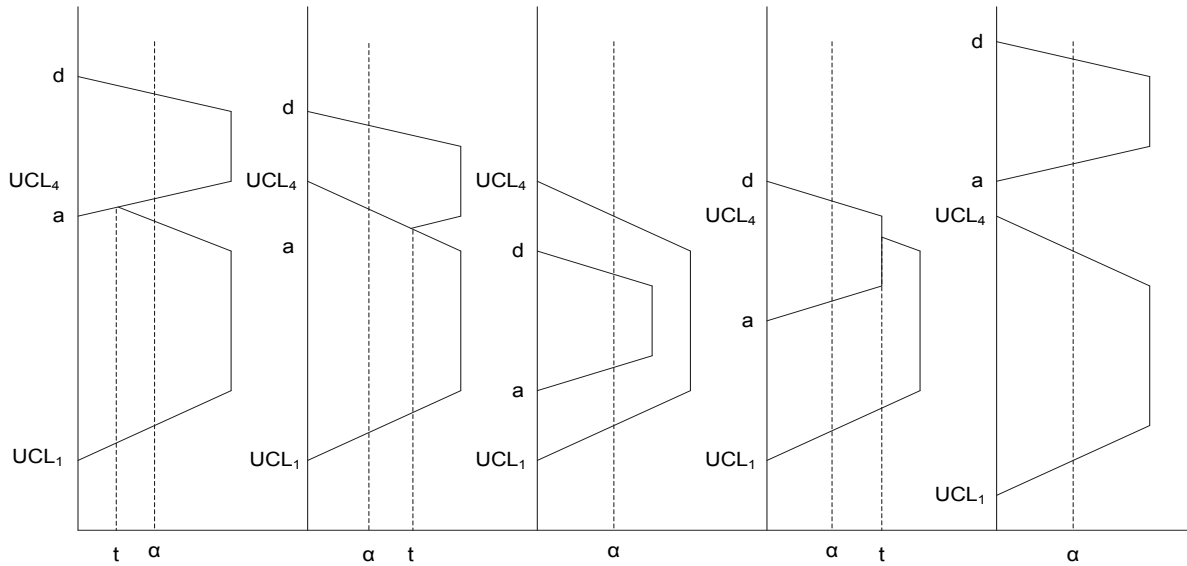
$$LCL_{med}^\alpha = CL_{med}^\alpha - 3\sqrt{CL_{med}^\alpha} \quad (25)$$

$$UCL_{med}^\alpha = CL_{med}^\alpha + 3\sqrt{CL_{med}^\alpha} \quad (26)$$

$$\text{Süreç Kontrolü} = \begin{cases} \text{kontrol altında,} & \text{eğer } LCL_{med}^{\infty} \leq S_{med,j}^{\infty} \leq UCL_{med}^{\infty} \\ \text{süreç kontrol dışı,} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (27)$$

4.2.4. Direk Bulanık Yaklaşım

Direk bulanık yaklaşımı diğer yaklaşımlardan ayıran temel özelliği verilerin herhangi bir şekilde dönüştürülmemesidir. Böylelikle bilgi kaybı da önlenmiş olmaktadır. Bu yaklaşıma göre sürecin kontrol altında olup olmaması durumu alanların değerlendirilmesine bağlı olmaktadır. Eğer örnek tamamıyla kontrol sınırlarının belirlediği alan içerisinde ise süreç kontrol altındadır. Alan yüzdesi β_j olarak gösterilmektedir ve β_j 'nin aldığı değerlere bağlı olarak süreç için "kısmen kontrol altında" veya "kısmen kontrol dışı" şeklinde kararlar vermeye olanak tanımaktadır. Eğer örnek tamamı ile kontrol sınırlarının oluşturduğu alan dışında kalıyorsa süreç kontrol dışıdır denir. Şekil 2'de karşılaşılabilecek durumlara ilgili örnekler verilmiştir [21].



Şekil 2 Direk Bulanık Yaklaşım Sonucu Örnek Alanının Limit Değerleriyle Oluşturduğu Alanlara Göre Alabileceği Farklı Durumlar

$$\beta_j^{\infty} = \frac{S_j^{\infty} - A_{out,j}^{\infty}}{S_j^{\infty}} \quad (28)$$

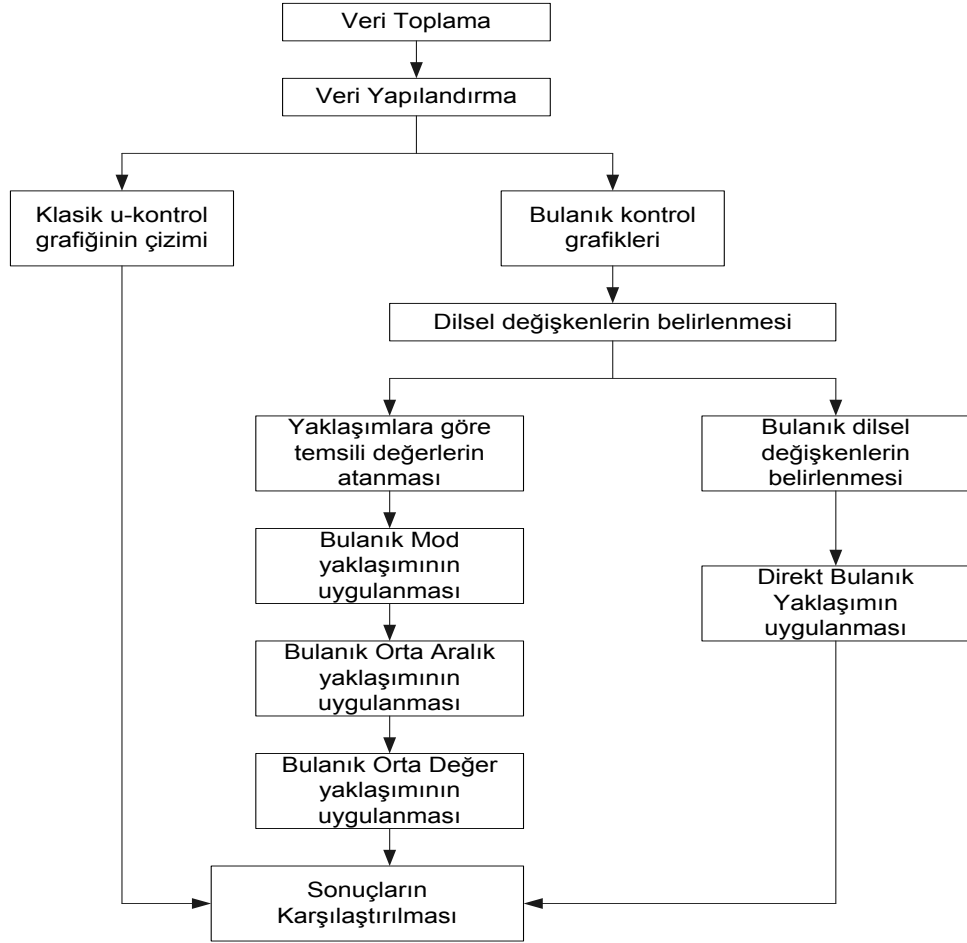
$$\text{Süreç Kontrol} = \begin{cases} \text{kontrol altında,} & 0,85 \leq \beta_j \leq 1 \\ \text{kısmen kontrol altında,} & 0,60 \leq \beta_j \leq 0,85 \\ \text{kısmen kontrol dışında,} & 0,10 \leq \beta_j \leq 0,60 \\ \text{kontrol dışında,} & 0 \leq \beta_j \leq 0,10 \end{cases} \quad (29)$$

Direk bulanık yaklaşım için kullanılan denklemler ve algoritma Ek-1 ve Ek-2'de verilmiştir.

5. Uygulama

Uygulama kumaş üretimi yapan bir tekstil firmasında gerçekleştirilmiştir. Firmadan Ekim ayına ait kalite kontrol verileri toplanmış ve yapılan analizler sonucunda en çok talep gören Ranforce kumaş tipinin incelenmesine karar verilmiştir. Çalışmada izlenen metodoloji Şekil 3'te verilmiştir. Veri yapılandırma aşamasında ilgili kumaş tipine ait

günlük hata çeşitleri ve sayıları oranlara dönüştürülerek veriler analize uygun hale getirilmiştir. Bu noktadan sonra çalışma iki ayrı aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada (3)-(6) nolu denklemler kullanılarak klasik u-kontrol grafikleri çizilmiştir. İkinci aşamada ise bulanık kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Bulanık kontrol grafiklerinde bulanık mod, bulanık orta değer (medyan) bulanık orta aralık yaklaşımları ve direkt bulanık yaklaşım olmak üzere dört temel yaklaşım uygulanmıştır. Bunlardan ilk üçü dönüşüm yöntemlerini kullanmakta, dördüncüsü ise bulanık değerler üstünden çözümleme yapmaktadır. Çalışmanın sonunda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 3 Çalışmanın Metodolojik Adımları

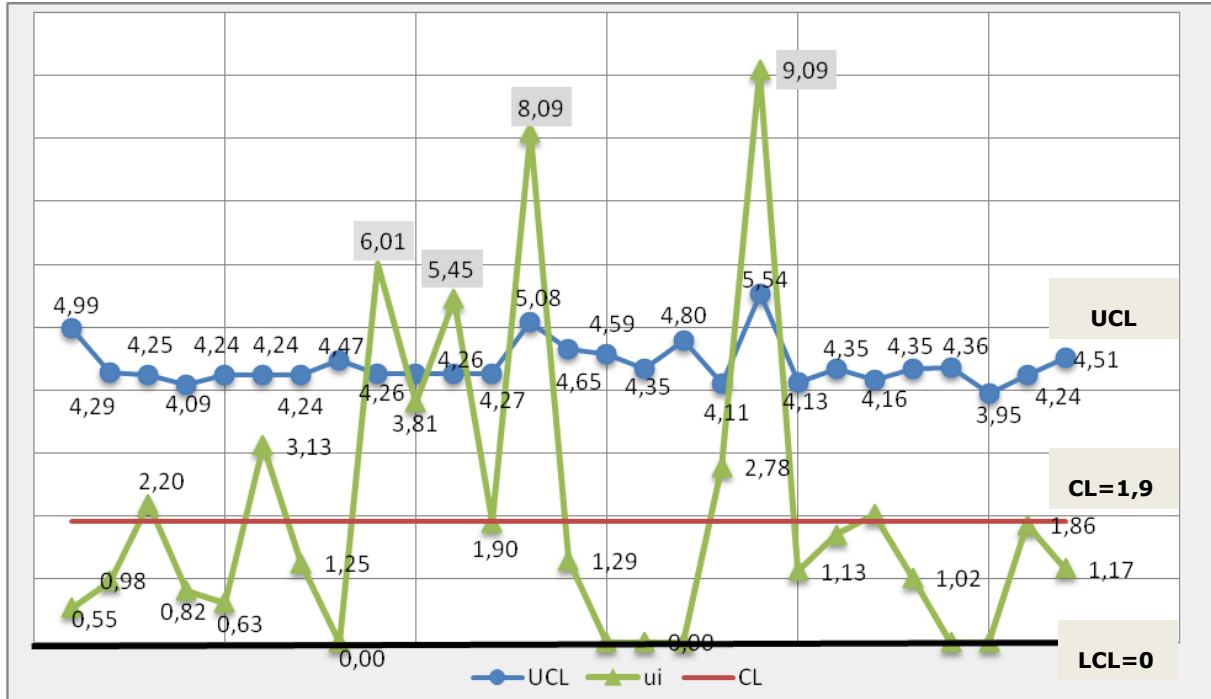
5.1. Klasik u-Kontrol Grafiği

Fabrikada günlük üretilen top kumaşlardaki hataları belirlemek amacı ile %100 muayene yapılmıştır. Örnek büyüklüğü metre cinsinden kumaş topunun uzunluğu olarak alınmıştır. Kumaş uzunlukları farklı olduğundan örnek büyüklükleri farklıdır. Dolayısıyla kontrol limitleri de farklılaşmaktadır. Ekim ayı içerisinde 3500/240 Ranforce kumaş için hesaplanan kontrol limitleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 3500/240 Ranforce Kumaş Topları için Hesaplanan Kontrol Limitleri (Ekim 2010)

Örnek No	Kumaş Metresi (n _i)	Hata Sayısı (c _i)	u _i =c _i / n _i	UCL	Max(0,LCL)	u _i (%)	UCL (%)	LCL (%)
1	183	1	0,0054	0,0499	(0, -0,0115)	0,55	4,99	-1,15
2	307	3	0,0097	0,0429	(0, -0,0045)	0,98	4,29	-0,45
3	318	7	0,0220	0,0425	(0, -0,0041)	2,20	4,25	-0,41
4	367	3	0,0081	0,0409	(0, -0,0025)	0,82	4,09	-0,25
5	320	2	0,0062	0,0424	(0, -0,0040)	0,63	4,24	-0,40
6	320	10	0,0312	0,0424	(0, -0,0040)	3,13	4,24	-0,40
7	320	4	0,0125	0,0424	(0, -0,0040)	1,25	4,24	-0,40
8	265	0	0	0,0447	(0, -0,0063)	0,00	4,47	-0,63
9	316	19	0,0601	0,0426	(0, -0,0041)	6,01	4,26	-0,42
10	315	12	0,0380	0,0426	(0, -0,0042)	3,81	4,26	-0,42
11	312	17	0,0544	0,0427	(0, -0,0043)	5,45	4,27	-0,43
12	315	6	0,0190	0,0426	(0, -0,0042)	1,90	4,26	-0,42
13	173	14	0,0809	0,0508	(0, -0,0124)	8,09	5,08	-1,24
14	232	3	0,0129	0,0465	(0, -0,0080)	1,29	4,65	-0,81
15	243	0	0	0,0459	(0, -0,0074)	0,00	4,59	-0,75
16	292	0	0	0,0435	(0, -0,0051)	0,00	4,35	-0,51
17	208	0	0	0,048	(0, -0,0096)	0,00	4,80	-0,96
18	360	10	0,0277	0,0411	(0, -0,0027)	2,78	4,11	-0,27
19	132	12	0,0909	0,0554	(0, -0,0169)	9,09	5,54	-1,70
20	354	4	0,0112	0,0413	(0, -0,0029)	1,13	4,13	-0,29
21	293	5	0,0170	0,0435	(0, -0,0050)	1,71	4,35	-0,51
22	344	7	0,0203	0,0416	(0, -0,0032)	2,03	4,16	-0,32
23	293	3	0,0102	0,0435	(0, -0,0050)	1,02	4,35	-0,51
24	290	0	0	0,0436	(0, -0,0052)	0,00	4,36	-0,52
25	417	0	0	0,0395	(0, -0,0011)	0,00	3,95	-0,12
26	322	6	0,0186	0,0424	(0, -0,0039)	1,86	4,24	-0,40
27	257	3	0,0116	0,0451	(0, -0,0067)	1,17	4,51	-0,67
Σ=	7868	151	0,5689					
		CL=ū	0,01919		CL=ū (%)	1,91		

Şekil 4'teki kontrol grafiği incelendiğinde 27 örnekten 9, 11, 13, 19. noktaların üst kontrol limitinin (UCL) dışında olduğu görülmektedir. Alt kontrol limitleri (LCL) negatif değer aldığından ve hata sayısının negatif olabilmesi söz konusu olamayacağından max(0,LCL) alınmıştır. Sürecin kontrol dışına çıktığı noktalarda hata sayılarında ani yükselişler meydana gelmiştir.



Şekil 4 Ekim Ayı 3500/240 Ranforce U-Kontrol Grafiği

5.2. Bulanık Kontrol Grafikleri

Bulanık kontrol grafiklerinin çizimi aşamasında öncelikle dilsel değişkenler belirlenmiştir. Dilsel değişken, hata türlerinin kalite sorumlusu için ifade ettiği anlamdır ve "Önemsiz", "Az Önemli", "Önemli" olarak kategorize edilmiştir. Her hata farklı önem düzeyine sahip olduğundan hata türleri için farklı ağırlık değerleri belirlenmiştir. Örneğin yağ lekesi düzeltilebilir bir hata olduğu için "Az Önemli" kategorisinde yer almış ve ağırlığı 0,5 olarak kabul edilmiştir (Tablo 2). Çalışmada, normal hata ve ağırlıklı hata değerleri hesaplanmış ve bu değerler bulanık kontrol grafiklerinin oluşturulmasında temel dilsel değişkenler olarak kullanılmıştır. Bulanık kontrol grafikleri oluşturulurken farklı α değerleri karşılaştırıldıktan sonra en uygun değer 0,60 olduğu tespit edilmiş ve hesaplamalarda bu değer kullanılmıştır.

Tablo 2 Hata Türlerine Göre Ağırlık Değerleri

Hata Türü	Önem Derecesi	Ağırlık
Atkı Yırtılması	Önemsiz	0,25
Ayak Kaçığı; Kafes-Delik; Çözümlü Kopuğu; Atlama; Uçuntu; Yağ Lekesi; Atkı Düzensizliği; Çözümlü Düzensizliği	Az Önemli	0,5
Diğer Hatalar	Önemli	1

5.2.1. Bulanık Mod Yaklaşımı

Bulanık mod yaklaşımında temsili değerlere dönüştürürken (8) nolu denklem kullanılmış; kontrol limitleri ise (9) - (11) nolu denklemlere göre hesaplanmıştır. Sürecin kontrol altında olup/olmaması 13 nolu denklem kullanılarak tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3 Bulanık Mod Yaklaşımı Ekim Ayı Sonuçları

No	Smodj		CL _{mod}		LCL _{mod}		UCL _{mod}		β _i	β=0,7	Karar
	b _i	c _i	CL ₂	CL ₃	LCL ₂	LCL ₃	UCL ₂	UCL ₃			
1	0,14	0,55	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
2	0,49	0,98	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
3	0,79	2,20	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
4	0,61	0,82	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
5	0,16	0,63	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1",00	Kontrol Altında
6	0,78	3,13	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
7	0,31	1,25	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
8	0,38	0,38	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
9	2,61	6,01	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
10	1,75	3,81	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
11	2,32	5,45	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
12	1,19	1,90	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
13	3,76	8,09	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	0,66	1,00	Kismen K. Altında
14	1,29	1,29	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
15	0,41	0,41	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
16	0,34	0,34	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
17	0,48	0,48	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
18	1,67	2,78	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
19	5,49	9,09	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	0,32	1,00	Kismen K. Altında
20	0,49	1,13	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
21	0,43	1,71	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
22	0,44	2,03	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
23	0,26	1,02	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
24	0,34	0,34	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
25	0,24	0,24	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
26	0,16	1,86	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında
27	0,39	1,17	1,03	2,19	-3,41	-0,85	4,07	6,63	1,00	1,00	Kontrol Altında

5.2.2. Bulanık Orta Aralık Yaklaşımı

Bulanık orta aralık yaklaşımında temsili değerlere dönüştürme işlemi (17) nolu denklem, kontrol limitleri ise (18) - (20) nolu denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Sürecin kontrol altında olup olmadığı kararı ise (21) nolu denkleme göre verilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4 α-Seviyesinde Bulanık Orta Aralık Yaklaşımı Ekim Ayı Sonuçları

No	u _j				S ^α _{m,r,j}	CL				LCL ^α _{mr}	UCL ^α _{mr}	CL ^α _{m,r}	Karar
	a _j	b _j	c _j	d _j		CL ₁	CL ₂	CL ₃	CL ₄				
1	0,00	0,14	0,55	1,09	0,42	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
2	0,16	0,49	0,98	1,30	0,73	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
3	0,47	0,79	2,20	2,52	1,49	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
4	0,34	0,61	0,82	1,09	0,72	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
5	0,00	0,16	0,63	0,94	0,42	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
6	0,47	0,78	3,13	3,44	1,95	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
7	0,00	0,31	1,25	1,56	0,78	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
8	0,00	0,38	0,38	0,75	0,38	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
9	2,29	2,61	6,01	6,33	4,31	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
10	1,43	1,75	3,81	4,13	2,78	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
11	2,00	2,32	5,45	5,77	3,89	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
12	0,87	1,19	1,90	2,22	1,55	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
13	3,18	3,76	8,09	8,67	5,92	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Dışında
14	0,86	1,29	1,29	1,72	1,29	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında
15	0,00	0,41	0,41	0,82	0,41	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında

Tablo 4 α -Seviyesinde Bulanık Orta Aralık Yaklaşımı Ekim Ayı Sonuçları (Devam)

u_j					CL									Karar
No	a_j	b_j	c_j	d_j	$S_{m,r,j}^\alpha$	CL_1	CL_2	CL_3	CL_4	LCL_{mr}^α	UCL_{mr}^α	$CL_{m,r}^\alpha$		
16	0,00	0,34	0,34	0,68	0,34	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
17	0,00	0,48	0,48	0,96	0,48	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
18	1,39	1,67	2,78	3,06	2,22	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
19	4,73	5,49	9,09	9,85	7,29	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Dışında	
20	0,21	0,49	1,13	1,41	0,81	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
21	0,09	0,43	1,71	2,05	1,07	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
22	0,15	0,44	2,03	2,33	1,24	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
23	0,00	0,26	1,02	1,37	0,66	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
24	0,00	0,34	0,34	0,69	0,34	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
25	0,00	0,24	0,24	0,48	0,24	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
26	0,00	0,16	1,86	2,17	1,04	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	
27	0,00	0,39	1,17	1,56	0,78	0,69	1,03	2,19	2,55	-2,23	5,89	1,83	K.Altında	

5.2.3. Bulanık Orta Değer (Medyan) Yaklaşımı

Bulanık orta değer yaklaşımında temsili değerlere dönüştürme işlemi (23) nolu denklem, kontrol limitleri ise (24) - (26) nolu denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Sürecin kontrol altında olup olmadığı kararı ise (27) nolu denkleme göre verilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5 α -Seviyesinde Bulanık Orta Değer Yaklaşımı Sonuçları

u_j					CL									Karar
No	a_j^α	b_j	c_j	d_j^α	$S_{med,j}^\alpha$	CL_1^α	CL_2	CL_3	CL_4^α	LCL_{med}^α	UCL_{med}^α	CL_{med}^α		
1	0,082	0,137	0,546	0,765	0,383	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
2	0,358	0,489	0,977	1,107	0,733	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
3	0,660	0,786	2,201	2,327	1,494	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
4	0,504	0,613	0,817	0,926	0,715	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
5	0,094	0,156	0,625	0,750	0,406	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
6	0,656	0,781	3,125	3,250	1,953	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
7	0,188	0,313	1,250	1,375	0,781	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
8	0,226	0,377	0,377	0,528	0,377	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
9	2,484	2,611	6,013	6,139	4,312	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
10	1,619	1,746	3,810	3,937	2,778	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
11	2,196	2,324	5,449	5,577	3,886	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
12	1,063	1,190	1,905	2,032	1,548	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
13	3,526	3,757	8,092	8,324	5,925	0,89	1,03	2,19	2,335	-2,197	5,42	1,61	K.Dışında	
14	1,121	1,293	1,293	1,466	1,293	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
15	0,247	0,412	0,412	0,576	0,412	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
16	0,205	0,342	0,342	0,479	0,342	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
17	0,288	0,481	0,481	0,673	0,481	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
18	1,556	1,667	2,778	2,889	2,222	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
19	5,189	5,492	9,091	9,394	7,292	0,89	1,03	2,19	2,335	-2,197	5,42	1,61	K.Dışında	
20	0,381	0,494	1,130	1,243	0,812	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
21	0,290	0,427	1,706	1,843	1,067	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
22	0,320	0,436	2,035	2,151	1,235	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
23	0,154	0,256	1,024	1,160	0,648	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
24	0,207	0,345	0,345	0,483	0,345	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
25	0,144	0,240	0,240	0,336	0,240	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
26	0,093	0,155	1,863	1,988	1,025	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	
27	0,233	0,389	1,167	1,323	0,778	0,89	1,03	2,19	2,345	-2,197	5,42	1,61	K.Altında	

5.2.4. Direk Bulanık Yaklaşım

Direk bulanık yaklaşım ile kontrol grafiklerini oluşturma aşamasında Ek-2'deki algoritmalara uygun olarak Microsoft Excel'de makrolar hazırlanmış ve bu makrolar aracılığı ile Ek-1'de verilen denklemler çözülerek sürecin kontrol altında olup olmadığı kararı verilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6 Direk Bulanık Yaklaşım Sonucu Ekim Ayı Süreç Kararları

No	A_{out}^L	A_{out}^U	$A_{out,j}^a$	S_j^a	β_j^a	Karar
1	0	0	0	0.451	1	Kontrol Altında
2	0	0	0	0.489	1	Kontrol Altında
3	0	0	0	1.038	1	Kontrol Altında
4	0	0	0	0.286	1	Kontrol Altında
5	0	0	0	0.422	1	Kontrol Altında
6	0	0	0	1.594	1	Kontrol Altında
7	0	0	0	0.750	1	Kontrol Altında
8	0	0	0	0.226	1	Kontrol Altında
9	0	0	0	2.231	1	Kontrol Altında
10	0	0	0	1.429	1	Kontrol Altında
11	0	0	0	2.067	1	Kontrol Altında
12	0	0	0	0.619	1	Kontrol Altında
13	0.5747	0.5747	2.948	0.805	0.5747	Kısmen Kontrol Altında
14	0	0	0	0.259	1	Kontrol Altında
15	0	0	0	0.247	1	Kontrol Altında
16	0	0	0	0.205	1	Kontrol Altında
17	0	0	0	0.288	1	Kontrol Altında
18	0	0	0	0.833	1	Kontrol Altında
19	0.988	0.988	2.614	0.622	0.988	Kısmen Kontrol Dışı
20	0	0	0	0.551	1	Kontrol Altında
21	0	0	0	0.973	1	Kontrol Altında
22	0	0	0	1.134	1	Kontrol Altında
23	0	0	0	0.640	1	Kontrol Altında
24	0	0	0	0.207	1	Kontrol Altında
25	0	0	0	0.144	1	Kontrol Altında
26	0	0	0	1.165	1	Kontrol Altında
27	0	0	0	0.700	1	Kontrol Altında

5.3. Sonuçların Karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan dört farklı bulanık kontrol grafiği yaklaşımının ve klasik u-kontrol grafiğinin karşılaştırması Tablo 7'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi u-grafikleri ile bulanık kontrol grafiklerinin sonuçları farklılaşmaktadır. Ekim ayı içerisinde u-kontrol grafiğinde 4 nokta (9, 11, 13 ve 19) kontrol dışı iken; 13 ve 19. noktalar bulanık mod yaklaşımında Kısmen Kontrol Dışı; bulanık orta aralık ve orta değer yaklaşımlarında Kontrol Dışı; Direk Bulanık Yaklaşımında ise Kısmen Kontrol Altında görünmektedir.

Tablo 7 Klasik Kontrol Grafikleri ile Bulanık Kontrol Grafikleri Karşılaştırması

No	b_j	c_j	Bulanık Kontrol Grafikleri				
			Klasik u-Grafiği	Mod Değeri	Orta Aralık	Orta Değer	Direk Bulanık Yaklaşım
1	0.137	0.546	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
2	0.489	0.977	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
3	0.786	2.201	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
4	0.613	0.817	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
5	0.156	0.625	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
6	0.781	3.125	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
7	0.313	1.250	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
8	0.377	0.377	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
9	2.611	6.013	K. Dışı	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
10	1.746	3.810	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
11	2.324	5.449	K. Dışı	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
12	1.190	1.905	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
13	3.757	8.092	K. Dışı	Kısmen K. Dışı	K. Dışı	K. Dışı	Kısmen K. Altında
14	1.293	1.293	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
15	0.412	0.412	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
16	0.342	0.342	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
17	0.481	0.481	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
18	1.667	2.778	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
19	5.492	9.091	K. Dışı	Kısmen K. Dışı	K. Dışı	K. Dışı	Kısmen K. Altında
20	0.494	1.130	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
21	0.427	1.706	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
22	0.436	2.035	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
23	0.256	1.024	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
24	0.345	0.345	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
25	0.240	0.240	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
26	0.155	1.863	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında
27	0.389	1.167	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında	K. Altında

İşletmede üretilen kumaşlar çarşaf, yastık kılıfı üretiminde kullanılmak üzere yerli ve yabancı müşterilere satılmaktadır. Kumuşta dokuma esnasında meydana gelen hataların birçoğu boyama, terbiye gibi operasyonlarda giderilebilmektedir. Bu nedenle hataların sürece ilişkin değerlendirmelerde ağırlıkları değişmektedir. Tablo 7'deki farklılıkların temel nedenlerinden biri u-grafiklerinin çiziminde, hataların ağırlıklarının (sürece ait dilsel değişkenlerin) hesaba katılmamasıdır. Bulanık kontrol grafiklerinde, u-grafiklerinde yer alan "kontrol altında ve kontrol dışı" kararlarına alternatif olarak "kısmen kontrol altında ve kısmen kontrol dışı" gibi kararlar verilebilmektedir.

6. Sonuç

Kontrol grafiklerinin seçiminde kontrol edilecek kalite karakteristiği önemli rol oynamaktadır. Kalite karakteristiği sayısı birden fazlaysa ve kalite ile ilgili özellikler dilsel ifadelerle belirleniyorsa klasik kontrol grafikleri kalite özelliklerini açıklamada ve süreci değerlendirmede yetersiz kalacaktır. Bu tür durumlarda kullanılacak yaklaşımlardan biri bulanık mantık yaklaşımıdır.

Klasik kontrol grafikleri, ölçüm değerleri ve bunlardan hareketle hesaplanan kontrol sınırlarını dikkate almakta ve değerlendirmelerde katı davranılmasına neden olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, kontrol dışı görünen değerlerin tolere edilebilirlik düzeyini ya da ilerleyen aşamalarda düzeltilebilirliğini göz ardı eder. Böyle bir sakıncayı gidermenin bir yolu tolerans limitlerini artırmaktır. Ancak, bu tür bir uygulamanın 2. tip hataya (süreç kontrol dışı iken kontrol altında kararı verme) yol açma riski vardır. Bulanık kontrol

grafikleri tolere edilebilir veya süreç içerisinde düzeltilebilir kusurları ağırlıklandırarak değerlendirme esnekliği sağlar. Rassal sayılarla oluşturulan klasik kontrol grafiklerine göre bulanık kontrol grafiklerinde kısmen kontrol altındaki/dışındaki durumlarda gözlemlenebilir. Bu sayede süreç kontrol altında iken kontrol dışı olduğu kararını (1. tip hata) verme riski azalır.

Bu çalışmada, süreç kontrol grafiklerinin oluşturulmasında bulanık mantığın kullanımı ve bulanık kalite kontrol grafiklerinin bir tekstil işletmesi örneği üzerinde gösterimi yapılmıştır. İşletmedeki mühendislerin görüşleri doğrultusunda, kumaşlar, hata seviyelerine göre birinci, ikinci ve üçüncü sınıf olarak kategorize edilmiştir. Böylelikle sürecin değişkenliği her bir kalite sınıfı için ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Klasik u-kontrol grafiğinde bulanık kontrol grafiklerine oranla daha fazla kontrol dışı nokta tespit edilmiştir. Bulanık kontrol grafikleri ile tespit edilen noktaların bazıları ise kısmen kontrol altı/dışı durumlardır. U-kontrol grafiğine göre karar verilmesi durumunda kontrol dışı görünen parti imalatlarının 933 metrelik (kontrol dışı olan 4 top kumaşın toplam uzunluğu) kısmının; bulanık orta değer ve bulanık aralık kontrol grafiklerine göre karar verilmesi durumunda 305 metrelik (kontrol dışı görünen 2 top kumaşın toplam uzunluğu) kısmının atığa ayrılması gerekmektedir. Bulanık mod değeri ve direk bulanık yaklaşım grafiklerinde ise atığa ayırmaya gerek yoktur. Bulanık kontrol grafiklerini kullanma işletmeye en az 628 metre'lik kumaşı değerlendirme olanağı sağlamaktadır. Böylece, atık malzeme maliyeti, işçilik maliyeti, siparişin karşılanamamasından/gecikmesinden kaynaklanan maliyetler gibi doğrudan veya dolaylı maliyetlerin önüne geçilmiş olacaktır. Ayrıca bu durum aynı girdi ile yaratılan çıktı miktarını artırdığı için verimliliği de artıracaktır.

Çalışmanın kısıtlarını ve geliştirilebilir yönlerini ise şu şekilde özetlemek mümkündür. Önerilen bulanık kontrol grafiklerinin sonuçları ve bunların yansımalarına ilişkin değerlendirmeler müşteriden gelen şikâyet ve geri bildirimler ile yapılabilir. İşletme bu tür bilgileri kayıt altına almadığı için böyle bir değerlendirme yapılamamıştır. Bu tür kayıtların tutulması ile sağlıklı bir değerlendirme yapmak mümkün olabilecektir. Ayrıca işletme, çalışmada belirlenmiş olan her bir kalite sınıfı için maliyet analizlerine dayalı olarak farklı fiyat politikaları geliştirebilir ve böylece rekabet ve kalitede rakiplerine üstünlük sağlayabilir.

Diğer taraftan farklı ağırlık değerleri üzerinden duyarlılık analizleri yapılabilir. Hata türlerinin ağırlıklarını belirlerken doğrudan kesin değerler yerine sübjektifliği azaltmak adına birden fazla karar vericinin değerlendirmeleri birleştirilerek ağırlıkların belirlenmesi yoluna gidilebilir. Burada klasik veya bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), TOPSIS, VIKOR gibi çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanılabilir. Ayrıca, klasik ve bulanık kontrol grafik sonuçlarının başarısını değerlendirmede proses yeterlilik analizlerinden yararlanılabilir. Bu yöntem ve öneriler bu çalışmanın gelecekte odaklanacağı konuları oluşturmaktadır.

Kaynakça

- [1] M. Kartal, *İstatistiksel Kalite Kontrolü*, Kariyer Matbaacılık, Ankara, 1999, 2-3.
- [2] S. Gözlü, *Endüstriyel Kalite Kontrolü*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1997, 147.
- [3] G. Akyüz, *Proses İmalatında Performans Ölçme ve İyileştirmeye Yönelik Bir Modelleme Yaklaşımı: Bir Uygulama*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya, 2006, 71.
- [4] M. Gülbay, C. Kahraman, Bulanık Kontrol Diyagramı Modellerinin Geliştirilmesi: Direkt Bulanık Yaklaşım. *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, 7, 2, 95-105 (2008).

- [5] A. C. Gök, , *İşletmelerin Tahminleme Sürecinde Bulanık Doğrusal Regresyon Analizi ve Lojistik Regresyon Analizinin Uygulanması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2010, 7.
- [6] A. Sanayei, S.F. Mousavi, A. Yazdankhah, Group Decision Making Process for Supplier Selection with VIKOR under Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 37, 1, 24-30 (2010).
- [7] E. Aytaç, *Kalite Kontrolünde Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 2006, 46.
- [8] O. Çakır, M. S. Canbolat, A Web-Based Decision Support System For Multi-Criteria Inventory Classification Using Fuzzy AHP Methodology. *Expert Systems with Applications*, 35, 3, 1367-1378 (2008).
- [9] E. Kıyak, A. Kahvecioğlu, Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1, 2, 63-72 (2003).
- [10] A. L. Giuffrida, R. Nagi, Fuzzy Set Theory Applications in Production Management Research: A Literature Survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9, 1, 39-56 (1998).
- [11] W. Karwowski, G. W. Evans, Fuzzy Concepts in Production Management Research: A Review. *International Journal of Production Research*, 24, 1, 129-147 (1986).
- [12] J. H. Wang, T. Raz, On the Construction of Control Charts Using Linguistic Variables. *International Journal of Production Research*, 28, 3, 477-487 (1990).
- [13] T. Raz, J. H. Wang, Probabilistic and Membership Approaches in the Construction of Control Charts for Linguistic Data. *Production Planning and Control*, 1, 3, 147-157 (1990).
- [14] A. Kanagawa, F. Tamaki, H. Otha, Control Charts for Process Average and Variability Based on Linguistic Data. *International Journal of Production Research*, 31, 4, 913-922 (1993).
- [15] R. C. Wang, C. H. Chen, Economic Statistical Np-Control Chart Designs based on Fuzzy Optimization. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 12, 1, 82-92 (1995).
- [16] F. Franceschini, D. Romano, Control Chart for Linguistic Variables: A Method Based on the Use of Linguistic Quantifiers. *International Journal of Production Research*, 37, 16, 3791-3801 (1999).
- [17] H. Rowlands, L. R. Wang, An Approach of Fuzzy Logic Evaluation and Control in SPC. *Quality and Reliability Engineering International*, 16, 2, 91-98 (2000).
- [18] H. Taleb, M. Limam, On Fuzzy and Probabilistic Control Charts. *International Journal of Production Research*, 40, 12, 2849-2863 (2002).
- [19] M. Gülbay, C. Kahraman, D. Ruan, α -Cut Fuzzy Control Charts for Linguistic Data. *International Journal of Intelligent Systems*, 19, 12, 1173-1195 (2004).
- [20] M. Gülbay, C. Kahraman, Development of Fuzzy Process Control Charts and Fuzzy Unnatural Pattern Analyses. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51, 1, 434-451 (2006).
- [21] M. Gülbay, C. Kahraman, An Alternative Approach to Fuzzy Control Charts: Direct Fuzzy Approach. *Information Sciences*, 177, 6, 1463-1480 (2007).

- [22] C. B. Cheng, Fuzzy Process Control: Construction of Control Charts with Fuzzy Numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 154, 2, 287-303 (2005).
- [23] S. Şentürk, N. Erginel, N. , Development Of Fuzzy $\tilde{\bar{X}}-\tilde{R}$ and $\tilde{\bar{X}}-\tilde{S}$ Control Charts Using α -cuts. *Information Sciences*, 179, 10, 1542-1551 (2009).
- [24] M. H. Shu, H. C. Wu, H. , Monitoring Imprecise Fraction of Nonconforming Items Using P Control Charts. *Journal of Applied Statistics*, 37, 8, 1283-1297 (2010).
- [25] V. Amirzadeh, M. Mashinchi, A. Parshami, Construction of P-Charts Using Degree of Nonconformity. *Information Sciences*, 179, 1-2, 150-160 (2009).
- [26] A. Faraz, A. F. Shapiro, A. F. , An Application of Fuzzy Random Variables to Control Charts. *Fuzzy Sets and Systems*, 161, 20, 2684-2694 (2010).
- [27] A. Mitra, *Fundamentals Quality Control and Improvement*, Prentice Hall, New Jersey, 1998, 332.
- [28] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley and Sons, New York, 2001, 316.

Ek 1 Direk Bulanık Yaklaşım için Kullanılan Formüller [21]

$$\mathbf{A-U1:} A_{out}^U = \frac{1}{2} [(d^\alpha - UCL_4^\alpha) + (d^t - UCL_4^t)](\text{mak}(t-\alpha, 0)) + \frac{1}{2} [(d^z - a^z) + (c - b)](\text{min}(1 - t, 1-\alpha)) \quad (30)$$

$$t = \frac{UCL_4 - a}{(b-a) + (c-b)} \quad \text{ve} \quad z = \text{mak}(t, \alpha) \quad (31)$$

$$A_{out} = A_{out}^L + A_{out}^U \quad (32)$$

$$\mathbf{A-U2:} A_{out}^U = \frac{1}{2} [(d^\alpha - UCL_4^\alpha) + (c - UCL_3)](1-\alpha) \quad (33)$$

$$\mathbf{A-U3:} A_{out}^U = \frac{1}{2} [(d^\alpha - UCL_4^\alpha)](\text{mak}(t-\alpha, 0)) \quad (34)$$

$$t = \frac{UCL_4 - a}{(UCL_4 - UCL_3) - (d - c)} \quad (35)$$

$$\mathbf{A-U4:} A_{out}^U = \frac{1}{2} [(c - UCL_3) + (d^z - UCL_4^z)](\text{min}(1 - t, 1-\alpha)) \quad (36)$$

$$t = \frac{UCL_4 - a}{(UCL_4 - UCL_3) - (d - c)} \quad \text{ve} \quad z = \text{mak}(t, \alpha) \quad (37)$$

$$\mathbf{A-U5:} A_{out}^U = \frac{1}{2} [(d^{z_2} - UCL_4^{z_2}) + (d^{t_1} - UCL_4^{t_1})](\text{min}(\text{mak}(t_1 - \alpha, 0), t_1 - t_2)) + \frac{1}{2} [(d^{z_1} - a^{z_1}) + (c - b)](\text{min}(1 - t_1, 1-\alpha)) \quad (38)$$

$$t_1 = \frac{UCL_4 - a}{(UCL_4 - UCL_3) + (b - a)}, \quad t_2 = \frac{UCL_4 - d}{(UCL_4 - UCL_3) - (d - c)} \quad (39)$$

$$z_1 = \text{mak}(t_1, \alpha), \quad z_2 = \text{mak}(t_2, \alpha) \quad (40)$$

$$\mathbf{A-U6:} A_{out}^U = 0 \quad (41)$$

$$\mathbf{A-U7:} A_{out}^U = \frac{1}{2} [(d^\alpha - a^\alpha) + (c - b)](1-\alpha) \quad (42)$$

$$\mathbf{A-L1:} A_{out}^L = \frac{1}{2} [(LCL_1^\alpha - a^\alpha) + (LCL_1^t - a^t)](\text{mak}(t-\alpha, 0)) + \frac{1}{2} [(d^z - a^z) + (c - b)](\text{min}(1 - t, 1-\alpha)) \quad (43)$$

$$t = \frac{d - LCL_1}{(LCL_2 - LCL_1) + (d - c)} \quad \text{ve} \quad z = \text{mak}(\alpha, t) \quad (44)$$

$$\mathbf{A-L2:} A_{out}^L = \frac{1}{2} [(d^\alpha - a^\alpha) + (c - b)](1-\alpha) \quad (45)$$

$$\mathbf{A-L3:} A_{out}^L = \frac{1}{2} [(LCL_1^\alpha - a^\alpha) + (LCL_2 - b)](1-\alpha) \quad (46)$$

$$\mathbf{A-L4:} A_{out}^L = \frac{1}{2} [(LCL_1^{z_2} - a^{z_2}) + (LCL_1^{t_1} - a^{t_1})](\text{min}(\text{mak}(t_1 - \alpha, 0), t_1 - t_2))$$

$$+ \frac{1}{2} [(d^{z_1} - a^{z_1}) + (c - b)] (\min(1 - t_1, 1 - \alpha)) \quad (47)$$

$$t_1 = \frac{d - LCL_1}{(LCL_2 - LCL_1) + (d - c)}, \quad t_2 = \frac{a - LCL_1}{(LCL_2 - LCL_1) - (b - a)} \quad (48)$$

$$z_1 = \max(t_1, \alpha), \quad z_2 = \max(t_2, \alpha) \quad (49)$$

$$\mathbf{A-L5:} \quad A_{out}^L = \frac{1}{2} [(LCL_1^z - a^z) + (LCL_2 - b)] (\min(1 - t, 1 - \alpha)) \quad (50)$$

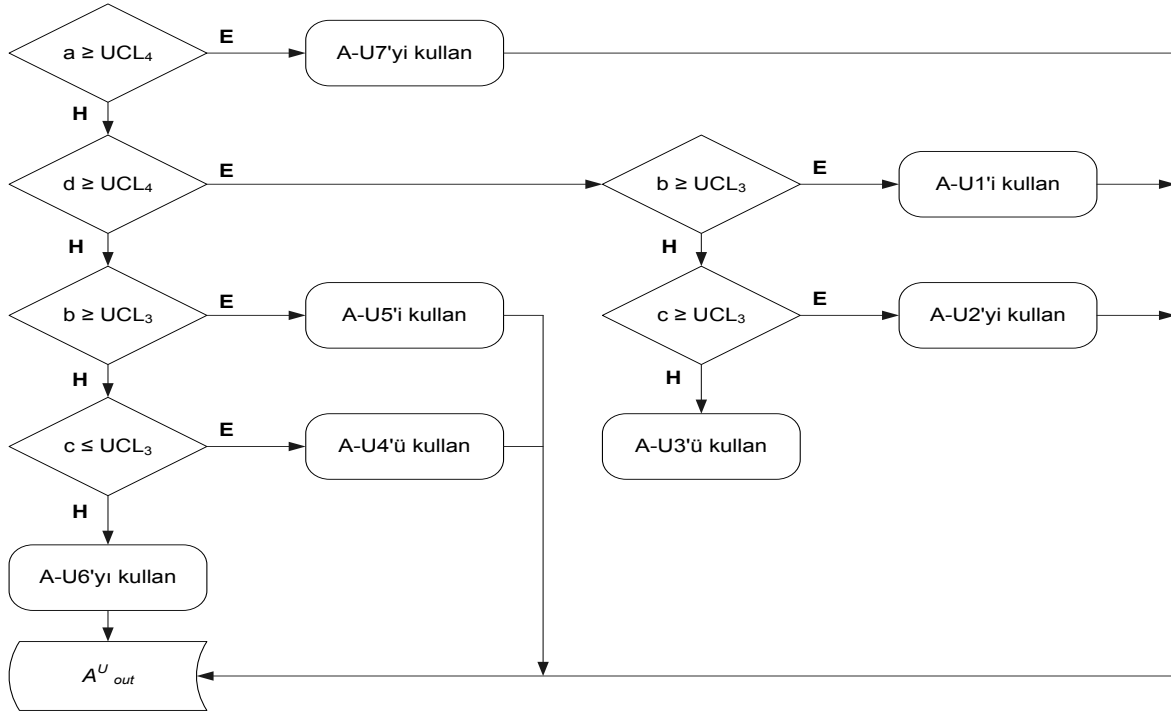
$$t = \frac{a - LCL_1}{(LCL_2 - LCL_1) - (b - a)} \text{ ve } z = \max(\alpha, t) \quad (51)$$

$$\mathbf{A-L6:} \quad A_{out}^L = 0 \quad (52)$$

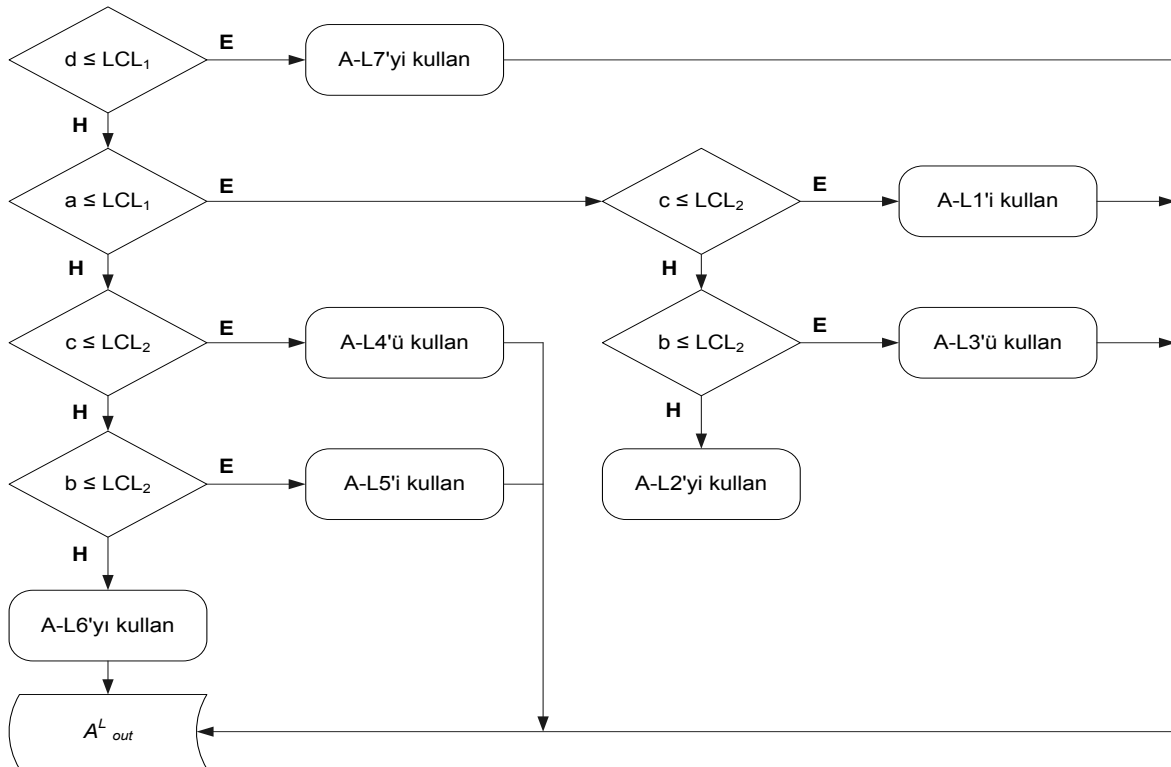
$$\mathbf{A-L7:} \quad A_{out}^L = \frac{1}{2} [(d^\alpha - a^\alpha) + (c - b)] (1 - \alpha) \quad (53)$$

$$A_{out} = A_{out}^L + A_{out}^U \quad (54)$$

Ek 2 Direk Bulanık Yaklaşımındaki Hesaplamalar için Kullanılan Algoritmalar [21]



(a) Direk Bulanık Yaklaşımında A_{out}^U 'ın Hesaplanması için Kullanılan Algoritma



(b) Direk Bulanık Yaklaşımında A_{out}^L 'ın Hesaplanması için Kullanılan Algoritma