

İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ İLE İLETKEN ENDÜSTRİSİNDE KALİTE İYİLEŞTİRME UYGULAMASI

İrem MERAN AKYÜZ *
Hacer GÜNER GÖREN *

Alınma: 18.05.2023; düzeltme: 12.02.2024; kabul: 16.02.2024

Öz: Süreci kontrol altında tutarak yüksek kalitede ürün elde etmek, hurda oranını azaltmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak kalite araçları kullanarak mümkündür. Bunlardan en yaygın kullanılanı bir süreci kontrol altında tutmak, izlemek ve iyileştirmek amacını taşıyan İstatistiksel süreç kontrolüdür (IPK). Bu çalışmada iletken endüstrisinde faaliyet gösteren bir firma için istatistik süreç kontrol teknikleri ile kalite iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Öncelikle, temel istatistiksel süreç kontrol tekniklerinden histogram, pareto analizi, serpilme diyagramları ve kontrol çizelgeleri kullanılarak bir ürün için sürecin mevcut durum analizi yapılmıştır. Beyin fırtınası ve balık kılçığı diyagramı yardımıyla sürecin yeterliliğinin düşmesine sebep olduğu düşünülen kök nedenler belirlenmiştir. Daha sonra, çok değişkenli regresyon analizi ile süreçte etkili olduğu düşünülen girdiler analiz edilmiştir. Regresyon analizinin sonucuna göre deney tasarımları geliştirilmiş ve tekrar ilişki denklemi kurulmuştur. Hedef süreç yeterliliğine ulaşabilmek için tasarlanmış deneylerden elde edilen parametreler ile üretim yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre sürecin müşteri isteği doğrultusunda iyileştirildiği gözlenmiştir. Bu çalışma, istatistiksel süreç kontrol tekniklerinin endüstriyel uygulamalarda kullanımının iş gücü, zaman, kaynak kullanım verimliliği ve müşteri memnuniyeti sağlayabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İstatistiksel Proses Kontrol, Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol, Kontrol Çizelgeleri, Deneysel Tasarım

Quality Improvement Application in The Conductor Industry with Statistical Process Control

Abstract: Using quality tools, it is possible to obtain high quality products, reduce scrap rate and ensure customer satisfaction control by keeping the process under control. The most widely used tool among these is Statistical process control (SPC) with the aim of controlling, monitoring and improving a process. In this study, quality improvement studies were conducted in a company in conductor industry. Firstly, the current situation analysis of one product was analyzed using basic statistical methods such as histograms, pareto analysis, pareto analysis, scatter plot and control charts. Brainstorming and ishikawa diagram were used to determine the root causes of a decrease in the process capability index. Then, multivariate regression analysis was used to analyze the inputs thought to be effective in the process. Based on the results of the regression analysis, the experimental designs were developed and the correlation equation was constructed again. The production was carried out with the parameters obtained from experiments designed to achieve the target process adequacy and the process was observed to be improved based on the results obtained. This study has revealed that the use of statistical process control techniques in industrial applications can provide workforce, time, resource use efficiency and customer satisfaction.

Keywords: Statistical Process Control, Univariate and Multivariate Statistical Process Control, Control Charts, Experimental Design

* Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Kınıklı Yerleşkesi 20070, Kınıklı, DENİZLİ

İletişim Yazarı: Hacer GÜNER GÖREN (hgoren@pau.edu.tr)

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve küreselleşme ile işletmelerin müşteri ihtiyaçlarına cevap vererek yoğun rekabet ortamında ayakta kalmalarına yardımcı olan en önemli faktörlerden biri kalitedir. Kalite, işletmelerin maliyetlerini düşürerek müşteri beklentilerini karşılamalarını sağlar. Kalite sadece nihai üründe müşteri beklentisinin karşılanması değil, aynı zamanda girdi malzemesinden, kullanılan ekipmanlara kadar işletmede tüm sürecin etkin ve kontrol altında olmasıdır. Süreçlerdeki değişkenlik ürün hatalarına, maliyet, verimsizlik ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Bu sebepleri ortadan kaldırmanın bir yolu olan İstatistiksel Süreç Kontrol çalışmaları ile süreçler izlenir ve problemler tespit edilir. Problemlerin kök nedenleri kalite araçları ile belirlenir ve problemleri gidermek için iyileştirme çalışmaları yapılır. İstatistiksel süreç kontrol, 1930'larda Dr. W. A. Shewhart tarafından ortaya konulan kontrol kartlarının endüstride uygulanması ile başlayan istatistiksel tekniklerin veri toplamak, analiz etmek, yorumlamak ve çözümler getirmek amacıyla kalite problemlerine uygulanması olarak tarif edilir (Güneş, 1999). İstatistiksel süreç kontrol, yüzde yüz ürün muayenesi yerine, süreci kontrol etmek amacıyla ortaya çıkmıştır. Süreç ile üretilen ürün arasında bir sebep-sonuç ilişkisi vardır. Eğer tüm süreç değişkenleri kontrol altına alınırsa ürünün özellikleri de kontrol altına alınabilir (Bayraktar, 2007). İstatistiksel süreç kontrol uygulamalarında süreç sürekli gözlemlenerek problemler ve sebepleri saptanır, çözüm yolları aranır, geliştirilen çözümler uygulanır ve süreç tekrar izlenir. Bu döngü sonsuzdur ve bu sayede sürecin sürekli olarak iyileştirilmesi sağlanır (Elevli ve Behdioğlu, 2006).

İlgili bilimsel yazına bakıldığında asfalt üretimi (Liu ve diğ., 2022), müşteri şikayetleri (Kim ve Lim 2021), döküm sanayinde süreç kontrolü (Orçanlı, 2021), ekmek üretimi (Akyurt, 2020), oyun hamuru üretimi (Güleryüz, 2020), proje yönetimi (Arab Momeni ve diğ., 2019), farmasötik ürünlerin incelemesi (Törres ve diğ., 2018), hata tespiti (Sanchez ve diğ., 2018) ve lastik üretim süreci (Barbosa ve diğ., 2017) gibi farklı alanlarda istatistiksel süreç kontrol tekniklerinin başarılı uygulamalarına rastlanabilir.

Bu çalışma kapsamında, istatistiksel süreç tekniklerinin üstünlükleri ve farklı sektörlerde yukarıda da belirtilen uygulama başarıları göz önüne alınarak iletken endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmada kalite iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmaya konu olan bir müşteri özelinde üretilen üründe direnç karakteristiğinin istenilen özellikte olmadığı yapılan analizler ile tespit edilmiştir. Bunun sonucunda hurda oranının arttığı ve müşteri memnuniyetsizliğinin olduğu belirtilmiştir. Gözlenen bu sorunu ortadan kaldırmak adına, direnç karakteristiği ile ilişkili olan değişkenler üzerine odaklanılmış, temel istatistiksel süreç teknikleri, tek ve çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak müşteri isteğine uygun süreç tasarlanması için iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur. Bu önerilerde bulunurken müşteri isteği doğrultusunda süreç yeterlilik endeksi dikkate alınarak endeks değerinin müşteri isteğinin talep ettiği değere yakın olması için çalışmalar yürütülmüştür.

Süreç yeterlilik endeksi olan C_{pk} endeksi (Oakland, 1992), bir sürecin yeterliliğinin hesaplanmasında kullanılan bir ölçüttür (Kane, 1989). Bilimsel yazına bakıldığında C_{pk} endeks değerini dikkate alarak iletken endüstrisinde süreç yeterliliğini inceleyen çalışma sayısının oldukça az olduğu görülmüştür. Şahin (2013) yılında yaptığı çalışmada, tekstil sektöründe süreç yeterlilikleri üzerine bir uygulama yaparak süreç yeterlilik endeks değerlerini belirli zamanlarda hesaplayarak bir sürecin kontrol altında tutulabileceğini göstermiştir. Tekstil sektöründe yapılan ve yukarıda bahsedilen çalışmadan hareketle, bu çalışmanın özgün değeri, iletken üretim sürecinde müşteri talepleri doğrultusunda ürün oluşturabilme yeteneğini sürekli olarak inceleme adına süreç yeterlilik endekslerinden ve çoklu regresyon analizinden yararlanarak kısa vadede istenilen yeterlilik endeks değerine ulaşmak için çözüm yöntemleri sunabilmektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde uygulanan yöntemler kısaca tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde uygulamanın ayrıntılarına yer verilmiş ve elde edilen bulgular ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Son bölümde ise çalışma özetlenmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara değinilmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Temel İstatistiksel Süreç Teknikleri

İstatistiksel süreç kontrolünde, kullanılan teknikler “Yedi Kalite Aracı” olarak bilinir. Bu yedi temel teknik, “Ishikawa’nın Yedi Temel Aracı olarak adlandırılır ve sınıflandırma, çetele, histogram, pareto analizi, sebep-sonuç diyagramı (balık kılıcı), serpilme diyagramları ve kontrol grafikleri şeklinde sıralanabilir (Kaya ve Ağa, 2011).

2.1.1. Kontrol Grafikleri

Kontrol grafikleri W. A. Shewhart tarafından Western Electric yöneticilerine süreçteki değişkenliği anlatmak amacıyla geliştirilen grafiklerdir. Bu yüzden bu grafiklere Shewhart Grafiği de denilmektedir (Ryan ve Joiner, 1994). Kontrol grafikleri, bir sürecin kontrol dışına çıkıp çıkmadığını saptar. Sürecin doğal çeşitliliğinden kaynaklanan bilinen ve özel sebeplerini birbirinden ayırmayı sağlar. Bunu yaparken de sürecin kendi kontrol limitlerini kullanır (Does ve diğ., 1997). Kontrol grafikleri süreç geliştirmek, belirlenebilir sebepleri yok etmek, süreç değişkenliği azaltmak ve süreç performansını stabil durumda tutmak için önemli bir araçtır (Montgomery, 2009).

Süreçler, malzemeler, çevre şartları, operatör ve muayene üretilen ürünlerde değişkenliğe yol açan sebepler olarak sıralanabilir. Üretim sürecindeki değişkenlik bahsedilen sebeplere bağlı olarak tesadüfi nedenler (doğal nedenler) ve özel nedenler olarak ikiye ayrılır. Bir sürecin doğasında bulunan, nedeni tespit edilemeyen kaynakların sebep olduğu değişkenlik tesadüfi (doğal) nedenler olarak ifade edilir. Bu doğal nedenlerin tek bir tanesi değişikliğe sebep olmaz ama farklı kombinasyonlarda bir araya geldiğinde belirgin bir değişikliğe sebep olabilir. Genel olarak bu nedenler kaçınılmaz kabul edilmektedir ve özel nedenlere odaklanılmaktadır. Özel nedenlerden kaynaklanan değişkenlikler bir süreçte büyük sapmalara ve aksamalara sebep olabilir. Bu değişkenliklerin sebebi makinede meydana gelen bir problem, malzeme değişikliği veya operatör olabilir. Bu değişkenliklerin sebebi araştırılarak aksiyon alınıp ortadan kaldırıldığında sadece tesadüfi nedenlerden kaynaklanan değişkenlikler sistemde yer alır (Samuel ve Norman, 1993). Kontrol limitlerinin dışında bulunan noktalar özel neden olarak tanımlanır. Bu özel nedenler için önlem alınmazsa uygun olmayan ürünler üretileceğinin habercisidir. Bu durumlara kontrol dışı durumlar denir. Kontrol grafikleri, sürecin zaman içinde Üst Kontrol Limiti (ÜKL) ve Alt Kontrol Limiti (AKL) içerisinde dağılımlarını göstermektedir. Kontrol grafikleri sayesinde süreç gözlemlenir, sürecin geleceği hakkında bilgi sahibi olunur, özel ve doğal nedenler tespit edilmiş olur ve sürecin kapasitesi belirlenmiş olur (Akın, 1996).

2.1.2. Tekil Ölçümler için Kontrol Grafikleri (I-MR Kontrol Grafikleri)

Herhangi bir anda birden fazla sayıda örnek alınamayan kalite karakteristikleri için kullanılır (Montgomery, 2009). Bir kontrol grafiği çizilirken (1)-(6) denklemlerinden yararlanır.

$$M\bar{C}I = \bar{x} \quad (1)$$

$$\bar{ÜKL} = \bar{x} + \frac{3}{d_2} \bar{R}, \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2)$$

$$AKL = \bar{x} - \frac{3}{d_2} \bar{R} \quad (3)$$

$$M\bar{ÇMR} = \bar{R} \quad (4)$$

$$\check{U}KL = D_4 \cdot \bar{R} \quad (5)$$

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

MÇ1 : Merkez çizgisi

MÇ2 : Merkez çizgisi

ÜKL : Üst Kontrol Limiti

AKL : Alt Kontrol Limiti

\bar{X} : Ölçüm değerlerinin ortalaması

\bar{R} : Ölçüm değerlerinin dağılma aralığının ortalaması

d_2, D_3, D_4 : Kontrol Limitleri Katsayıları

Kontrol grafikleri süreçteki değişkenlikleri tespit etmek, değişkenlikleri azaltmak için önemli bir araçtır. Ayrıca sürecin kararlı olup olmadığını tespit etmek amacıyla süreç yeterlilik endeksi hesaplanmalıdır.

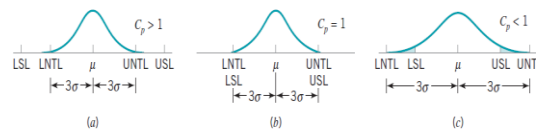
2.1.3. Süreç Yeterlilik Endeksi

Süreç yeterlilik endeksi ile sürecin kararlı olup olmadığı saptanır, kararsız olmasına neden olan kaynaklar araştırılır. Süreci kararlı duruma getirmek için kararsızlığa sebep olan etmenler ortadan kaldırılır ve gerekli önlemler alınır (Gitlow ve diğ., 1989). Sürecin yeterliliğini ölçmek adına üç farklı endeks değerinden söz edilebilir.

• Süreç Potansiyel Endeksi (C_p)

Süreç potansiyel endeksi (C_p), süreç standart sapması ile üst ve alt spesifikasyon limitleri arasında bir ilişki kurularak elde edilir. Bir süreçte, sistemden kaynaklanan değişimlerin olup olmadığını ve sürecin spesifikasyon toleranslarını karşılayıp karşılamadığını analiz etmek için kullanılır. Alt ve üst spesifikasyon limitleri sırasıyla ASL, USL ve standart sapması da σ olarak belirtilen bir sürecin potansiyel endeksi (C_p), (7) numaralı formül ile hesaplanır.

$$C_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma} \quad (7)$$



Şekil 1:

C_p değerlerinin gösterimi (Montgomery, 2009)

- $C_p < 1$ ise yüksek oranda hurdanın olması
- $C_p = 1,00$ ise ürünlerin %0,27'sinin spesifikasyon limitleri dışında kalması
- $C_p = 1,33$ ise ürünlerin %0,0064'ünün spesifikasyon limitleri dışında kalması
- $C_p = 1,67$ ise ürünlerin %0,000057'sinin spesifikasyon limitleri dışında kalması anlamına gelmektedir [33] (Samuel, 1993).

Süreç yeterliliği için $C_p > 1.33$ önerilir. Daha güvenilir sonuçlara ulaşmak için de en az 50 örnek olmalıdır (Samuel ve Norman, 1993).

- **Fiili Yeterlilik Endeksi (C_{pk})**

C_p ile süreç yayılımı, C_{pk} ile ise süreç ortalamasının, hedefe göre konumu belirlenir. Yani C_{pk} endeksi süreç ortalamasının hedef değerden ne kadar uzakta olduğunu belirtir ve (8) numaralı denklem ile hesap edilir (Samuel ve Norman, 1993).

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\mu - ASL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right) \quad (8)$$

- **P_p ve P_{pk} Endeksleri**

P_p ve P_{pk} mevcut sürecin yayılımını ve merkezlenmesini, süreç ortalaması ile hedef değere olan uzaklığının belirtilmesinin sağlar. P_{pk} , ölçümün yapıldığı andaki sürecin yeterliliği ile ilgili bilgi verir ve aşağıdaki (9) ve (10) numaralı denklemler hesap edilir (Samuel ve Norman, 1993).

$$P_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma} \quad (9)$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{\mu - ASL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right) \quad (10)$$

2.1.4. Çoklu Regresyon ve Korelasyon Analizi

Çoklu regresyon analizi, bir bağımlı değişken (Y) ve iki veya daha fazla sayıdaki bağımsız değişkenin (X_i) birbiri ile ilişkili olması durumunda kullanılır. Bu ilişki, b_i , regresyon katsayısını ($i=1,2,\dots,n$) göstermek üzere (11) numaralı eşitlikte verilen bir denklem ile ifade edilebilir (Akın, 1996).

$$Y: (a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_n X_n) + e \quad (11)$$

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve kuvvetini belirlemede yeterli değildir. Değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve kuvvetini belirlemek için korelasyon katsayısı hesaplanmalıdır (Akın, 1996). Değişkenlerin bağımlı ya da bağımsız olması dikkate alınmadan korelasyon katsayısı “ r ” olarak gösterilir. İlişki düzeyi (-1) ve (+1) aralığında değişir. Korelasyon katsayısı eğer pozitif ise değişkenler arasında pozitif yönlü bir ilişki, negatif ise, ters yönlü bir ilişki vardır. Korelasyon katsayısı eşitlik (12)’de verilen formül ile hesaplanır.

$$r_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_x} \right) \left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma_y} \right) \right] \quad (12)$$

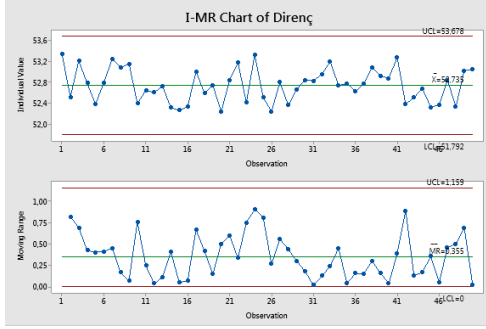
3. UYGULAMA

Çalışmanın yürütüldüğü işletmede, üretim sürecinde girdiden çıktı ürüne kadar her aşamada kalite kontrol süreçleri uygulanmaktadır. Üretilen 8 mm filmaşın, tek tel, çoktelli ve bükülü ürünlerde birçok kalite kontrol testleri yapılmaktadır. Nihai ürün kalitesini belirleyen ve müşterilerin özel isteklerine göre şekillenen en önemli üç ürün karakteristiği direnç, birim ağırlık ve tel çapıdır. Direnç değeri, müşteri talebine bağlı olmakla birlikte standardın belirlediği değer aralıklarında olmalıdır. Direnç değeri tolerans limitleri içerisinde olsa bile alt ve üst limit

değerleri arasındaki salınımı hedef değere yakın olmalıdır. Bu çalışmaya konu olan bir müşteri özelinde üretilen bir üründe direnç karakteristiğinin süreç yeterlilik değerinin birden küçük olduğu yapılan analizler ile tespit edilmiştir. Bu gösterge, hurda oranının artması ve müşteri memnuniyetinin azalması problemi olarak sonuçlanmaktadır. Bu nedenle ele alınan nihai üründe direnç karakteristiğinin süreç yeterlilik değerini 1,33'ün üzerine çıkarmak için direnç karakteristiği ile ilişkili olduğu düşünülen birim ağırlık ve tel çapı karakteristikleri üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında Minitab 16 programından yararlanılmış, tüm deneyler Windows 10 işletim sistemine sahip bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

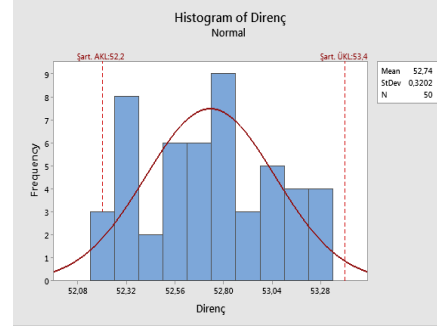
3.1. Mevcut Durum Analizi

Mevcut durum analizinde öncelikle daha önce müşteriye sevk edilen ürünlerin direnç sonuçlarının analizi yapılmıştır. Yapılan analizde ilk olarak kontrol çizelgelerinden yararlanılmıştır. Alt gruplama yapılmadığı için I-MR kontrol çizelgesi çizilmiştir. Şekil 2'de görülen kontrol çizelgesine göre süreç kararlıdır, üst ve alt kontrol limitlerinin dışında olan herhangi bir nokta bulunmamaktadır. Sürece ait histogram grafiği Şekil 3'te gösterilmiştir. I-MR kontrol çizelgesi ve histogram grafiği Minitab 16 programı ile 2.1.2 bölümünde verilen (1)-(6) nolu denklemler doğrultusunda çizilmiştir.



Şekil 2:

Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi

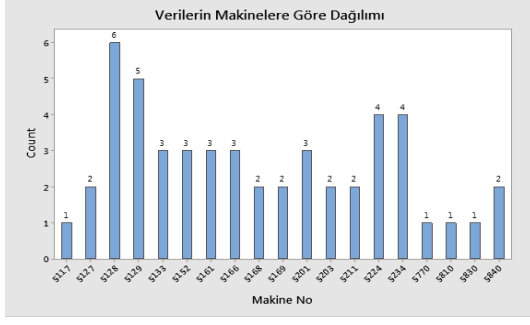


Şekil 3:

Direnç karakteristiği için histogram grafiği

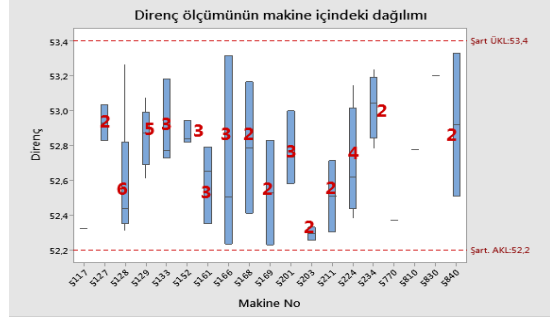
Şekil 3'te verilen direnç karakteristiğine ait histogram grafiğinde üst ve alt limitler arasında genişleyen bir dağılım olduğu görülmektedir. Bu grafikteki verilerin ortalama etrafında daha dar bir alanda dağılım göstermesi beklenirken verilerin daha geniş bir alanda dağılım gösterdiği görülmektedir. Mevcut durumda üretilen bu partilerin hangi makinelerde üretildiği tespit edilmiş (Şekil 4) ve küçük gruplar halinde farklı makinelerde üretim yapıldığı gözlemlenmiştir.

Bir sonraki aşamada, makine içinde ölçüm sonuçlarının nasıl bir dağılım gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 5). Şekil 5'te hangi makinelerde, kaç adet parti üretildiği ve bu üretimlerde direnç değerlerinin nasıl dağıldığı görülmektedir. Şekil 4 ve Şekil 5 birlikte incelendiğinde az sayıda üretim yapılmasına rağmen bazı makinelerde direnç sonuçlarının geniş bir dağılım gösterdiği gözlemlenmektedir. Örneğin 5168 nolu makinede iki parti üretim olmasına rağmen direnç ölçümleri arasında 0,754 ohm /km fark bulunmaktadır. Yani bir partide minimum dirence yakın üretim yapılırken, diğer partide ise maksimum dirence yakın bir üretim yapılmıştır. Bu dağılıma girdi malzeme, operatör, makine, ölçüm belirsizliğinin neden olmuş olabileceği düşünülmüştür. Benzer şekilde, 5129 nolu makine beş adet parti üretimi olmasına rağmen daha dar bir aralıkta üretim yapıldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4:

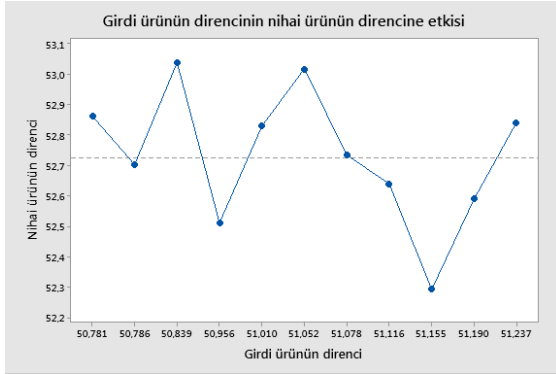
Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı



Şekil 5:

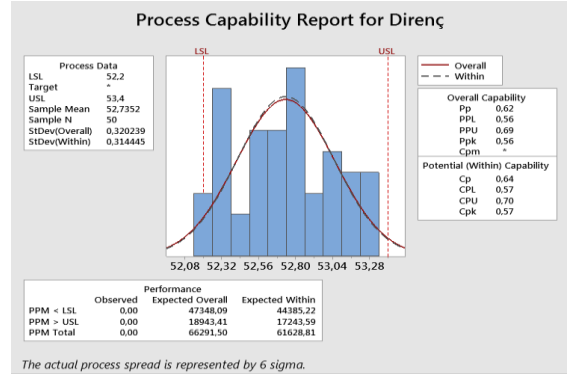
Direnc ölçümünün makine içinde dağılımı

Mevcut durum analizinin bu aşamasında girdi ürün direnci ile nihai ürün direnci arasındaki ilişkiyi görebilmek adına Şekil 6'da gösterilen grafik oluşturulmuştur. Girdi ürünün direnci ile nihai ürünün direnci arasında doğru orantı olduğu gözlenmektedir, yani girdi ürünün direncinin yüksek olması durumunda, nihai üründe de yüksek direnc beklenmektedir. Fakat grafik incelendiğinde, yüksek dirence sahip girdi kullanılarak üretilen nihai üründe, düşük dirence sahip girdi kullanılarak üretilen nihai ürünün direncinden daha düşük direnc ölçümü elde edildiği gözlenmiştir. Bu da nihai ürün direncini sadece girdi ürün direncinin değil bunun dışında birçok farklı parametrenin etkilediğini göstermektedir. Son olarak, bu sevkiyat için süreç yeterlilik endeksi hesaplanarak sürece ilişkin yorumlarda bulunulmuştur.



Şekil 6:

Girdi ürün direncinin nihai ürün direncine etkisi



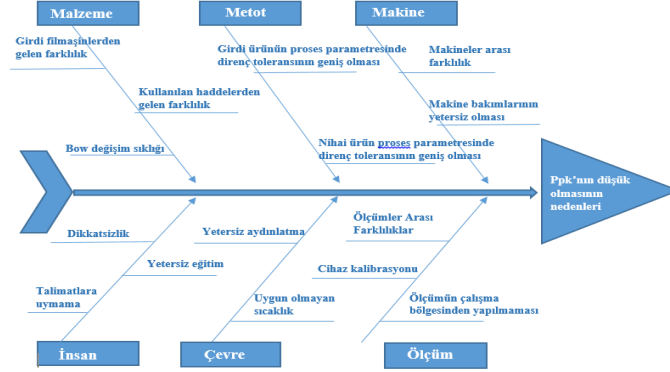
Şekil 7:

Direnc için süreç yeterlilik analizi

Şekil 7'de görüldüğü üzere hesaplanan süreç yeterliliğinin 0,56 olarak elde edilmesi müşteri talebi olan 1,33'ün karşılanmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Bu konuda işletmede, süreç içerisinde yer alan farklı disiplinlerden uzmanlar ile beyin fırtınası yapılarak gözlenen süreç yetersizliğinin nedenleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan görüşmeler sonucu Şekil 8'de gösterilen balık kılçığı diyagramı oluşturulmuştur.

Balık kılçığı diyagramı çalışmasında malzeme, metot, makine, insan, çevre ve ölçüm değişkenlerine bağlı olarak neden olabilecek unsurlar; girdi filmaşından gelen farklılık, kullanılan haddelerden gelen farklılık, bow değişim sıklığı, girdi ürünün proses parametrelerinde direnc toleransının geniş olması, nihai ürünün proses parametrelerinde direnc toleransının geniş olması, makineler arası farklılık, makine bakımlarının yetersiz olması, dikkatsizlik, talimatlara uymama, yetersiz eğitim, yetersiz aydınlatma, uygun olmayan sıcaklık,

ölçümler arası farklılık, cihaz kalibrasyonu ve ölçümün çalışma bölgesinden yapılmaması olarak sıralanabilir.



Şekil 8:
Balık kılıçığı diyagramı

3.2. Süreç İyileştirme Çalışmaları

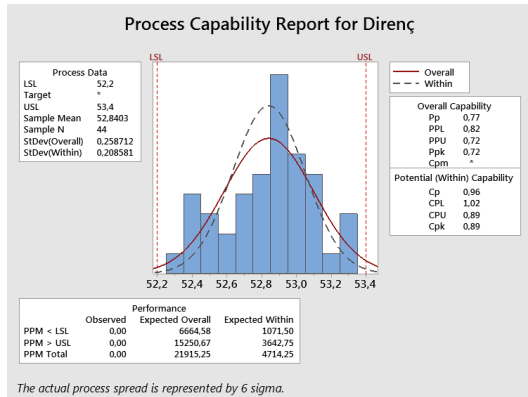
Bir önceki bölümde belirlenen kök nedenlerin etkilerini azaltabilmek için ilerleyen bölümlerde detayları verilen iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Süreç İyileştirme Çalışmaları I

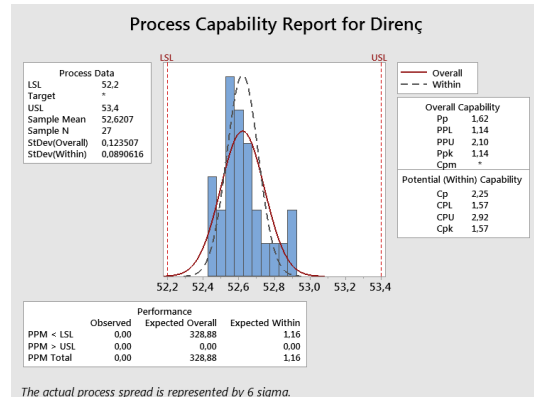
İlk denemede standart üretimine ek olarak aşağıdaki düzenlemeler yapılmıştır.

- Eski nesil makinelerde ve sadece belirlenen altı adet makinede deneme üretimi planlanmıştır.
- Girdi teli direnç toleransı daraltılmıştır.
- Üretim operatörlerine farkındalık eğitimi verilmiştir.

Yapılan tüm bu iyileştirme çalışmaları sonrası mevcut durum analizinde gerçekleştirilen çalışmalar tekrarlanmıştır. Deneme I için direnç karakteristiğinin süreç yeterlilik endeksi hesaplanmıştır.



Şekil 9:
Direnç için süreç yeterlilik analizi
(Deneme I)



Şekil 10:
Direnç için süreç yeterlilik analizi
(Deneme II)

Şekil 9’da görüldüğü üzere süreç yeterliliği 0,72 olarak hesaplanmıştır. İyileştirme öncesine göre süreç yeterlilik endeksinde yükselme olsa da müşteri talebi olan 1,33 halen karşılanamamıştır. İlk denemede yapılan iyileştirmelerle hedeflenen süreç yeterliliği elde edilemediği için ikinci bir deneme planlanmış ve ikinci denemede nihai ürün direnç tolerans değeri daraltılarak rastgele seçilen altı adet makinede üretim yapılmıştır. Ölçümden gelen belirsizliği ortadan kaldırmak adına tek bir cihazda hem yol verme hem de nihai ürün dirençleri kalite kontrol operatörleri tarafından ölçülmüştür (Standart uygulamada yol verme numuneleri üretimi gerçekleştiren operatör tarafından ölçülmektedir). Yapılan tüm bu iyileştirme çalışmaları sonrası mevcut durum analizinde gerçekleştirilen çalışmalar tekrarlanmıştır.

Deneme I’e göre direnç ölçüm sonuçları daha dar bir aralıkta dağıldığı için süreç yeterliliğinde iyileşme beklenmektedir (Şekil 10). Şekil 10’de görüldüğü üzere süreç yeterliliği 1,14 olarak hesaplanmıştır. Deneme I’e göre iyileşme olsa da müşteri talebi olan 1,33 halen karşılanamamıştır.

3.2.2. Süreç İyileştirme Çalışmaları II: Çoklu Regresyon Analizi

Deneme I ve Deneme II’de gözle görülür bir şekilde iyileştirme elde edilmiş olsa da hedeflenen süreç yeterliliğine ulaşılamadığı için çoklu regresyon analizi için çalışmalar başlatılmıştır.

İşletmede her ürün ve makine grubu için üretim parametreleri tanımlıdır. Bu çalışmada girdi malzemenin ölçüm sonuçlarına göre hedeflenen nihai ürünün direncini elde etmek için nihai üretim süreci parametreleri makine özelinde çoklu regresyon analizi yapılarak belirlenmiştir. Yani daha önceden ürün ve makine için sabit olan üretim parametreleri girdi ürünün ölçüm sonuçlarına bağlı olarak anlık oluşturulmaktadır. En çok üretimin yapıldığı dört adet makine seçilmiş ve A ürünün bu makinelerde yapılan tüm üretimleri (37 parti üretimi) ele alınarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Bu regresyon analizinden yararlanarak deney tasarımları gerçekleştirilmiş ve ürün direnci, girdi ürünün özellikleri ile üretim parametreleri arasında ilişki kurulmuştur. Öncelikle, üretimi etkileyen parametreler farklı disiplinlerden uzmanlarla birlikte kalite araçlarından beyin fırtınası yöntemi ile belirlenmiştir. Bu parametreler; girdi ürünün direnci, girdi ürünün birim ağırlığı, girdi ürünün çapı, devir, lay plate hadde arası mesafe, tel gerginliği olarak sıralanabilir. En fazla üretimin yapıldığı makineler 5115, 5118, 5168, 5169 nolu makinelerdir. Bu makinelerden elde edilen üretim verileri kullanılarak çoklu regresyon analizi gerçekleştirilmiştir.

• 5115 nolu Makine İçin Çoklu Regresyon Analizi

Girdi ürünün direnci, girdi ürünün çapı, devir ve tel gerginliği parametrelerinin nihai ürünün direncini etkileyip etkilemediğini görmek için 5115 nolu makinede gerçekleşen üretim verileri kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Hipotez testleri aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(2)}$: Tüketim çapı süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(3)}$: Makine devri süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(4)}$: Tel gerginliği süreç üzerinde etkili değildir.

Ürün direncini etkileyen parametreler için ANOVA tablosu Tablo 1’de sunulmuştur.

Nihai ürün direnci y ile gösterilmek üzere ANOVA tablosuna göre oluşturulan regresyon denklemi (13) nolu eşitlikte verilmiştir.

$$y=15,3+343,4t-0,494x+0,000164p-0,02141z \quad (13)$$

$\alpha=95\%$ anlamlılık seviyesinde $H_{0(1)}$, $H_{0(2)}$, $H_{0(4)}$ hipotezlerinin ret edildiği buna karşın $H_{0(3)}$ hipotezinin ret edilemeyeceği söylenebilir.

Tablo 1. ANOVA tablosu

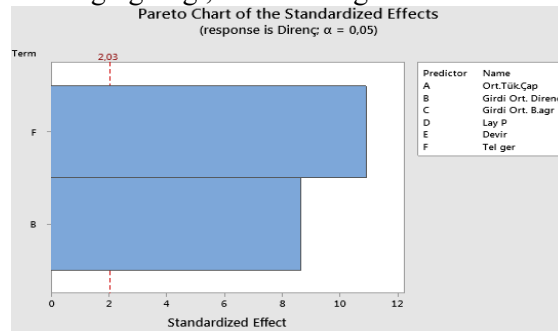
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Regresyon	4	2,10764	0,52691	86,18	0,000
Tüketim Çapı (t)	1	0,07946	0,07946	13,00	0,001
Girdi Direnci (x)	1	0,03995	0,03995	6,53	0,016
Devir (p)	1	0,00426	0,00426	0,70	0,410
Tel gergin. (z)	1	1,04375	1,04375	170,71	0,000
Hata	32	0,19565	0,00611		
Toplam	36	2,30329			

Elde edilen analiz sonucunda tüketim çapı ve devir parametrelerinin ürün direncine etkisi olmadığı görülmüş ve bu parametreler elimine edildikten sonra oluşturulan yeni ANOVA tablosu Tablo 2’de sunulmuştur. ANOVA tablosuna ilişkin R^2 değeri %87,28 bulunmuş ve kurulan R^2 değeri regresyon modelinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 2. ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Regresyon	2	2,02590	1,01295	124,16	0,000
Girdi Direnci	1	0,61109	0,61109	74,90	0,000
Tel gerginliği	1	0,97009	0,97009	118,90	0,000
Hata	34	0,27739	0,00816		
Toplam	36	2,30329			
R^2	87,28 %				

Ürün direncini etkileyen parametrelerin Pareto diyagramı Şekil 11’de sunulmuştur. Şekle göre ürün direncini en fazla tel gerginliği, daha sonra girdi direnci etkilemektedir.



Şekil 11:
Direnci etkileyen parametrelerin Pareto diyagramı

Elde edilen yeni regresyon denklemi ise denklem (14)'te gösterilmiştir.

$$y=110,23-1,075x-0,01940z \quad (14)$$

Birden fazla faktörün etkisini ve bu faktörlerin birbirileri ile olan ilişkilerini inceleyebilmek adına Faktöriyel Deney Tasarımı Yöntemi ile çalışmalara devam edilmiştir. Regresyon analizinden yararlanarak, girdi ürün direnci ve tel gerginliği olmak üzere iki adet faktör bulunduğu için merkez noktalı 22 faktöriyel deney tasarımı oluşturulmuştur. Üç adet merkez noktası tanımlanmış ve deneyler üç tekrarlı olacak şekilde oluşturulmuştur. Her bir faktör için hipotezler aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci süreç üzerinde etkili değildir.

H_{02} : Tel gerginliği süreç üzerinde etkili değildir.

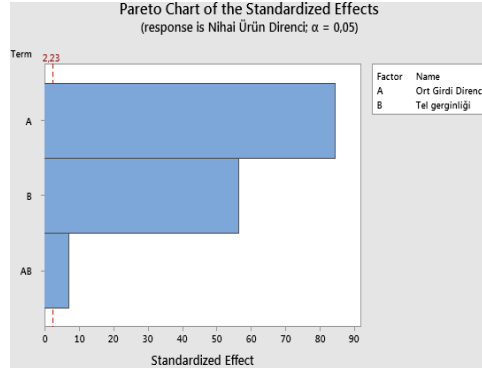
$H_{0(12)}$: Girdi ürünün direnci ve tel gerginliği faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

Belirtilen girdi direnci ve tel gerginliklerine göre kontrollü deneyler gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. 5115 nolu makine için kontrollü deney tasarımı

Parti no	Sıra	Merkez Nok.	Ort Girdi Direnci (ohm/km)	Tel gerginliği (cN)	Gözlenen Direnç Değeri (ohm/km)	Beklenen Direnç Değeri (ohm/km)	Gözlenen ile Beklenen Değerler Arasındaki Fark
13	1	0	51,025	135	52,978	52,976	0,002
14	2	0	51,025	135	52,980	52,976	0,004
1	3	1	50,8	120	52,565	52,561	0,004
5	4	1	50,8	120	52,560	52,561	-0,001
4	5	1	51,25	150	53,212	53,203	0,009
8	6	1	51,25	150	53,200	53,203	-0,003
15	7	0	51,025	135	52,970	52,976	-0,006
6	8	1	51,25	120	52,928	52,913	0,015
11	9	1	50,8	150	52,782	52,785	-0,003
2	10	1	51,25	120	52,901	52,913	-0,012
9	11	1	50,8	120	52,558	52,561	-0,003
10	12	1	51,25	120	52,910	52,913	-0,003
7	13	1	50,8	150	52,789	52,785	0,004
3	14	1	50,8	150	52,785	52,785	0,000
12	15	1	51,25	150	53,196	53,203	-0,007

Ürün direncini etkileyen parametreler için oluşturulan ANOVA tablosu Tablo 4'te gösterilmiştir. ANOVA tablosundan elde edilen R^2 değeri % 99,87 olarak hesaplanmış ve sonuç ile değişkenler arasında yüksek ilişki olabileceği ifade edilmiştir. p değerleri dikkate alınarak 0,95 anlamlılık seviyesinde $H_{0(1)}$, H_{02} ve $H_{0(12)}$ hipotezleri ret edilir. Ürün direncini etkileyen parametrelerin pareto diyagramı Şekil 12'de sunulmuş, ürün direncini en fazla girdi direncinin, daha sonra tel gerginliğinin ve sonra da bunların etkileşiminin etkilediği görülmüştür.



Şekil 12:

Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı

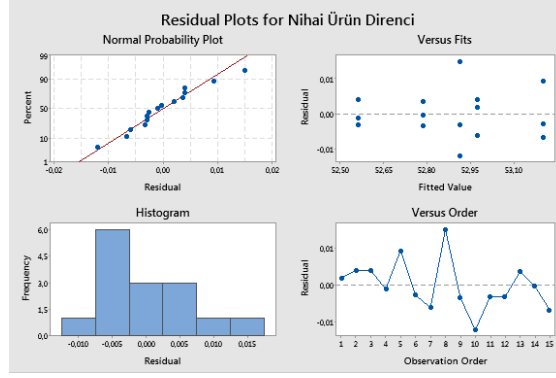
Tablo 4. ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ort.	F- Değeri	p- Değeri
Model	4	0,674558	0,168640	2705,45	0,000
Doğrusal	2	0,642052	0,321026	5150,15	0,000
Girdi Direnci	1	0,443905	0,443905	7121,48	0,000
Tel gerginliği	1	0,198147	0,198147	3178,83	0,000
İkili Etkileşim	1	0,003201	0,003201	51,36	0,000
Girdi Direnci*Tel gerginliği	1	0,003201	0,003201	51,36	0,000
Eğrilik	1	0,029305	0,029305	470,13	0,000
Hata	10	0,000623	0,000062		
Toplam	14	0,675182			
R^2	% 99,87				

c_p merkez noktasını göstermek suretiyle elde edilen yeni regresyon denklemi, eşitlik (15)'de verilmiştir.

$$y=41,43+0,2015x-0,2384z+0,004840xz+0,11050c_p \quad (15)$$

Şekil 13'te teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri sunulmuştur. Grafiklerden farkın normal dağılıma sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 13:

Teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri

Süreç yeterliliğini 1,33'ün üzerine çıkarmak için nominal direnç olan 52,800 ohm/km hedeflenmiştir. Ayrıca, Tablo 5'te belirtilen müşterinin talep ettiği alt ve üst direnç limitleri dikkate alınarak regresyon analizi ile kullanılması gereken girdi direnci ve tel gerginliği hesaplanmıştır.

Tablo 5. Hedef direnç tablosu

Karakteristik	Alt	Hedef	Üst
Nihai Ürün Direnci	52,558	52,8	53,212

Hedef direnç değerine göre kullanılması gereken girdi ürünün direnci ve ayarlanması gereken tel gerginliği ile gözlenen direnç değeri Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Parametre çözüm tablosu

Çözüm	Ort Girdi Direnci (ohm/km)	Tel gerginliği (cN)	Gözlenen Direnç Değeri (ohm/km)
	50,8	150	52,7853

Tablo 6'da belirtilen parametre değerleri ile %95 olasılık dahilinde direnç aralık değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Olası direnç değerleri tablosu

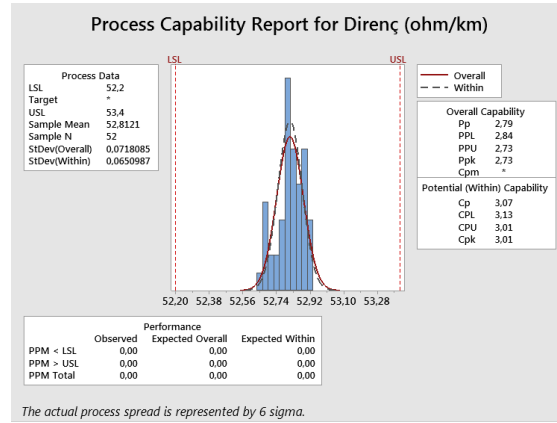
Karakteristik	Beklenen Direnç Değeri	95% Güven Aralığı
Nihai Ürün Direnci	52,7853	(52,7650; 52,8056)

5118, 5168 ve 5169 no'lu makineler için de aynı çalışmalar yapılmış olup, her makine için elde edilen parametre değerleri Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Üretim parametreleri

Makine No	Girdi Direnci (ohm/km)	Lay Plate (mm)	Devir (tpm)	Tel ger (cN)
5115	50,8 (nominal)	130	5100-5500	150
5118	50,8 (nominal)	130	5500	120-130
5168	50,7 (nominal)	130	5500	120
5169	50,7 (nominal)	130	5500	120

Her makinede eşit sayıda üretim planlanmıştır. 5115 nolu makinede diğer makinelere göre direnç ölçümleri arasında maksimum 0,165 ohm/km fark bulunmaktadır. Bu dağılıma girdi malzeme, operatör, makine, ölçüm belirsizliğinin neden olmuş olabileceği düşünülmüştür. 5168 nolu makinede diğer makinelere göre daha dar bir aralıkta direnç ölçüm sonucu elde edildiği gözlenmiştir. Son olarak da sürecin yeterliği hesaplanmıştır.



Şekil 14:

Direnç için süreç yeterlilik analizi

Yukarıda görüldüğü üzere süreç yeterliliği 2,73 olarak hesaplanmış ve müşteri talebi olan 1,33 karşılanmıştır. Tüm bu deneme çalışmalarından elde edilen süreç yeterlilik değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Karşılaştırma

Durum	İyileştirme öncesi	İyileştirme sonrası			Hedef
		Deneme I	Deneme II	Çoklu Regresyon Analizi sonrası	
Süreç Yeterliliği	0,56	0,72	1,14	2,73	≥1,33

Tablo 9’den da görüldüğü üzere yapılan iyileştirme çalışmaları ile 0,56 olan süreç yeterlik değeri, çoklu regresyon analizi çalışması sonrasında 2,73’e yükselttilerek müşteri isteklerini karşılayacak duruma getirilmiştir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma kapsamında iletken endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletmede, süreç yeterliliğini artırmak amacıyla, istatistiksel süreç kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle

mevcut durum analizi için balık kılıcı diyagramları, kontrol çizelgeleri, histogram, pareto, korelasyon eğrisi kullanılarak süreç yeterliliği hesaplanmıştır. Yapılan mevcut durum analizinde, bir ürünün direnç karakteristiğine ait süreç yeterliliği 1,33'ten düşük olmasına sebep olabilecek kök nedenler, makineler arası nesil farklılığı, bir siparişte planlanan makine adedinin fazla olması, girdi direnç toleransının geniş olması, nihai ürün direnç toleransının geniş olması, ölçüm belirsizliği, üretim ve kalite operatöründen kaynaklanan değişkenlik, numunenin çalışma bölgesinden alınmaması olarak belirlenmiş ve bu kök nedenlerin etkilerini azaltmak için iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

İlk denemede, eski nesil makinelerde ve sadece belirlenen altı adet makinede deneme üretimi planlanmış, girdi teli direnç toleransı daraltılmış ve üretim operatörlerine farkındalık eğitimi verilmiştir. Alınan bu aksiyonlar neticesinde 0,56 olan süreç yeterlilik değeri 0,72 değerine yükselmiştir. İlk denemede yapılan iyileştirmelerle hedeflenen süreç yeterliliği elde edilemediği için ikinci denemeye geçilmesine karar verilmiştir. Bu denemede nihai ürün direnç toleransı daraltılmış, altı adet seçilmiş makinede üretim planlanmış ve ölçümden gelen belirsizliği ortadan kaldırmak adına tek bir cihazda hem yol verme hem de nihai ürün dirençleri kalite kontrol operatörleri tarafından ölçülmüştür. Alınan bu aksiyonlar neticesinde 0,72 olan süreç yeterlilik değeri 1,14 değerine yükselmiştir. Yapılan iki deneme sonucunda süreç yeterlilik değeri 1,14 değerine yükselmiş olsa da müşteri beklentisi olan 1,33 değeri yakalanamamıştır. Süreç yeterlilik değerini 1,33'ün üzerine çıkarmak amacıyla bu ürün için en fazla üretim yapılan dört adet makine belirlenmiş ve çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizinde devir, tel gerginliği ve girdi ürünün direncinin en etkili değişkenler olduğu görülmüştür. Bu değişkenlerin etkilerini gözlemlemek amacıyla dört farklı makinede deneysel tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları analiz edilerek, bu ürünün direnç değeri için devir, gerginlik ve girdi ürünün direncine bağlı bir denklem elde edilmiştir. Bu denkleme bağlı olarak, bu ürünlerin direnç ölçüm sonuçlarının daha dar bir aralıkta salınım göstermesi için girdi ürünün direncine göre anlık devir ve gerginlik parametre değerleri yaratılarak üretimler yapılmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak gerçekleştirilen üretimler sonucunda süreç yeterlilik değeri 2,73 olarak başarı ile elde edilmiş ve hedeflenen müşteri isteğine ulaşılmıştır.

Bu çalışma, istatistiksel süreç kontrol tekniklerinin endüstriyel uygulamalarda kullanımı ile müşteri tarafından talep edilen süreç yeterliliğine ulaşmanın kısa vadede mümkün olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu sayede iş gücü, zaman, kaynak kullanımların etkin kullanımı söz konusu olabilmektedir. Ancak, süreç iyileştirme çalışmalarında sadece yeterlilik endeksinin uzun vadede yanıtıcı olabileceği düşünülmekte bu sebeple uzun vadede süreç yeterlilik endeks değerleri ile süreç performansı için diğer göstergelerin de dikkate alınarak süreç iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

İrem MERAN AKYÜZ, çalışmanın fikrinin oluşması, bilimsel yazın araştırması, verilerin toplanması, deneylerin yapılması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, makalenin yazımı, son onay ve tam sorumluluk kısımlarına, Hacer GÜNER GÖREN, yazın denetimi ve makalenin içerik açısından kontrol edilmesi, makalenin yazımı, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, son onay ve tam sorumluluk kısımlarına katkı sağlamıştır.

Teşekkür

Bu makale İrem MERAN AKYÜZ'ün Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir. Uygulamanın yapıldığı işletme çalışanlarına veri paylaşımı ve yardımlarından dolayı çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Akın B. (1996) *İşletmelerde İPK Teknikleri*, Bilim Teknik Yayınları, İstanbul.
2. Akyurt, İ.Z (2020) Gıda Sektöründe İstatistiksel Proses Kontrolü: Endüstriyel Ekmek Üretim Tesisi Uygulaması, *Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (1), 235-257. doi: 10.181185/erzifed.605670.
3. Arab Momeni, M., Yaghoubi, S., & Reza Mohammad Aliha, M. (2019) An optimal control model for analyzing quality investment in the project management. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 529–544. doi: 10.1016/j.cie.2019.02.007.
4. Bayraktar E. (2007) *Üretim ve Hizmet Süreçlerinin Yönetimi*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
5. Barbosa, B., Pereiraa, M., T., Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G. (2017) Solving Quality Problems in Tyre Production Preparation Process: A Practical Approach, *Procedia Manufacturing*, 11, 1239 – 1246. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.250.
6. Does, R., J., M., M., Schippers, W., A., J., Trip, A., (1997) A Framework For Implementation Of Statistical Process Control, *International Journal Of Quality Service*, 2 (3), 181-198, doi: 10.1108/13598539710170821.
7. Elevli, S.ve Behdioğlu, S. (2006) İstatistiksel Proses Kontrolü Teknikleri ile Kömür Kalitesindeki Değişkenliğin Belirlenmesi, *Madencilik*, 45 (3), 19-26.
8. Gitlow, H., Gitlow S., Oppenheim A., Oppenheim R. (1989) *Tools and Methods for the Improvement of Quality*, Irwin Homewood, IL, U.S.A.
9. Güleriyüz, D. (2020). Dinamik Kalite Kontrol Yaklaşımı ile İstatistiksel Süreç İzleme ve Ayarlama, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
10. Güneş, M., Rıza, A., Firuzan E. (1999). *Stok Kontrolü ve Toplam Kalite Yönetimi*, Barış Yayınları, İzmir.
11. Liu,Z., Wang, S., Gu, X., Li, Z., Dong Q., Cui,B. (2022) Application of a novel EWMA- ϕ chart on quality control in asphalt mixtures production, *Construction and Building Materials*, 323, 126264. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021. 126264.
12. Kane Victor E. (1989) *Defect Prevention-Use of Simple Statistical Tools*, Marcel Dekker Inc., New York.
13. Kaya İ., Ağa A. (2011) Kalite İyileştirme Sürecinin Yedi Temel Aracı ve Motor-Traktör İmalatı Yapan Bir İşletmede Uygulanması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11, 447-468.
14. Kim, J., Lim, C. (2021) Customer complaints monitoring with customer review data analytics: An integrated method of sentiment and statistical process control analyses, *Advanced Engineering Informatics*, 49, 101304. doi:10.1016/j.aei.2021.10130.

15. Montgomery, D.C. (2009) *Introduction to Statistical Quality Control*, Sixth Edition. John Wiley & Sons, Inc., Amerika.
16. Oakland J.S. (1992) *Statistical Process Control*, Elsevier, MA, Amerika.
17. Orçanlı, K. (2021). Döküm Sanayinde Süreç Tabanlı Temel Gösterimleri ile İstatistiksel Süreç Kontrolü, *Journal of Engineering and Science*, 9 (1), 134 – 158. doi: 10.21541/apjes.720051.
18. Ryan, B.F., Joiner, B.L. (1994) *Minitab Handbook*, Third Edition, Duxbury Pres, İngiltere.
19. Samuel I., Norman L. (1993) *Process Capability Indices*, Chapman and Hall, İngiltere.
20. Sanchez, A.F., Baldan, F.J., Sainz-Palmero, G.I., Benítez, J.M., Fuente, M.J. (2018) Fault Detection Based on Time Series Modeling and Multivariate Statistical Process Control, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 182, 57–69. doi: 10.1016/j.chemolab.2018.08.003.
21. Şahin, O. (2013) İstatistiksel Proses Kontrolünde Yeterlilik Analizi ve Tekstil Sektöründe Uygulama, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27 (2), 253-271.
22. Tôrres, A. R., de Oliveira, A. D. P., Grangeiro, S., & Fragoso, W. D. (2018) Multivariate statistical process control in annual pharmaceutical product review, *Journal of Process Control*, 69, 97–102. doi:10.1016/j.jprocont.2018.06.001.

