



A STUDY ON THE COMPARISON BETWEEN FUZZY CONTROL CHARTS AND TRADITIONAL CONTROL CHARTS

FAZİ KONTROL GRAFİKLERİ İLE KLASİK KONTROL GRAFİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE BİR DENEME

Hakan YILDIRIM*
Hakan AYDOĞAN**
Sami ÖZCAN***
Serkan ETİ****

Abstract

In this paper, it is aimed to compare traditional p-control charts with fuzzy control charts for making more accurate decisions and quality control measurements in businesses. For this purpose, by using the assumption that binomial distribution conforms to the collected data for p-control charts, the data is derived by simulation technique and analyzes are performed. As a result of the analysis, it is seen that the data in the traditional p-control charts that are out of the control limits are under control in the fuzzy control charts. Additionally, the fuzzy control charts have made it possible to make more precise measurements and to eliminate the firms from unnecessary process improvement costs.

Keywords: Fuzzy control charts, p-charts, Statistical process control

JEL Classification: C15, L61, M11

Özet

Bu çalışmada, kalite konusunda işletmeler için daha hassas kalite kontrol ölçümleri yapabilmeleri ve bununla birlikte işletmelerin daha doğru kararlar alabilmelerini sağlamak üzere klasik p-kontrol grafikleri ile fazi¹ (fuzzy) kontrol grafiklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda p-kontrol

* Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, hakany68@marmara.edu.tr

** Arş. Gör., Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, hakanaydogan@kastamonu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9482-9888

*** Arş. Gör., Ardahan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, samiozcan@ardahan.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7654-7614

**** Öğr. Gör., İstanbul Medipol Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, seti@medipol.edu.tr, ORCID: ORCID: 0000-0002-4791-4091

1 Armutlulu (2014: 22) yılındaki yayınlamış olduğu "Belirsizlik ve Fazi Aritmetiği Sosyal Bilimlerin Dili" adlı kitabında L.A. Zadeh'in "Fuzzy" kavramı için vermiş olduğu katkı ve bu katkıya duymuş olduğu saygının yanı sıra kavramın Türkçe

grafikleri için toplanan verilerin binom dağılımına uyma varsayımı dikkate alınarak simülasyon tekniği ile veriler türetilmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda klasik p-kontrol grafiklerinde kontrol sınırları dışında çıkan verilerin fazi kontrol grafiklerinde kontrol altında olduğu görülmüştür. Bununla birlikte fazi kontrol grafiklerinin daha hassas ölçümler yaparak işletmeleri gereksiz süreç iyileştirme maliyetlerinden kurtarabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fazi kontrol grafikleri, p-grafikleri, İstatistiksel süreç kontrolü

JEL Classification: C15, L61, M11

I. Giriş

Üretimin başladığı ilk dönemler de mevcut pazarın çok küçük olması, rakip ve rekabet kavramlarının henüz yerleşmemesi sebebiyle kalite kavramı göz önüne alınmayan bir unsur halinde iken son 100 yılda yaşanan gelişmeler ile artık kalite hem üreticiler hem de tüketiciler için vazgeçilmez bir kavram haline dönüşmüştür. Teknolojik gelişmeler, artan rakip sayısı, ürün sunumu için alternatif yolların artması, bilginin en büyük girdi haline gelmesi vb. birçok gelişme bu dönüşüme yol açmıştır. Bununla birlikte, işletmelerin rekabet güçlerini artırmaları ve pazarda tutunabilmeleri için kalitenin iyileştirilmesi, vazgeçilmez bir olgu haline gelmiştir. Rekabet edebilme ve pazarda tutunabilmeyi başarma konusunda işletmeler için öncelikli hedefler: kalitenin en doğru şekilde tanımlanması, en iyi şekilde ortaya konması ve sürekliliğinin sağlanabilmesi olmuştur. Bu hedef doğrultusunda, hem işletmeler hem de bilim insanları uzun yıllardır kimi zaman sektör bazında kimi zaman genel çerçevede birçok teknik öne sürmüşlerdir. Sunulan tekniklerin bu denli fazla olmasında artan rekabet, teknolojik gelişmeler vb. olmasının yanı sıra hiç kuşku yok ki kalite değişkenliğine sebep olan faktörlerin belirsizlik içermesi ve bu belirsizliklerin ortadan kaldırılmaya çalışılması da etkili olmaktadır.

Herhangi bir tekniği, diğer bir kalite kontrol tekniğinden iyi veya kötü, yararlı veya yararlı değil şeklinde ayırt etmek oldukça güçtür. Ancak kalitedeki değişkenliğin ölçülmesinde, ilk olarak 1924 yılında Shewhart tarafından önerilmiş olan kalite kontrol grafikleri, en çok kullanım alanına sahip tekniklerin başında gelmektedir. Özellikle, kusurlu/kusursuz gibi dilsel ifadeleri barındıran nitel kontrol grafiklerinde, kalite değişkenliğini hassas bir şekilde ölçebilmek oldukça güçtür. Bu güçlülük birlikte, özellikle son yıllarda belirsizliğin ölçümünde alternatif bir yaklaşım olan ve her geçen gün kullanım alanı genişleyen fazi küme teorisi kavramı kalite kontrol alanında da sık kullanılmaya başlamıştır. Fazi küme teorisi, gözlenen verilerin belirsiz, müphem ya da insanların algılarına göre öznel olarak değişen veriler olduğunda, süreci yeterli bir şekilde modelleyebilmektedir. Bu yüzden, bazı araştırmacılar tarafından, fazilikten kaynaklanan belirsizliği ortadan kaldırabilmek için fazi kontrol grafikleri oluşturulmuştur (Faraz & Shapiro, 2010).

literatürdeki “bulanık” ifadesinin “Fuzzy” kavramını tam karşılamadığını düşünmesinden dolayı “Fuzzy” kavramı için “Fazi” ifadesini kullanmıştır. Bu nedenle çalışma da “Fuzzy” kavramı “Fazi” ifadesi kullanılarak ele alınacaktır.

Kesin veriler kullanılarak kontrol edilen süreçlerde, kontrol grafikleri, “Süreç kontrol altında mı?” sorusuna “Evet/Hayır” şeklinde cevap verebilirken, fazi küme teorisine dayalı olarak fazi kontrol grafikleri, “Süreç ne kadar ya da ne derece kontrol altındadır?” sorusuna cevap verebilmektedir. Örneğin, bir fazi kontrol grafiği ile örneğe ait sürecin ne derece kontrol altında olduğunun cevabı ortaya konabilmektedir. Kontrol limitleri, fazi küme teorisinden türetilmelidir ve istatistiksel kalite kontrolünü uygulayan kimseye en iyi kararı verebilmesi için yardımcı olmalıdır.

Belirsizliğin oldukça fazla olduğu kalite kontrol süreçlerinde fazi teorisinin kullanılması oldukça önemli bir kavram haline gelmiştir. Bu sebeple, çalışma kapsamında, klasik p-kontrol grafikleri ile fazi p-kontrol grafiklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Nitel kontrol grafiğinin seçilmesindeki amaç, literatürde p-kontrol grafikleri ile fazi p grafiklerine ait çalışmaların oldukça az sayıda olmasıdır. Bu amaçla, dilsel değişkenlerin belirlenmesi için Gülbay vd. (2004) tarafından kullanılan dilsel ifadeler temel alınmıştır. Buna bağlı olarak simülasyon tekniğiyle p ve np kontrol grafiklerinin varsayımı olan binom dağılımına uygun olacak şekilde veriler üretilmiştir.

Çalışma amacına yönelik, ilk olarak literatür taraması yapılmıştır. Ardından kalite kontrol, istatistiksel kalite kontrol, nitel kontrol grafikleri ve fazi kontrol grafikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bir sonraki bölümde, ele alınan veriler aracılığıyla hesaplamalar yapılmış ve kontrol grafikleri oluşturularak karşılaştırmalar yapılmıştır. Son bölümde ise, elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve önerilerde bulunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Wang ve Raz (1990), fazi teorisini temel alan ve her bir dilsel terime bir fazi kümesi atayan bir yöntemi açıklamışlardır ve daha sonra kontrol limitlerinin belirlenmesi için fazi aritmetiğini kullanmışlardır. Bir kontrol grafiğindeki ölçümleri temsil edebilmek için, fazi mod, α -seviyeli fazi orta seviye, fazi ortanca veya fazi ortalama (fuzzy mode, α -level fuzzy midrange, fuzzy median, or fuzzy average) gibi bazı fazileştirme yöntemleri kullanılarak, temsili değerler olarak bilinen temsili fazi ölçümleri elde etmişlerdir.

Kanagawa, Tamaki ve Ohta (1993), dilsel veriler için farklı bir kontrol grafiği önermişlerdir. Bu öneri yalnızca sürecin ortalamasını kontrol etmek değil, aynı zamanda dilsel verilerin ardında yatan olasılık dağılımının kestirimi temeline dayanan sürecin değişkenliğini kontrol etmektir. Dahası, merkez çizgisini, birikmiş sinyal ortalamalarının ortalaması olarak tanımlamışlar ve Gram-Charlier dizisini kullanarak kontrol limitlerini hesaplamışlardır. Bu yaklaşımın temel zorluğu, bilinmeyen olasılık dağılım fonksiyonunun kolayca tespit edilememesidir.

Grzegorzewski ve Hryniewicz (2000), müphem verilerin faziliğini korumak için bu tür veriler oluştuğunda bir fazi hipotezini test etmek amacıyla bir yöntem önermişlerdir. Bu araştırmacılar, NISD (Necessity Index of Strict Dominance) endeksine bağlı olarak bir kontrol grafiğinin nasıl oluşturulacağını göstermişlerdir.

Taleb ve Limam (2002), dilsel veriler için kontrol grafiklerinin inşasında, Raz ve Wang (1990)'ın çalışmasında önerilen ortalama tekrar uzunluğu (average run length-ARL) temel alarak, fazi ve olasılık yaklaşımını kıyaslayarak ele almışlardır. Önemli sonuçlardan birinin temsil değerini elde etmek için kullanılan yöntem ve fazilik derecesinin Raz ve Wang tarafından bulunan sonuçların aksine kontrol grafiğinin performansını etkilediğini ifade etmişlerdir.

Gülbay, Kahraman ve Ruan (2004), nitel özellikli veriler için oluşturulan kontrol grafiklerinde daha sıkı ve daha uygun α seviyesinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Araştırmalarında, örnek veri seti üzerinde çözümler gösterilmiş ve önceki çalışmalara yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Cheng (2005), bir grup uzmanı aynı görüşleri ile oluşturulan subjektif kalite değerlendirmelerinden elde edilen fazi sonuçlara ait bir süreç için fazi kontrol grafiği önerisinde bulunmuştur. Raz ve Wang (1990) tarafından türetilen simülasyon verilerini kullanarak farklı uzmanlardan alınan görüşleri fazi sayılara dönüştürmüş ve olabilirlik teorisi yardımıyla oluşturulan fazi kontrol grafiklerine işlemiştir. Sonuç olarak, ortaya konan fazi kontrol grafiklerinde sadece merkezi dağılımının değil ortaya çıkan faziliğin derecesinin de saptandığını belirtmiştir.

Gülbay ve Kahraman (2007), α -kesitlerden faydalanarak yapılan fazi geçişlerini temel alan fazi kontrol grafiklerine bazı katkılar sağlamışlardır. Bu araştırmacılar aynı zamanda, herhangi bir geçiş işlemi yapmaksızın, fazi uzayındaki dilsel verilere kıyasla, fazileştirmenin kullanımına gerek kalmadan "Doğrudan Fazi Yaklaşımını" (Direct Fuzzy Approach) alternatif bir yaklaşım olarak geliştirmişlerdir.

Amirzadeh, Mashinchi ve Porehami (2009), kalite ölçümünde bir ürünün kaliteye uygun olup olmadığından ziyade uygunluk derecesinin ele alınmasının daha doğru olduğunu öne sürmüşlerdir. Bu amaçla hem klasik hem de fazi alt yapısı ile kontrol grafikleri oluşturulmuş ve karşılaştırılmıştır. Oluşturulan grafiklerde hem uygunluk derecesinin daha hassas ölçümler sağladığı hem de p-kontrol grafikleri için hazırlanan fazi kontrol grafiklerinde tip II hatasının düşük olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Şentürk ve Erginel (2009), kesin ve net sayısal değerleri üyelik fonksiyonları yardımıyla fazi sayılara dönüştürmüşler ve $x-r$ ve $x-s$ grafikleri oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda fazi $x-r$ ve fazi $v-s$ grafiklerinde kontrol limitlerinin daha çok esnediğini ve değerlendirme doğruluğunun arttığı sonucunu vurgulamışlardır.

Sorooshian (2013), nitel özellikli verilerin ölçümünde fazi küme teorisinin kullanılması üzerine bir deneme yapmıştır. Bu amaçla bir işletme de üretilen teknelerin renkleri ile ilgili kontrol sistemi oluşturmuştur. Nitel özelliklere göre oluşturulan klasik kontrol grafikleri ile fazi kontrol grafikleri karşılaştırıldığında fazi kontrol grafiklerinin klasik kontrol grafiklerine göre daha küçük hacimli örneklem gruplarında bile daha doğru tespitlerde bulunduğunu belirtmiştir.

Aslangiray ve Akyüz (2014), klasik kontrol grafiklerinden u-kontrol grafiği ve fazi kontrol grafikleri olmak üzere iki ana kategoride grafik oluşturmuşlardır. Fazi kontrol grafiklerinde, fazi mod, fazi

orta değer, fazi orta aralık yaklaşımları ve Doğrudan Fazi Yaklaşımı uygulamışlardır. Bir tekstil firmasından topladıkları verileri kullanarak oluşturdukları grafiklerin sonuçlarını karşılaştırmışlar ve u-kontrol grafiklerinde kontrol dışı nokta sayısının fazi kontrol grafiklerine göre daha fazla olduğunu ayrıca u-grafiklerindeki “kontrol altında” ve “kontrol dışı” kararlarına alternatif olarak “kısmen kontrol altında” ve “kısmen kontrol dışı” gibi kararlar verilebildiğini belirtmişlerdir.

Saravanan ve Alamelumangai (2014) tarafından yapılan çalışmada, simülasyon tekniği ile nitel özelliklere uygun veriler üretilmiş ve “kabul edilemez”, “zayıf kalite”, “orta kalite”, “iyi kalite”, “mükemmel kalite” dilsel değişkenlerine göre belirsizlik hesaplamaları yapılmıştır. İlgili veriler p-kontrol grafiği, birikimli toplam (CUSUM) kontrol grafiği ve standart sapmaya dayalı α -kesit fazi kontrol grafiği ile analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, standart sapmaya dayalı α -kesit fazi kontrol grafiğinin daha uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, dilsel değişkenler ile fazi kontrol grafiklerinin uygulanmasının bazı durumlarda avantajlı, bazı durumlarda ise dezavantaja sahip olduğu belirtilmiştir.

Zabihinpour vd. (2015), üçgen fazi rassal değişkenler için yansız standart sapma tahminiyle fazi \bar{X} -S kontrol grafiği oluşturmuşlardır. Shewhart kontrol grafiği ile çalışmada önerilen fazi \bar{X} -S kontrol grafiğini karşılaştırmışlardır. Gıda sektöründe faaliyet gösteren bir işletmeden alınan gözlem değerlerini kullanmışlar ve karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak, önerilen tekniğin, örnek büyüklüğüne ve değişkenliğine bağlı olarak, süreçlerdeki anormal kaymanın tespit edilmesini % 0,1 ile %30 oranında iyileştirebileceğini vurgulamışlardır.

Hou, Wang ve Feng (2016), beş alt grup şeklinde ürettikleri örneklemeleri ele alarak dört farklı fazi üyelik hesaplama tekniği kullanarak fazi S kontrol grafikleri için analizler yapmışlardır. Amaç kapsamında, gereklilik ve olabilirlik ölçütleri, fazi çıkarım kuralları belirlenmiş ve üyelik fonksiyonları yardımıyla kontrol limitleri hesaplanmıştır. Daha sonra kontrol grafikleri oluşturulmuş ve önerilen teknikler içerisinde üçgen fazi üyelik fonksiyonlarının daha güvenilir sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Panthong ve Pongpullonsak (2016), 0-1 şeklinde oluşturulan \bar{X} kontrol grafikleri üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmada, üç boyutlu fazi üyelik fonksiyonu ile daha az öneme sahip olan hatalar bertaraf edilmiştir. Çalışma amacına yönelik olarak, \bar{X} kontrol grafikleri, fazi \bar{X} kontrol grafikleri ve ağırlıklandırılmış varyans yöntemi ile fazi \bar{X} kontrol grafikleri oluşturmak amacıyla normal olmayan veriler üretilmiştir. Ağırlıklandırılmış varyans yöntemi ile fazi \bar{X} kontrol grafiklerinin diğer grafiklere göre çok daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Elitok ve Öncel (2017) tarafından yapılan çalışmada, klasik c kontrol grafiği ve fazi c kontrol grafiği sonuçları karşılaştırılarak üretim yapan işletmelere dilsel değişkenlerin kullanılabilirdiği durumlara uygun kontrol grafiği önerilmiştir. Rüzgâr yön sensörü üreten bir işletmeden her biri 100 adet içermek üzere 30 birim elektronik devre kartı alınmıştır. Sonuç olarak, işletmelere dilsel değişkenlerin kullanıldığı durumlarda klasik kontrol grafikleri yerine fazi kontrol grafiklerini kullanmaları önerilmiştir.

Madadi ve Mahmoudzadeh (2017), fazi kontrol grafiklerinin uygulanabilirliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında, oldukça hassas ve olağandışı olarak kabul edilen anahtar üretim atölyesinde uygulama gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda fazi kontrol grafiklerinin uygulanabilirliğindeki zorluklardan ve grafiklerin hassasiyetinden bahsedilmiştir.

Pachamuthu ve Shanmugasundram (2017), pamuk üretimi yapan bir işletmeden alınan 50 adet gözlem verisi ile klasik kontrol grafiklerini ve fazi kontrol grafiklerini karşılaştırmışlardır. Ürün kalitesini dilsel olarak ifade etmişler ve iki farklı fazi yaklaşımı ile hesaplamalar yapmışlardır. Fazi kontrol grafiklerinde üyelik fonksiyonu yaklaşımı ve fazi olasılık yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, fazi kontrol grafiklerinin klasik kontrol grafiklerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, üyelik fonksiyonu yaklaşımının dilsel değişkenleri tam olarak karşılayabildiği durumlarda fazi olasılık yaklaşımından daha kullanışlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Sakthivel, Senthamarai ve Logaraj (2017) tarafından yapılan çalışmada, fazi kısa vadeli α -kesit p-kontrol grafikleri ile klasik p-kontrol grafikleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, araba lastiği üreten bir işletmeden 30 alt gruptan oluşan örneklemler alınmış ve uygulama yapılmıştır. Sonuç olarak, kısa vadeli verilerde fazi kısa vadeli α -kesit p-kontrol grafiklerinin klasik p-kontrol grafiklerine göre daha hassas ve uygun çözümler verdiği ifade edilmiştir.

Shu vd. (2017), örneklem hacminin değişken olduğu durumlarda fazi kontrol grafiklerinin oluşturulmasını göstermişlerdir. İlk olarak, fazi örnek grupları toplanmış ve kontrol limitleri hesaplanmıştır. Ardından, karşılaştırma için sağ ve sol limit indeksleri hesaplanmış ve limitler ile örneklere uygulanmıştır. Üçüncü aşama da süreçlerin kontrol altında veya kontrol dışında olma durumları kesikli bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Son olarak da tüm bu öneriler optik lenslerin pürüzsüzlüğü üzerine uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

şentürk (2017) tarafından yapılan çalışmada fazi c kontrol grafikleri kullanılarak gerçek bir veri seti üzerinde uygulanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Türkiye'nin en önemli ve büyük mutfak armatür üreticisi işletmeden 24 periyotta 60'ar örnek alınmıştır. Çalışmada, c kontrol grafiklerinin fazi mantık ile uygulanması sonucunda fazi c kontrol grafiklerinin sadece "kontrol altında" ya da "kontrol dışında" olarak değil, "kısmen kontrol altında" ve "kısmen kontrol dışında" şeklinde de karar verilebilme avantajına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Alakoç ve Apaydın (2018), hem tüm süreçlere rahat bir şekilde uyarlanabilecek hem de nicel de olsa nitel de olsa tüm veri türlerine uygulanabilecek yeni bir fazi c kontrol grafiği önermeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, simülasyon tekniği ile veriler üretmişler ve ilgili veriler yardımıyla Shewhart c kontrol grafikleri ve önerilen yeni fazi c kontrol grafiği oluşturmuşlardır. Karşılaştırma sonucunda, önerilen yeni fazi c kontrol grafiğinin daha etkili bir performans gösterdiğini ve kusurları daha hassas belirleyebildiğini ifade etmişlerdir.

3. İstatistiksel Kalite Kontrol ve Kontrol Grafikleri

Teorik olarak literatürde kalite ile ilgili birçok tanım yer almaktadır. Bunun en önemli sebebi kalite algısının kişiden kişiye değişmesi olarak düşünülebilir. Hangi sektörde olursa olsun herhangi bir ürüne ulaşmanın çok kolay olduğu ve tercih yapma imkânının geniş olması göz önüne alındığında, tüketicilerin kalite algısının çok boyutlu ve çeşitli olduğunu söylemek mümkündür. Dolayısıyla, işletmeler de bu kadar çeşitli olan kalite algısına yönelik olarak farklı çalışmalar yapmakta ve kalite algısındaki değişimleri takip edebilmek için sürekli incelemelerde bulunmaktadır. Ancak genel hatları ile bakıldığında, kalite kavramını tüketiciler ve işletmeler açısından ayrı ayrı tanımlamak gerekirse; işletmeler açısından kaliteyi, bir ürün için daha önce belirlenen spesifikasyonlara uygunluk derecesi ve arzu edilen ürün içerikleri ile ortaya çıkan ürün içerikleri arasındaki uyum şeklinde tanımlamak mümkündür. Tüketiciler açısından ise kalite, kullanıma uygunluk ve tüketici tatminini sağlama kapasitesine sahiplik olarak ifade edilebilmektedir. Bu iki farklı açıdan değerlendirildiğinde günümüzde kalite, tüketici ihtiyaçlarını ve beklentilerini sürekli olarak karşılama ve hatta bu ihtiyaç ve beklentileri aşma olarak tanımlanabilmektedir (Vonderemse ve White, 1996). Kalite kavramının ve kalite algısının bu denli çeşitli olmasından dolayı işletmeler hem mevcut kalite politikalarını iyileştirmek hem de bu iyileştirmeleri sürekli hale getirebilmek için kaliteyi kontrol etmektedirler. Kalite Kontrol kısaca, bir işletmenin daha önce belirlenen kalite hedeflerine ulaşması, kalite isteklerinin sağlanması için kullanılan uygulama yöntemleri ve faaliyetlerinin tamamı olarak ifade edilebilmektedir (Şenol, 2012). Kalite kontrolde kullanılan istatistiksel süreç kontrolü ise, bir ürünün en ekonomik ve gereksinimleri karşılayacak şekilde üretilmesini sağlamak için veri toplama, analizini yapma, yorumlama ve çözüm yolları önermek üzere istatistik prensip ve tekniklerinin, üretimin tüm aşamalarında kullanılması olarak tanımlanabilir (Çolak ve Akdeniz, 2008).

İstatistiksel süreç kontrolü için birçok teknik bulunmaktadır. Bu tekniklerin kullanım yerleri ve kullanım amaçları farklı olmasına rağmen en çok tercih edilen istatistiksel süreç kontrol tekniği, kalite kontrol grafikleridir. Kontrol grafikleri genel olarak örneklem verilerinden elde edilen üst ve alt olmak üzere iki adet kontrol limiti ve ortalama değeri gösteren bir merkez çizgiden oluşmaktadır. Toplanan örneklerin alt limit ve üst limit arasında ve yayılımın merkez çizgi etrafında olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer yayılım merkez çizgi etrafında değil ve herhangi bir örneğe ait gözlem değeri kontrol limitlerini aşıyorsa, sürecin kontrol dışında olduğu kararı verilmektedir. Kontrol grafiğinin amacı, süreçten elde edilen örneklemelere dayanarak sürecin kontrol altında olup olmadığının ve kontrol dışında olması halinde bu durumun özel mi yoksa doğal sebeplerden mi kaynaklandığının belirlenmesidir. Bir süreç için, ürünlerin yayılımı ya da genel olarak örnekten örneğe değişkenlik gösteren kalite karakteristiğinin olması, genel olarak iki sebepten kaynaklanmaktadır. Bunlardan birincisi, insanın müdahale şansının olmadığı nem, sıcaklık, basınç vb. doğal kaynaklı sebepler olurken, ikinci sebep ise süreci belirli bir yöne iterek kontrol dışına çıkarabilen ve kaynağı tespit edilebilen özel sebepler olarak yer almaktadır. Kontrol grafikleri ile doğal sebeplerden kaynaklı değişkenlikten ziyade, özel sebeplerden kaynaklanan değişkenliklerin olması durumunda sürece müdahale etmek amaçlanmaktadır.

Kontrol grafikleri nicel (ölçülebilir) ve nitel (ölçülemeyen) veri tiplerine göre iki farklı grupta ele alınabilmektedir. Nicel özellikler uzunluk, ağırlık, hacim vb. sayısal ifadelerle belirtilebilen özellikler olurken nitel özellikler ise sayısal ifadelerle belirtilemeyen ve kusurlu-kusursuz olarak ifade edilebilen özelliklerin tamamıdır. Kullanılacak kontrol grafiğinin türüne, ilk olarak elde edilecek olan veri tipinin nicel ya da nitel olmasına göre karar verilmektedir. Nicel özelliklere sahip bir veri setinin olması halinde, örneklem hacmi sayısına göre \bar{X} , S veya R grafiklerden biri tercih edilir. Nitel özelliklere sahip bir veri setinde ise ilk olarak kusurlu sayısı veya kusur oranı ölçümüne karar verildikten sonra c, u, n veya np grafik türlerinden biri ile gerekli kontroller yapılmaktadır.

4. Nitel Kontrol Grafikleri

Nitel kontrol grafikleri, istatistiksel olarak kontrol altında tutulacak süreçten elde edilen ürünleri ölçme işleminin elverişsiz olduğu, kontrol edilen kalite özelliklerinin herhangi bir ölçü birimine sahip olmadığı ve kusurlu-kusursuz, uygun-uygun değil, iyi-kötü, kabul-red, düzenli-düzensiz vb. şeklinde iki kategorili olarak sınıflandırılabilirdiği durumlarda kullanılır. Bu tür grafikler, kusurlu sayısı veya kusurlu oranı temel alınarak c, u, p ve np grafikleri olmak üzere dört farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bu grafiklerden c kontrol grafiği, süreçten alınan her bir örneklemdeki kusur sayısı üzerinden işlem yaparken, u kontrol grafikleri ise, birim başına kusur sayısını dikkate alarak çalışmaktadırlar. Hem c grafiği hem de u grafiği teorik olarak poisson dağılımı göstermektedir. Bunun yanı sıra c kontrol grafiğinde, süreçten alınan örneklem büyüklükleri sabit olması gerekirken, u kontrol grafiklerinde örneklem büyüklükleri değişkende olabilmektedir.

Kusurlu sayısı ve kusurlu oranı temelli olan diğer nitel kontrol grafikleri ise p ve np kontrol grafikleridir. Her iki kontrol grafiğinde de örneklem verilerinin teorik dağılımın binom dağılımına uyduğu varsayılmaktadır. Kusurlu sayısı kontrol grafiği (np grafiği), kusurlu oranının hesaplanmasına ihtiyaç duymadan “kusurlu” parçalara ait kontrol grafiklerinin oluşturulmasına olanak sağladığı için tercih edilmektedir. Ancak örneklem sayısının değişken olması halinde, np grafiklerinin kullanımı uygun olmamaktadır. Yani, np kontrol grafiklerinin kullanılması için belirli aralıklarla çekilen örneklem büyüklüklerinin sabit olması gerekmektedir (Işığışık, 2012).

Örneklem büyüklüğünün değişken olması durumunda, p-kontrol grafiklerinin kullanılması uygundur. Örneklem büyüklüğü değişken olduğunda, p-kontrol grafiklerinin çizimi için üç farklı yaklaşım bulunmaktadır: Bunlardan birincisi, her bir örnekleme ait büyüklüğe göre ayrı ayrı kontrol limitlerinin hesaplanmasına dayanan “değişken aralığa sahip-kontrol limitleri” yaklaşımıdır. İkinci yaklaşım ise, değişken olan örneklem büyüklüklerinin ortalamasına dayanan kontrol limitlerinin oluşturulduğu “ortalama örnek büyüklüğüne dayalı kontrol grafikleri” yaklaşımıdır. Son olarak ise “standartlaştırılmış kontrol grafikleri” yaklaşımı ile her bir örneğe ait oranlar standartlaştırılarak grafiğe aktarılırken, alt kontrol limiti - 3, üst kontrol limiti +3 ve merkez çizgi 0 alınarak standart kontrol limitleri kullanılmaktadır (Montgomery, 1996). Bu üç yaklaşımdan değişken aralığa sahip kontrol limitleri yaklaşımında, kontrol limitleri değişken olurken diğer iki yaklaşımda kontrol limitleri sabitleştirilmiş bir hale getirilmektedir. Ayrıca, standartlaştırılmış kontrol grafikleri yaklaşımında

kontrol limitlerinin hesaplanmasına ilişkin bir eşitlik bulunmamaktadır. Bu yaklaşımda, alt limit -3 (3σ anlayışından) üst limit de $+3$ (3σ anlayışından) olarak alınırken merkez çizgi 0 kabul edilir. Aşağıda yer alan Eşitlik (1) değişken aralığa sahip kontrol limitleri yaklaşımı için kontrol limitlerinin hesaplanmasını ve Eşitlik (2) ortalama örnek büyüklüğüne dayalı kontrol grafikleri yaklaşımı için kontrol limitlerinin hesaplanmasını göstermektedir.

$$\begin{aligned} AKL &= \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \\ MÇ &= \bar{p} \\ ÜKL &= \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \end{aligned} \quad (1)$$

Eşitlikler (1) ve (2) de yer alan \bar{p} , \bar{n} ve standartlaştırılmış kontrol grafikleri yaklaşımında örneklem verilerinin yayılımı için kullanılan Z_i istatistiklerinin hesaplanmasına ilişkin formüller de aşağıda yer almaktadır.

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (3)$$

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

$$Z_i = \frac{\hat{p}_i - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n_i}}} \quad (5)$$

Yukarıda yer alan eşitliklerdeki \bar{p} kusurlu oranı ortalamasını, \bar{n} örneklem büyüklüklerinin ortalamasını, D_i i'nci örnekleme ait kusurlu sayısını ve \hat{p}_i i'nci örnekleme ait kusurlu oranını göstermektedir.

5. Fazi Kontrol Grafikleri

Fazi mantık kısaca, doğal diller üzerinde ortak bir çıkarım yapma veya sağduyuyu temsil etme yöntemi olarak tanımlanabilir. Fazi mantık, klasik küme teorisindeki var-yok, kümeye ait-ait değil şeklindeki ikili mantıktan ziyade daha açık bir şekilde sınırlandırmaya ve ara değerleri de işleme dahil etmede elverişli olan bir yaklaşımdır. Fazi küme teorisinde, herhangi bir elemanın bir kümeye aidiyeti üyelik fonksiyonları vasıtasıyla hesaplanan aidiyet derecelerinin belirlenmesi temellidir. Kalite alanındaki çalışmalarda da bu temel kullanılmaktadır. Fazi mantığın en önemli özelliği var yok gibi iki uç değer yerine var ile yok arasındaki ara seviyeleri de örneğin; 0,8 derece var veya 0,2 derece yok şeklinde dikkate alabilmesidir (Rowlands ve Wang, 2000).

Kalite kontrolde, nitel türdeki kalite özelliklerini kontrol etmek için genellikle p-kontrol grafikleri kullanılmaktadır. Ancak p-kontrol grafiklerinde ele alınan uygun/uygun değil veya kaliteli/kalitesiz şeklindeki durumlar bazen yeterli sınıflandırmalara imkân vermemektedir. Bunun nedeni, bu tür durumlar için değişimlerin birden olmaması ve ürün kalitesindeki değişimlerin ara değerlere uğrayabilmesi olarak düşünülmektedir. Yani kaliteli ve kalitesiz arasındaki değişimin aniden olmadığı, bunun yerine bu değişimin zamanla gerçekleşip kaliteliden kalitesizliğe doğru ara geçiş seviyelerinin olduğunu söylemek mümkündür. Bu ara seviyeler, ürünün spesifikasyonları karşılayamama derecesine göre “mükemmel”, “iyi”, “orta”, “zayıf”, “kötü” gibi dilsel terimler ile ifade edilebilmektedir (Fernandez, 2017). Fazi yaklaşımı, veriler dilsel, kategorik, belirsiz ya da kişilerin öznel yargılarına bağlı olduklarında p, np, c ve u kontrol grafikleri için uygundur.

Fazi mantık ya da fazi yaklaşımın en önemli farkı, belirlenen üyelik fonksiyonları ile ele alınan özelliklerin bu özellikler için oluşturulan kümeye aidiyetlerinin derecelendirilmesidir. Bu derecelendirmeler birçok farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Matematiksel yöntemler, istatistiksel teknikler, olasılık teorisi yaklaşımı vb. yaklaşımlar kullanılarak belirlenen üyelik fonksiyonlarının yanı sıra sezgisel olarak belirlenen üyelik dereceleri de sık başvurulan bir yöntemdir. Bu yöntemlerden sezgiyle üyelik ataması yöntemi basit olarak, insanların doğuştan veya sonradan edindikleri tecrübeleri, duygu ve düşünceleri ile üyelik fonksiyonlarını ataması işlemidir. Dahası bu yöntemde, dilsel doğruluk değerleri de kullanılabilir (Armutlulu, 2014). Atanassov vd. (2010), fazi kümelerinde sezgisel olarak üyelik fonksiyonunun belirlenmesinde, kümeye aidiyet ve ait olmama şeklinde iki boyutlu olarak uzmanların görüşlerinin alınıp değerlendirme yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Fazi kalite kontrol grafiklerinin oluşturulması ile ilgili çok fazla teknikler ileri sürülmüştür. Bu tekniklerin içerisinde en çok uygulama alanı bulanlar arasında Wang ve Raz (1990) tarafından öne sürülen yaklaşımlar yer almaktadır. Wang ve Raz, ürün kalitesini yansıtan dilsel terimlerin belirlenmesi ve bu terimlere üyelik fonksiyonları atanmasını benimsemişlerdir. Ardından da iki farklı yaklaşım ile kontrol limitlerinin oluşturulması üzerine yoğunlaşmışlar ve fazi kontrol grafiklerinin elde edilmesini sağlamışlardır. Ürün kalitesi değerlendirilirken {mükemmel, iyi, orta, zayıf, kötü} şeklinde dilsel terimlerin kullanılması durumunda, “0” en iyi kaliteyi ve “1” en kötü kaliteyi göstermek üzere her bir dilsel terim için aşağıdaki üyelik fonksiyonlarını öne sürmüşlerdir.

$$\mu_{Dilsel Terim}(x) = \begin{cases} \mu_{mükemmel}(x) = \begin{cases} 1 - 4x, & 0 \leq x \leq 0,25 \\ 0, & x \geq 0,25 \end{cases} \\ \mu_{iyi}(x) = \begin{cases} 4x, & 0 \leq x \leq 0,25 \\ 2 - x, & 0,25 \leq x \leq 0,5 \\ 0, & x \geq 0,5 \end{cases} \\ \mu_{orta}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,25; x \geq 0,75 \\ 4x - 1, & 0,25 \leq x \leq 0,5 \\ 3 - 4x, & 0,5 \leq x \leq 0,75 \end{cases} \\ \mu_{zayıf}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,50 \\ 4x - 2, & 0,50 \leq x \leq 0,75 \\ 4 - 4x, & 0,75 \leq x \leq 1 \end{cases} \\ \mu_{kötü}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,75 \\ 4x - 3, & 0,75 \leq x \leq 1 \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinin ardından kontrol grafiğinin merkez çizgisinin hesaplanması kısmına geçilmektedir. Bu çizginin hesaplanmasına ilişkin eşitlikler de aşağıda gösterilmektedir.

$$M\check{C} = \bar{M}_j = \frac{\sum_{j=1}^m M_j}{m} \quad (7)$$

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^m k_{ij} r_i}{n_j} \quad i = 1, 2, \dots \quad (8)$$

Merkez çizginin hesaplanmasında kullanılan \mathbf{r}_i , dilsel terimin fazi küme içerisindeki temsil değerini, \mathbf{k}_{ij} , j'nci örnek için dilsel terim i ile vasıflandırılmış ürünün sayısını, \mathbf{n}_j , j'nci örneğin örnek büyüklüğünü ve \mathbf{M}_j ise j'nci örneklem grubundaki temsil değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir.

Fazi kontrol grafiklerine ait alt ve üst limitlerin hesaplanması için olasılık hesaplamalarına dayalı kontrol limitleri ve üyelik fonksiyonlarına dayalı kontrol limitleri olmak üzere iki yaklaşım öne sürmüşlerdir. Bu yaklaşımlardan olasılık hesaplamalarına dayalı kontrol limitleri aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$SD_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^t k_{ij} (r_i - M_j)^2} \quad (9)$$

Eşitlik (9) da yer alan \mathbf{SD}_j , j'nci örneklem grubundaki temsil değerleri için standart sapmayı; \mathbf{n} , toplam örneklem büyüklüğünü ve \mathbf{t} ise dilsel terim kümesindeki terimlerin sayısını ifade etmektedir. Toplam

m adet alt örneklem grubunun standart sapmalarının ortalamasını gösteren MSD'nin formülü de Eşitlik (10) da gösterilmektedir.

$$MSD = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m SD_j \quad (10)$$

Örneklem büyüklüğü olan n'in 25'den büyük olması halinde nicel kontrol grafiklerinden \bar{X} kontrol grafiğinde ele alınan yaklaşımla kontrol limitleri türetilmektedir. Grafikte yer alacak olan noktalar temsil değerlerinin örneklem ortalamaları olduğundan, bu noktalar [0, 1] aralığında yayılım göstereceklerdir. Dolayısıyla, alt ve üst kontrol limitleri aşağıda belirtilen Eşitlik (11) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Olasılığa Dayalı AKL} &= \text{Mak}\{0; (CL - A_3MSD)\} \\ \text{Olasılığa Dayalı ÜKL} &= \text{Min}\{1; (CL + A_3MSD)\} \end{aligned} \quad (11)$$

$$A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}} \quad c_4 = \sqrt{\frac{2}{n-1} \frac{\left(\frac{n-2}{2}\right)!}{\left(\frac{n-3}{2}\right)!}} \quad (12)$$

Üyelik fonksiyonlarına dayalı kontrol limitleri yaklaşımında, genel adından da anlaşılacağı üzere, üyelik fonksiyonları kullanılarak kontrol limitlerinin hesaplanması esasına göre değerler ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşımdaki hesaplamalar da aşağıda Eşitlik (13) ile Eşitlik (15) arasında özetlenen işlemler ile yapılabilmektedir. Konveks bir fazi kümesinde \mathbf{x}_m , fazi kümeye ait üyelik fonksiyonunun mod veya yayılım aralığını göstermek üzere \mathbf{x}_m 'in sol tarafı $\mathbf{x}_l(\alpha)$ ve sağ tarafı da $\mathbf{x}_r(\alpha)$ olacak şekilde iki parçadan oluşmaktadır. Sol taraftaki parçayı ifade eden $\mathbf{x}_l(\alpha)$, temel değişken x'in α seviyesindeki en küçük değerini ve sağ taraftaki parçayı ifade eden $\mathbf{x}_r(\alpha)$, temel değişken x'in α seviyesindeki en büyük değerini göstermektedir. Buna göre, ortalama sapmayı ifade eden δ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\delta = \delta_l + \delta_r \text{ olmak üzere; } \delta_l = \int_{\alpha=0}^1 [x_m - x_l(\alpha)] d\alpha \quad (13)$$

$$\delta_r = \int_{\alpha=0}^1 [x_r(\alpha) - x_m] d\alpha$$

$$\delta = \int_{\alpha=0}^1 [x_m - x_l(\alpha)] d\alpha + \int_{\alpha=0}^1 [x_r(\alpha) - x_m] d\alpha = \int_{\alpha=0}^1 [x_r(\alpha) - x_l(\alpha)] d\alpha \quad (14)$$

Eşitlik (13) ve (14) de yer alan α değeri temel değişken x 'in üyelik değerini göstermektedir. Sonuç olarak, hesaplanan ortalama sapma ve ortalama sapma sayısı k değeri ile kontrol limitleri aşağıda verilen eşitlik ile elde edilebilir.

$$\begin{aligned} \text{Üyelik } AKL &= \text{Max}\{0, (M\check{C} - k\delta)\} \\ \text{Üyelik } \check{ÜKL} &= \text{Max}\{0, (M\check{C} + k\delta)\} \end{aligned} \quad (15)$$

Fazi kontrol grafiklerindeki bir diğer yaklaşıma göre, α -kesitler yardımıyla hesaplamalar yapılabilmektedir. Her bir örnek için ortalama M_j olmak üzere,

$$L_j(\alpha) = M_j\alpha \quad (16)$$

$$R_j(\alpha) = 1 - [(1 - M_j)\alpha] \quad (17)$$

şeklinde α -kesitleri yardımıyla LR fazi sayıları hesaplanır. Kontrol limitleri ise,

$$Kontrol\ Limitleri(\alpha) = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} M\check{C}^L = \bar{M}\alpha \\ AKL^L = \text{mak} \left\{ M\check{C}^L - 3 \sqrt{\frac{M\check{C}^L(1 - M\check{C}^L)}{\bar{n}}}; 0 \right\} \\ \check{ÜKL}^L = \text{min} \left\{ CL^L + 3 \sqrt{\frac{M\check{C}^L(1 - M\check{C}^L)}{\bar{n}}}; 1 \right\} \end{array} \right\} \\ \left\{ \begin{array}{l} M\check{C}^R = 1 - [(1 - \bar{M}\alpha)\alpha] \\ AKL^R = \text{mak} \left\{ M\check{C}^R - 3 \sqrt{\frac{M\check{C}^R(1 - M\check{C}^R)}{\bar{n}}}; 0 \right\} \\ \check{ÜKL}^R = \text{min} \left\{ M\check{C}^R + 3 \sqrt{\frac{M\check{C}^R(1 - M\check{C}^R)}{\bar{n}}}; 1 \right\} \end{array} \right\} \end{cases} \quad (18)$$

formülleri yardımıyla hesaplanır. Klasik kontrol grafikleri ile fazi kontrol grafikleri karşılaştırıldığında, kalite karakteristiklerinin sayısı, kontrol sürecinin ardından alınabilecek kararlar, avantajlar ve dezavantajlar açısından farklılıklar aşağıdaki Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: Klasik Kontrol Grafikleri ile Fazi Kontrol Grafiklerinin Karşılaştırılması

Kriter	Klasik Kontrol Grafikleri	Fazi Kontrol Grafikleri
Ele Alınan Kalite Karakteristiklerinin Sayısı	Aynı anda sadece 1 tane kalite karakteristiği ele alınabilir.	Aynı anda 1'den fazla kalite karakteristiği ele alınabilir.
Kontrol Periyodu	Veriler tarihsel periyodlarda toplanır.	Veriler uzmanların ya da karar vericilerin deneyimlerine göre belirlenen periyodlarda toplanır.
Süreç İçin Verilen Karar	"Süreç kontrol altında" veya "süreç kontrol dışında" şeklinde karar söz konusudur.	Mevcut durumdaki süreç bilgisi ve süreç kontrol altında veya değil şeklinde karar söz konusudur.
Avantajları	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tek bir kalite karakteristiğinin karşılanması durumunda oldukça basittir. 2. Çok daha yansız sonuçlar sunmaktadır. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uzmanların deneyimleri üzerinden süreç için daha doğru ve tam kontrol standartları sağlar. 2. Kontrol grafiklerinde fazi çıkarım kurallarının tanımlanması için daha esnekler.
Dezavantajları	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kontrol limitleri esnek değildir. 2. Örneklem büyüklüğü kontrol limitlerinin genişliğini etkiler. 3. Usulüne uygun kontrol limitlerinin belirlenmesi için tarihsel verilerin doğrulanmış olması gerekir. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Çıkarımlar öznel deneyim kuralları üzerinden gerçekleşir. 2. Geleneksel kontrol grafiklerinin sistematik değişiklikler için tamamlayıcı kuralları kullanılamaz.

Kaynak: Gülbay vd., 2004

6. Veri Seti ve Araştırma Metodolojisi

Çalışmada, p-kontrol grafikleri temel alınarak klasik kontrol grafikleri ile fazi kontrol grafiklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amacın belirlenmesinde, literatürde daha önce yapılan çalışmaların özetlendiği Nasiri ve Darestani (2016) ve Sabegh vd. (2014) tarafından yapılan farklı çalışmalarda, p ve np kontrol grafikleri ile fazi teorisinin birleştirildiği çalışma sayısının az olduğunun belirtilmesidir. Nasiri ve Darestani (2016), 1990 ve 2012 yılları arasında kontrol grafiklerinde fazi teorisinin uygulanması ile ilgili yapılan toplam 57 adet çalışmayı özetlemişlerdir. Buna göre, ilgili yıllarda yapılan çalışmaların sadece %13'ünün p-kontrol grafikleri ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Aynı şekilde Sabegh vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada ise diğer çalışmadan farklı olarak 1983 ile 2014 yılları arasında kontrol grafiklerinde fazi teorisinin uygulanması ile ilgili yapılan çok daha fazla sayıda çalışma incelenmiştir. Bu çalışmaya göre de 1983 ile 2014 yılları arasında ilgili konuda yapılan çalışmaların tüm çalışmaların %12,6'sını oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında, 2014 sonrasında yapılan çalışmalar incelendiğinde de p-kontrol grafikleri ile fazi teorisinin birleştirildiği çalışma sayısının az olduğu görülmüştür. Tüm bu çalışmalar temelinde, p-kontrol kartları üzerine uygulama yapılması amaçlanmıştır.

Fazi mantık teorisi kapsamında sözel ifadelerin matematiksel işlemlere dönüştürülebilmesi nedeniyle kusurlu/kusursuz şeklinde ifadelerin yer aldığı p-kontrol grafikleri tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında np kontrol grafiklerinin temel varsayımlarından olan verilerin binom dağılımına uygun olması varsayımı dikkate alınmış ve Gülbay vd. (2004)'nin çalışmalarında kullanmış oldukları kusurlu oranları baz alınarak simülasyon tekniği yardımıyla dört kategorili

(0,0 kusursuz; 0,25 kusurlu; 0,5 kusurlu; 1,0 kusurlu) toplam 30 örneklem grubu ve 6062 adet veri türetilmiştir. Ayrıca, simülasyon tekniği ile veriler türetilirken p-kontrol grafiklerinin binom dağılım göstermesi gerekliliğine uygunluğu gibi, değişken örneklem büyüklükleri de dikkate alınarak elde edilmiştir. Elde edilen veriler, öncelikle değişken örneklem büyüklüklerinin olması durumunda ki klasik p-kontrol grafiklerine ait üç farklı yaklaşımla oluşturulmuştur. Klasik p-kontrol grafiklerinin oluşturulmasında, veriler kusurlu ve kusursuz şeklinde (yani hangi derecede olursa olsun kusurlu olarak kabul edilmiştir) ayrılmış, tüm hesaplamalar bu şekilde yapıldıktan sonra p-kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Ardından dilsel değişkenler için fazi kontrol grafikleri Wang ve Raz tarafından öne sürülen sezgisel üyelik atama yöntemi ile kusurlu ürünlerin üyelikleri belirlenmiş ve kontrol limitleri öne sürülen iki farklı yöntem ile belirlenerek fazi kontrol grafikleri çizilmiştir. Bunlarla birlikte ayrıca α -kesit yöntemi kullanılarak da fazi kontrol grafikleri oluşturulmuş ve kusur dereceleri dikkate alınarak toplam üç farklı fazi kontrol grafiği elde edilmiştir. Son olarak da her iki yöntemle de oluşturulmuş olan kontrol grafikleri karşılaştırılmış ve yorumlamalar yapılmıştır.

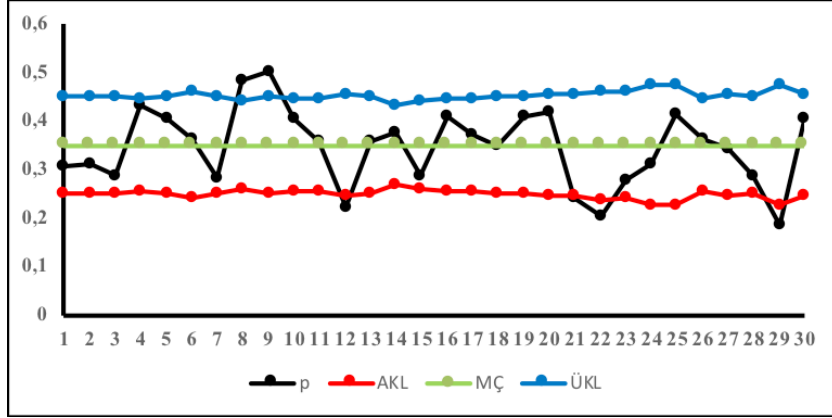
Analizler de kullanılmak üzere oluşturulan simülasyon verileri Tablo 2'de gösterilmiştir. Simülasyon tekniği uygularken dikkat edilen ilk nokta, p-kontrol grafiklerinin temel varsayımı olan, verilerin binom dağılımına uygun olması gerekliliği dikkate alınmış ve bu varsayıma göre veriler üretilmiştir. Örnekleme göre, kusursuz olanlar Standart (S), ürün kullanımını etkilemeyen küçük kusurlu örnekler için ikinci kalite (K1), ürün kullanımını etkilemeyen kusurlu ürünler için üçüncü kalite (K2) ve tamamen kullanılmaz halde olan kusurlu ürünler (K3) olmak üzere 4 tip şeklinde kodlanmıştır.

Tablo 2: Analizlerde Kullanılmak Üzere Türetilen Simülasyon Verileri

Örnek	Standart	K1	K2	K3	Toplam	Örnek	Standart	K1	K2	K3	Toplam
1	193	61	16	7	277	16	84	40	16	2	142
2	110	39	7	4	160	17	104	52	7	2	166
3	187	46	21	8	262	18	97	34	11	6	149
4	87	47	13	7	153	19	119	51	22	10	202
5	121	58	14	9	203	20	167	64	43	14	288
6	158	66	13	11	248	21	180	40	11	5	237
7	214	39	31	13	297	22	151	25	3	9	189
8	139	47	49	33	268	23	159	36	14	10	219
9	78	60	15	2	156	24	131	33	23	3	190
10	87	41	15	3	146	25	147	53	35	14	249
11	144	58	16	6	224	26	166	66	14	14	261
12	155	32	6	6	200	27	156	45	23	13	237
13	176	66	21	10	274	28	163	41	17	7	228
14	115	51	14	4	184	29	114	15	9	1	140
15	172	50	10	8	241	30	154	51	38	15	259

7. Bulgular

Simülasyon tekniği kullanılarak türetilen veriler ışığında, elde edilen klasik p-kontrol grafikleri aşağıda gösterilmiştir. Örneklem büyüklükleri, her bir örneklem grubunda farklı olduğundan üç farklı yaklaşıma göre grafikler oluşturulmuştur.

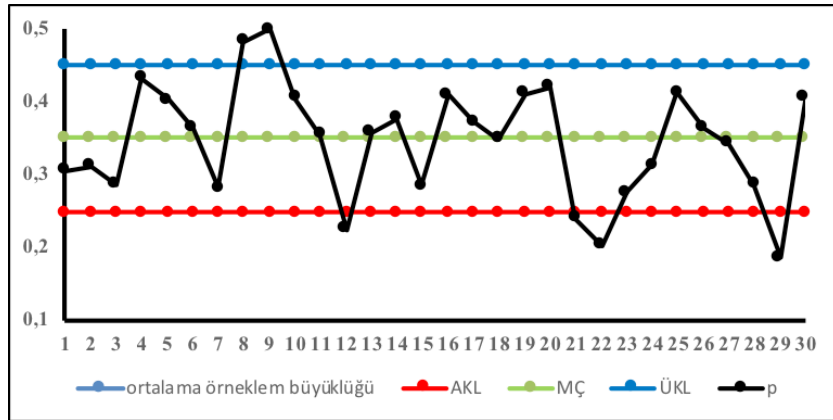


Şekil 1: Değişken Genişliğe Sahip Kontrol Limitleri Yaklaşımıyla Oluşturulan

Klasik p-kontrol Grafiği

Değişken aralığa sahip kontrol limitleri yaklaşımıyla oluşturulan klasik p-kontrol grafiği incelendiğinde, 8 ve 9 no'lu gözlemlerin tamamen üst limitin üzerine çıktığı görülmektedir. Ayrıca, özellikle 4 no'lu gözlem başta olmak üzere bazı gözlemlerin de üst kontrol limitlerine yaklaştığı ifade edilebilir. Alt kontrol limitlerinin dışında yer alan 12, 22 ve 29 no'lu gözlemler için p-kontrol grafiklerinde alt limitin altına düşen değerler kusurlu ürün kabul etme oranının da altına düşmesi anlamına geldiğinden sorun olarak ele alınmamaktadır.

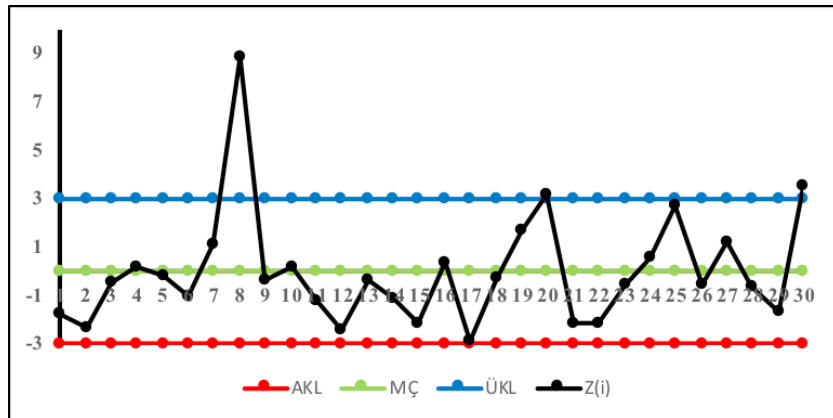
Şekil 2'de, ortalama örnek büyüklüğüne dayalı kontrol limitleri yaklaşımıyla oluşturulan klasik p-kontrol grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, tıpkı değişken aralığa sahip kontrol limitleri yaklaşımıyla oluşturulan klasik p-kontrol grafiğinde olduğu gibi, 8 ve 9 no'lu gözlemler tamamen üst limitin üzerine çıkmış, bununla birlikte özellikle 4 no'lu gözlem başta olmak üzere bazı gözlemler üst kontrol limitlerine yaklaşmıştır. Yine değişken aralığa sahip kontrol limitleri yaklaşımıyla oluşturulan klasik p-kontrol grafiğinde olduğu gibi, alt kontrol limitlerinin altına düşen 12, 22 ve 29 no'lu gözlemler için p-kontrol grafiklerinde alt limitin dışında kalan değerler kusurlu ürün kabul etme oranının da altına düşmesi anlamına geldiğinden sorun olarak ele alınmamaktadır.



Şekil 2: Ortalama Örnek Büyüklüğüne Dayalı Kontrol Limitleri

Yaklaşımıyla Oluşturulan Klasik p-kontrol Grafiği

Örneklem büyüklüğünün değişken olması durumunda, nitel gözlemler için oluşturulan p-kontrol grafiklerindeki standartlaştırılmış kontrol grafikleri yaklaşımıyla oluşturulan grafik Şekil 3'de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde, 8 no'lu gözlem üst kontrol limitini yaklaşık 3 kat aşmıştır. Bunun yanı sıra diğer iki yaklaşım kullanılarak oluşturulan p-kontrol grafiklerinde kontrol altında olan 30 no'lu gözlem standartlaştırılmış, kontrol grafikleri yaklaşımıyla oluşturulan grafikte kontrol dışında sinyal vermiştir. Yine, önceki iki yaklaşımda kontrol limitleri dâhilinde olan 20 no'lu gözlem de üst kontrol limiti üzerinde konumlanmıştır. Önceki iki yaklaşıma ait p-kontrol grafiğinde, kontrol dışında sinyal veren 9 no'lu gözlem ise standartlaştırılmış kontrol grafikleri yaklaşımında, kontrol limitleri arasında kalmış ve merkez çizginin oldukça yakınında yer almıştır.



Şekil 3: Standartlaştırılmış Kontrol Grafikleri Yaklaşımıyla

Olusturulan Klasik p-kontrol Grafiği

Fazi kontrol grafiklerinin oluşturulmasında ise ilk yaklaşım olan sezgiyle üyelik atamasında, dilsel ifadelere sezgisel yöntemle olabirlik değerleri atanır. Bu olabirlik değerleri, standart (S), ikinci kalite (K1), üçüncü kalite (K2) ve kusurlu ürünler (K3) için sırasıyla, 0; 0,25; 0,50 ve 1 üyelik değerleri atanmıştır. Eşitlik (6) temel alınarak belirlenen üyelik fonksiyonları aşağdaki gibidir:

$$\mu_S(x) = \begin{cases} -x + 1, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & d.d \end{cases}$$

$$\mu_{K1}(x) = \begin{cases} 4x, & 0 \leq x \leq 1/4 \\ -\frac{4}{3}x + \frac{4}{3}, & \frac{1}{4} \leq x \leq 1 \\ 0, & d.d \end{cases}$$

$$\mu_{K2}(x) = \begin{cases} 2x, & 0 \leq x \leq 1/2 \\ 2 - 2x, & \frac{1}{2} \leq x \leq 1 \\ 0, & d.d \end{cases}$$

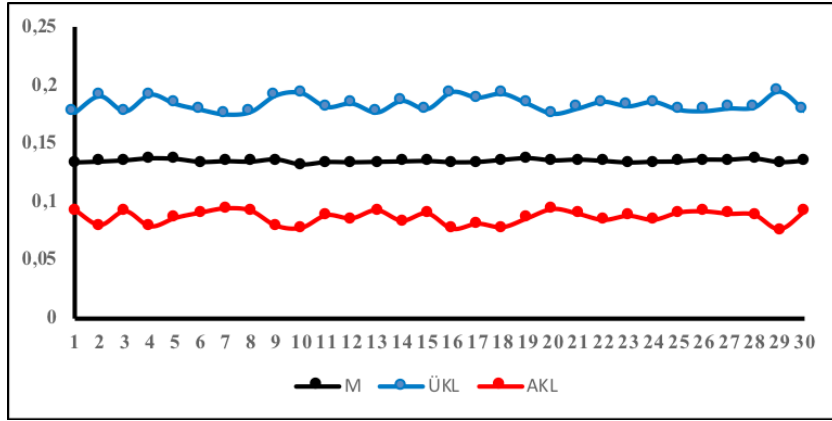
$$\mu_{K3}(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & d.d \end{cases}$$

Yukarıda belirlenen üyelik fonksiyonları kullanılarak gerçekteşirilen atamalar ile 30 örneğe ait, ortalama, standart sapma, üst ve alt kontrol limitleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3: Sezgiyle Üyelik Fonksiyonu Yaklaşımına Göre Hesaplanan Değerler

Örneklem	Mj	SDj	ÜKL	AKL	Örneklem	Mj	SDj	ÜKL	AKL
1	0,134	0,23	0,177	0,093	16	0,134	0,23	0,194	0,076
2	0,134	0,23	0,190	0,080	17	0,134	0,23	0,189	0,081
3	0,135	0,23	0,178	0,092	18	0,136	0,24	0,192	0,078
4	0,137	0,24	0,191	0,078	19	0,137	0,24	0,184	0,086
5	0,137	0,24	0,184	0,086	20	0,135	0,23	0,176	0,094
6	0,134	0,23	0,179	0,091	21	0,136	0,23	0,180	0,090
7	0,135	0,23	0,175	0,094	22	0,135	0,23	0,186	0,084
8	0,134	0,23	0,178	0,092	23	0,134	0,23	0,182	0,088
9	0,136	0,23	0,191	0,079	24	0,134	0,23	0,186	0,084
10	0,132	0,23	0,193	0,077	25	0,135	0,23	0,179	0,091
11	0,134	0,23	0,182	0,088	26	0,136	0,23	0,178	0,092
12	0,134	0,23	0,184	0,086	27	0,136	0,23	0,180	0,090
13	0,134	0,23	0,177	0,093	28	0,137	0,24	0,181	0,089
14	0,135	0,23	0,186	0,083	29	0,134	0,23	0,194	0,076
15	0,135	0,23	0,180	0,090	30	0,135	0,23	0,178	0,092

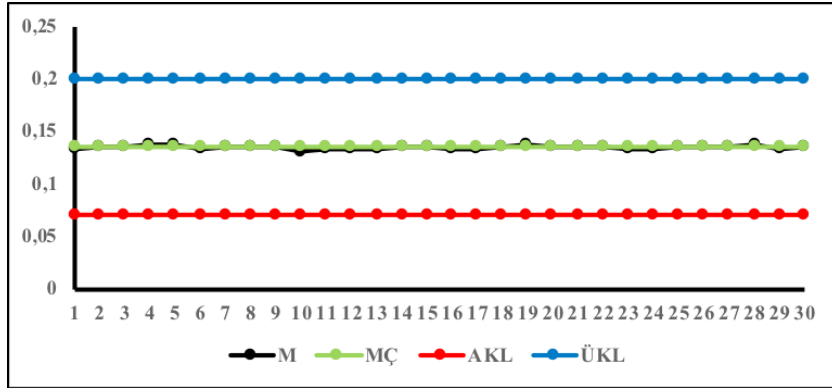
Oluşturulan tabloya göre, fazi kontrol grafiği ise Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu grafiğe bakarak sürecin kontrol altında olduğu söylenebilir.



Şekil 4: Sezgisel Üyelik Atama Yöntemi ile Oluşturulan Fazi Kontrol

Grafiği (Kontrol Limitlerinin Olasılığa Dayalı Hesaplanması)

İkinci yaklaşım olarak fazi, olasılık yaklaşımı ele alınmış ve merkez çizgi 0,135, alt kontrol limiti 0,07 ve üst kontrol limiti 0,20 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, fazi kontrol grafiği Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Sezgisel Üyelik Atama Yöntemi ile Oluşturulan Fazi Kontrol Grafiği

(Kontrol Limitlerinin Üyelik Fonksiyonuna Dayalı Hesaplanması)

Son olarak, oluşturulan α -kesit yaklaşımına göre kontrol grafikleri için, oluşturulmuş olan her bir örneklem grubuna ait α -kesit değerleri hesaplanmış ve aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 4: α -Kesit Yöntemine Göre Oluşturulan Kontrol Grafikleri İçin Hesaplanan Değerler

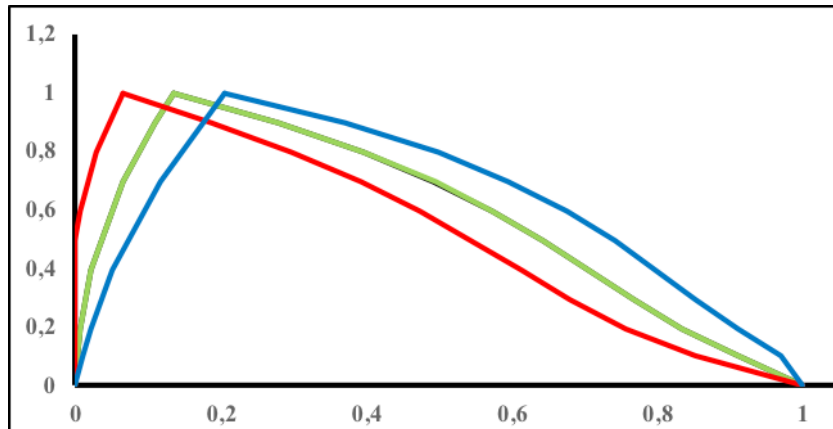
	S		K1		K2		K3	
α	0	$1-\alpha$	$\alpha/4$	$(4/3-\alpha)*3/4$	$a/2$	$(2-\alpha)/2$	α	1
0	0	1	0	1	0	1	0	1
0,1	0	0,9	0,025	0,925	0,05	0,95	0,1	1
0,2	0	0,8	0,05	0,85	0,1	0,9	0,2	1
0,3	0	0,7	0,075	0,775	0,15	0,85	0,3	1
0,4	0	0,6	0,1	0,7	0,2	0,8	0,4	1
0,5	0	0,5	0,125	0,625	0,25	0,75	0,5	1
0,6	0	0,4	0,15	0,55	0,3	0,7	0,6	1
0,7	0	0,3	0,175	0,475	0,35	0,65	0,7	1
0,8	0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,8	1
0,9	0	0,1	0,225	0,325	0,45	0,55	0,9	1
1	0	0	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1

Tablo 4'de sunulan α -kesit değerlerine göre tüm örneklem grupları için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmaktadır. Örneğin, 8. örneklem grubuna ait hesaplama sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5: 8 No'lu Örneklem Grubu İçin Hesaplanan α -Kesit Değerleri

M (8)		M (8)		M (8)	
Ma	$1-(1-Ma)a$	Ma	$1-(1-Ma)a$	Ma	$1-(1-Ma)a$
0,00	1,00	0,02	0,70	0,09	0,40
0,00	0,91	0,03	0,64	0,11	0,28
0,01	0,83	0,05	0,57	0,13	0,13
0,01	0,77	0,07	0,49		

Hesaplamalar sonucunda oluşan üçgensel fazi sayılarına göre, sürecin kontrol altında olduğu görülmüştür. Yukarıda ayrıntılı olarak ele alınan 8 no'lu alt örneklem grubuna ait değerlerin her α kesiti için alt ve üst kontrol limitleri arasında kaldığı görülmektedir.



Şekil 6: 8 No'lu Alt Örneklem İçin α -Kesitler Yöntemi ile

Oluşturulan Fazi Kontrol Grafiği

Fazi kontrol kartları için ele alınan üç yaklaşıma göre de klasik p-kontrol grafiklerinden elde edilen sonuçların aksine sürecin kontrol altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

8. Sonuç

Örnek hacminin değişken olması halinde, nitel kontrol grafiklerinden p-kontrol grafiğine ait üç farklı yaklaşım ile oluşturulan kontrol grafikleri bulguları ile aynı verilerden elde edilen fazi kontrol grafiklerine ait sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Değişken aralığa sahip kontrol limitleri yaklaşımına göre oluşturulan klasik p-kontrol grafiğinde, 8 ve 9 no'lu gözlemler üst kontrol limitlerinin dışında sinyal verirken 4, 12, 22 ve 29 no'lu gözlemler ise alt kontrol limitlerinin altında yer almıştır.
- Ortalama örneklem ortalaması yaklaşımı ile oluşturulan klasik p-kontrol grafiğinde, 8 ve 9 no'lu gözlemler üst kontrol limitleri dışında yer alırken 12, 22 ve 29 no'lu gözlemler ise alt kontrol limitlerinin altına düşmüşlerdir.
- Standartlaştırılmış kontrol grafikleri yaklaşımı ile oluşturulan klasik p-kontrol grafiklerinde, 8 ve 30 no'lu gözlemler üst kontrol limitinin üzerinde sinyal verirken alt kontrol limitlerinin altında herhangi bir gözlem bulunmamıştır.
- Fazi kontrol grafikleri ile oluşturulan üç yaklaşıma göre de kontrol limitlerini aşan bir gözleme rastlanmamıştır.
- Klasik p-kontrol grafiklerinde gözlemler dalgalı bir grafik çizerken fazi kontrol grafiklerinde ise merkez çizgi etrafında normal dalgalanmalar ortaya çıkmıştır.

Yukarıda kısaca özetlenen farklılıkların ortaya çıkmasındaki temel sebep, fazi kontrol grafiklerinin dilsel olarak kusurlu/kusursuz gibi ayrımlarda, kusurlu ile kusursuz arasındaki ara seviyeleri de kullandığı için, çok daha hassas ölçümler yapabilmesidir. Çalışmada ele alınan verilerde, fazi kontrol grafikleri oluşturulurken kusurlu ürünler 0,25; 0,50 ve 1 derece kusurlu olarak ayrılmış ve buna göre işlemler yapılmıştır. Klasik p-kontrol grafiklerinde ise kusurlu dereceleri hesaba katılmamış ve hangi derecede kusurlu olursa olsun “kusurlu” olarak ele alınmıştır. Bu nedenle de kusurlu oranı p-kontrol grafiklerinde oldukça yüksek bir değere ulaşmış ve sürecin kontrol dışında sinyal vermesine sebep olmuştur.

Elde edilen bulgular göz önüne alındığında, klasik p-kontrol grafikleri sürecin kontrol dışında olduğuna dair sinyal vermiştir. Bu durum da işletmenin derhal sürece müdahale etmesi ve süreci kontrol altına iten sebepleri ortaya çıkarması gerekecektir. Sürece etki eden özel sebebi bulmak için işletmenin gerekirse süreci tamamen durdurma kararı alması kaçınılmaz bir durum haline gelecektir. Dolayısıyla, işletme için hem zaman hem maliyet kaybı olacağı gibi aynı zamanda da uzun vade de işletme, pazarda var olamama nedeniyle güven kaybına sebep olabilecektir.

Fazi kontrol grafikleri ile oluşturulan grafikler ise genel olarak daha hassas sonuçlar sunabilmektedir. Ele alınan veriler ışığında, klasik p-kontrol grafiklerindeki kontrol dışı durumun aksine fazi kontrol grafikleri sürecin kontrol altında olduğu ve herhangi bir müdahaleye gerek olmadığı şeklinde bulgular sunmuştur. İşletmeler için herhangi bir sürecin kontrol dışında olması halinde, sürece müdahale edilmesi hayati bir önem taşıdığı gibi, gereksiz yere sürece müdahale edilmesinden kaynaklanan zaman ve maliyet kaybı yaşanmaması da bir o kadar hayati önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, literatürde yer alan, özellikle Amirzadeh ve arkadaşları(2009), Aslangiray ve Akyüz (2014) ve Gülbay vd. (2004) çalışmalarındaki sonuçlara yakın sonuçlar elde edilmiştir. Genellikle, klasik kontrol grafiklerinde “kontrol içinde” olarak görülen süreçlerin fazi kontrol grafikleri ile “kontrol dışında” oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda, bu durumun tersi olarak klasik kontrol grafiklerinde “kontrol dışında” olarak görülen süreçlerin fazi kontrol grafikleri ile “kontrol içinde” şeklinde bulgular elde edilmiştir. Her iki durum da fazi kontrol grafiklerinin daha hassas ölçümler yaptığı hipotezini desteklemektedir. Bu sonuçla birlikte, fazi kontrol grafiklerinin tıpkı klasik kontrol grafiklerinde “kontrol içinde” olan bir süreci devam ettirerek işletmenin uzun vadede kalitesizlik maliyetlerinin artmasını engellemesi gibi kontrol grafiklerinde “kontrol dışında” olan bir süreci iyileştirme yoluna giderek maliyet ve zaman kaybını da engelleyebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Klasik kontrol grafiklerinde sürecin kontrol edilmesi esnasında tolerans sınırlarının genişletilmesi ya da daraltılması ile çözüm hassasiyeti esnetilmekte ya da daraltılmaktadır. Ancak bu durum, elde edilen sonuçların yanlış olmasına yol açabilmektedir. Fazi kontrol grafiklerinin ele alınması, bu yanlışlığı ortadan kaldırılabilmesi için önemli bir adım olarak düşünülebilir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar kapsamında, p-kontrol grafiklerine ilişkin olarak az sayıda çalışmanın yanında, gözlem verilerinin binom dağılımına uygun olduğu durumlarda, hem daha sonraki çalışmalara hem de ilgililere yol gösterici olabileceği düşünülmektedir. Kalite ölçümünün, tüketiciler tarafından dilsel bir şekilde ifade edildiği gerçeği göz önünde bulundurulduğunda, belirsizliğin arttığını söylemek mümkündür. Bu belirsizliği ortadan kaldırma yolunun ise fazi teorisi ile mümkün olduğu ifade edilmiştir. Fazi teorisinin kontrol grafiklerine uygulanması ile özellikle p-kontrol grafiklerinin kalite kontrolde başvurulabilecek önemli tekniklerden olduğu söylenebilir.

Klasik anlayış ile oluşturulabilen birçok klasik kontrol grafiği bulunmaktadır. Hem nicel hem de nitel özelliklere göre ayrı ayrı oluşturulabilecek kontrol grafikleri ile yine farklı yaklaşımlarla oluşturulabilecek kontrol grafiklerinin karşılaştırılması yapılabilir. Sadece karşılaştırmalar için değil, bir sürecin kontrol altında mı yoksa kontrol dışında mı şeklinde karar verilmesinde, bu iki kontrol grafikleri birlikte değerlendirilerek daha net ve daha doğru kararlar verilebilir. Ayrıca, klasik nicel kontrol grafikleri ile fazi kontrol grafikleri de karşılaştırılabilir.

Kaynakça

Alakoç, N. ve Apaydın, P. A. (2018). A Fuzzy Control Chart Approach for Attributes and Variables. Engineering, Technology and Applied Science Research, 8(5), 3360-3365. Retrieved from <https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/2192/pdf>

- Amirzadeh, V., Mashinchi, M. ve Parchami, A. (2009). Construction of P-Charts Using Degree of Nonconformity. *Information Sciences*, 179, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.09.010>
- Armutlulu, İ. H. (2014). *Belirsizlik ve Fazi Aritmetiği Sosyal Bilimlerin Dili*. İstanbul: Alfa Yayınları.
- Aslangiray, A. ve Akyüz, G. (2014). Bulanık Kontrol Grafikleri: Tekstil Firmasında Bir Uygulama. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 1(43), 70–89. Retrieved from <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=e7dd7570-dbbe-49e0-9ded-8709e34433b3%40sdc-v-sessmgr05>
- Atanassov, K., Szmidt, E. ve Kacprzyk, J. (2010). On Some Ways of Determining Membership And Non-Membership Functions Characterizing Intuitionistic Fuzzy Sets. *Sixth International Workshop on IFSS, Slovakia*, 10 Oct. 2010, 4, 26-30.
- Cheng, C. B. (2005). Fuzzy Process Control: Construction of Control Charts With Fuzzy Numbers. *Fuzzy Sets And Systems*, 154, 287–303. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2005.03.002>
- Çolak, T. ve Akdeniz, F. (2008). Elyaf İşletmelerinde İstatistiksel Süreç Kontrolünün Uygulanması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*: 5(17), 86–94. Retrieved from <http://fbe.cu.edu.tr/tr/makaleler/cild17sayi5-11.html>
- Elitok, B. ve Öncel, S. Y. (2017). Elektronik Devre Kartı Üzerindeki Kusur Sayıları İçin Bulanık Kalite Kontrol Grafikleri Uygulaması. 2. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu poster bildiri, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Faraz, A., ve Shapiro, A. F. (2010). An Application of Fuzzy Random Variables To Control Charts. *Fuzzy Sets and Systems*, 161, 2684–2694. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2010.05.004>
- Fernandez, M. N. P. (2017). Fuzzy Theory and Quality Control Charts. 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)-Proceedings: 09 – 12 July, Naples-Italy, 1–6. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/8015675>
- Grzegorzewski, P., ve Hryniewicz, O., (2000), Soft Methods in Statistical Quality Control. *Control Cybernet*, 29, 119–140. Retrieved from http://www.control.ibspan.waw.pl:3000/contents/export?filename=2000-1-09_grzegorzewski_hryniewicz.pdf
- Gülbay, M. ve Kahraman, C. (2007). An Alternative Approach to Fuzzy Control Charts: Direct Fuzzy Approach. *Information Sciences*, 177, 1463-1480. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2006.08.013>
- Gülbay, M., Kahraman, C ve Ruan, D. (2004). A-Cuts Fuzzy Control Charts For Linguistic Data. *International Journal of Intelligent Systems*, 19, 1173–1195. <https://doi.org/10.1002/int.20044>
- Hou, S., Wang, H. ve Feng, S. (2016). Attribute Control Chart Construction Based on Fuzzy Score Number. *Symmetry*, 8(12), 139. <https://doi.org/10.3390/sym8120139>
- İşçiçok, E. (2012). *Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol*. Bursa: Ezgi Kitabevi Yayınları.
- Kanagawa, A., Tamaki, F., ve Ohta, H. (1993). Control Charts For Process Average and Variability Based On Linguistic Data. *International Journal of Production Research*, 31(4), 913–922. <https://doi.org/10.1080/00207549308956765>
- Madadi, M. H. ve Mahmoudzadeh, M. (2017). A Fuzzy Development for Attribute Control Chart with Monte Carlo Simulation Method. *Management Science Letters*, 7, 555-564. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2017.8.001>
- Montgomery, D.C. (1996). *Introduction to Statistical Quality Control*. Canada: John Wiley & Sons Inc,
- Nasiri, M. ve Darestani, S. A. (2016). A Literature Review Investigation on Quality Control Charts Based on Fuzzy Logic. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 18(4), 474-498. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2016.077778>

- Pachamuthu, M. ve Shanmugasundram, V. (2017). Construction of Control Chart Using Fuzzy Probabilistic Approach for cotton Sweater Product. *Research Journal of Mathematical and Statistical Sciences*, 5(4), 1-11. Retrieved from http://www.isca.in/MATH_SCI/Archive/v5/i4/1.ISCA-RJMSS-2017-003.pdf
- Panthong, C. ve Pongpulpunsak, A. (2016). Non-Normality and the Fuzzy Theory for Variable Parameters \bar{X} Control Charts. *Thai Journal of Mathematics*, 14(1), 203-213. <https://doi.org/10.3233/IFS-151551>
- Rowlands, H., ve Wang, L. R. (2000). An Approach of Fuzzy Logic Evaluation And Control in SPC. *Quality And Reliability Engineering International*, 16, 91-98. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099)
- Sabegh, M. H. Z., Mirzazadeh, A., Salehian, S. ve Weber, G. W. (2014). A Literature Review on the Fuzzy Control Chart; Classifications & Analysis. *International Journal of Supply and Operations Management*, 1(2), 167-189. <https://doi.org/10.22034/2014.2.03>
- Sakthivel, E., Senthamarai, K.K. ve Logaraj, M. (2017). Application of Fuzzy Logic Approach in Statistical Control Charts. *Global and Stochastic Analysis*, 4(1), 139-147. Retrieved from [https://www.mukpublications.com/resources/14_Sakthivel%20\(1\).pdf](https://www.mukpublications.com/resources/14_Sakthivel%20(1).pdf)
- Saravanan, A. ve Alamelumangai, V. (2014). Performance of Attribute Charts and Fuzzy Control Chart for Variable Data. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(5), 9758-9766. Retrieved from https://www.ijareeie.com/upload/2014/may/51_PERFORMANCE.pdf
- Shu, M-H., Dang, D-C., Nguyen, T-L, Hsu, B-M ve Phan, N-S. (2017). Fuzzy \bar{X} and S Control Charts: A data-Adaptability and Human-Acceptance Approach. *Complexity*, 2017, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2017/4376809>
- Sorooshian, S. (2013). Fuzzy Approach to Statistical Control Charts. *Journal of Applied Mathematics*, 2013, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/745153>
- Şenol, Ş. (2012). İstatistiksel Kalite Kontrol. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Şentürk, S. (2017). Construction of Fuzzy C Control Charts Based on Fuzzy Rule Method. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A - Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 18(3), 563-572. Retrieved from <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=9ea0f2bc-5119-4e95-9210-8eb8206aa4db%40sdc-v-sessmgr01>
- Şentürk, S. ve Erginel, N. (2009). Development of Fuzzy \bar{X} -R and \bar{X} -S Control Charts Using α -cuts. *Information Sciences*, 179, 1542-1551. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2008.09.022>
- Taleb H ve Limam M (2002). On Fuzzy and Probabilistic Control Charts. *International Journal of Production Research*, 40(12), 2849-2863. <https://doi.org/10.1080/00207540210137602>
- Vonderembse, M. A. ve White, G. P. (1996). *Operations Management Concepts, Methods and Strategies*. St Paul: West Publishing Company.
- Wang, J.H ve Raz, T. (1990). On The Construction of Control Charts Using Linguistic Variables. *International Journal of Production Research*, 28(3), 477-487. <https://doi.org/10.1080/00207549008942731>
- Zabihinpour, S. M., Ariffin, M. K. A., Tang, Z. H. ve Azfanizam A. S. (2015). Construction of Fuzzy \bar{X} -S Control Charts with an Unbiased Estimation of Standard Deviation for A Triangular Fuzzy Random Variable. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 28, 2735-2747. <https://doi.org/10.3233/IFS-151551>