



Araştırma Makalesi Research Article

Yalın Altı Sigma ve Endüstri 4.0 Entegrasyonu ile Kalite İyileştirme Vaka Çalışması

A Process Quality Improvement Case Study By Lean Six Sigma and Industry 4.0 Integration

Lütfi Apilioğulları^{a,*}

^aDr. Öğr. Üyesi, Fenerbahçe Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34000, İstanbul/Türkiye.

ORCID: 0000-0003-3389-9094

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 31 Ekim 2019
Düzeltilme tarihi: 01 Mayıs 2020
Kabul tarihi: 09 Mayıs 2019

Anahtar Kelimeler:

Endüstri 4.0
Yalın Altı Sigma
Alüminyum Profil Üretimi

ÖZ

Üretim endüstrisinde işletmeler problem çözme ya da süreç iyileştirme çalışmalarında sahadan toplanan verileri istatistiksel araç ve yazılımlar üzerinde kullanarak süreci modellemeye; model üzerinden de sürecin nasıl davranış göstereceğini anlamaya çalışırlar. Bu süreç içinde işletmeleri zorlayan ve süreç iyileştirme çalışmalarında istedikleri sonucu alabilmelerini engelleyen konuların başında sürecin doğru modellenebilmesi için gerekli olan verinin yeterince, zamanında ve güvenilir olarak sahadan toplanamaması gibi sorunlar gelmektedir. Veri toplama işleminin insana endeksli ve maliyetli olması nedeni ile örnekleme yöntemleri tercih edilmekte; örnekleme süreci modelin tam olarak kurgulanamamasına neden olabilmekte, modelin analizi için insan emeğine gereksinim olduğundan süreç analizlerinin yorumlanması zaman almaktadır. Ancak, günümüz rekabet koşullarında işletmelerin varlıklarını devam ettirebilmeleri için eskiye oranla daha verimli olmaları; verimli olabilmek içinde süreçlerinde kararlılığı sağlamaları gereklidir. Bu çalışmada, Alüminyum sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın yüksek fire veren bir süreci yalın altı sigma bakış açısı ile irdelenmiş; süreç kararlılığının sağlanabilmesi için Endüstri 4.0 teknolojilerinin bir kısmından faydalanılarak çözüm yolları geliştirilmiş, denenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 31 October 2020
Received in revised form 01 May 2020
Accepted 09 May 2020

Keywords:

Industry 4.0
Lean Six Sigma
Aluminium Profile Manufacturing

ABSTRACT

In the process of problem-solving manufacturing companies try to model the process on statistical tools and software by using data collected from the shop floor, and to understand how the process will behave through the model. One of the issues that compel manufacturers and prevent them from getting the results they want in process improvement works is the inability to collect enough, timely and reliable data for modeling from the field. In many enterprises, sampling methods are preferred in data collection because the data collection process is human-dependent and costly. However, due to the data obtained by sampling method it is not always possible to establish an accurate model, and because the analysis of the model is dependent on human labor, the interpretation of process analyses can take a long time. In today's conditions, where the variability is so high, it seems unlikely that process stability can be achieved without technology. In this study, a high-waste process of a company operating in the aluminum sector was examined with a Lean Six sigma perspective; solutions were developed, tried and results were evaluated by using some of the Industry 4.0 technologies to ensure process stability.

1. Giriş

Günümüz işletmelerinin en temel sorunlarının başında, süreçlerdeki kayıplar sonucu oluşan verimsizlik, pazardaki belirsizlik nedeniyle elde edilemeyen hız, süreçlerdeki değişkenlik sonucunda ortaya çıkan kalitesizlik problemleri

gelmektedir (Apilioğulları, 2018). Bu unsurlar: kayıplar, belirsizlik ve değişkenlik ortadan kaldırılmadan, sürdürülebilir başarının sağlanabilmesinin oldukça güç olduğu (Apilioğulları, 2010); kayıplara karşı mücadele edebilmek için 'yalın', belirsizliği yönetebilmek için 'çevik', değişkenliği azaltabilmek için de 'PPS/Altı Sigma'

*Sorumlu yazar/Corresponding author
e-posta: lutfi.apiliogullari@leanofis.com

gibi problem çözme metodolojilerinin çok iyi biliniyor (Yusuf & Gunesekekan, 2004), ve uygulanıyor olunması rekabet avantajı sağladığı Levi (2019), Jacobs (2012) gibi birçok araştırmacı tarafından savunulmaktadır. Öte yandan bu kuramların üstüne teknolojinin bindirilmesi, işletmelerin süreçlerini daha kolay/hızlı ve doğru kurgulayabilmeleri açısından oldukça geniş imkanlar sunmaktadır (Dopico, vd, 2016 & Vermesan, 2015), Bugün birçok işletme; ürün geliştirme, üretim yönetimi, bakım ve lojistik yönetimi gibi konularda Endüstri 4.0 uygulamalarından faydalanarak süreçlerini daha kararlı hale getirmekte ve rekabet avantajı elde etmektedir (Bilgiç, Türkmenoğlu & Bozoğlu Batı,2019)

Problem çözme ve süreç iyileştirme çalışmalarında istatistik biliminin oldukça önemi vardır (Montgomery, 2013). Süreç davranışının modellenmesi, gelecek durumun tahminlenebilmesi ya da girdi parametrelerinin etki analizlerinin yapılabilmesi gibi konularda istatistik biliminin birçok aracından faydalanılır. Bunun temel nedeni değişkenlik kavramı sadece istatistiksel terimler ile tanımlanabilir olmasıdır (Montgomery, 2013).

İstatistiksel proses kontrol uygulamalarında süreç karakteristiğini anlayabilmek için çıktılar üzerinden örnekler alınır ve örnekler üzerinden yapılan modellemeye göre gerçek popülasyon üzerinde bir yargıya varılmaya çalışılır.

Örnek sayısı sürecin doğru modellenebilmesi açısından son derece önemlidir. Çünkü, istatistiksel yaklaşımda örnek sayısının artması ve örneklerin doğru ölçülmesi, modelin güvenilir olabilmesinin en önemli ön koşuludur (Montgomery, 2013 & Apilioğulları, 2018).Eskiden oldukça maliyetli olduğu için süreç üzerinden kısıtlı sayıda örnek veri alınabilir, alınan verilerin güvenilirlik katsayısını artırmak için MSA (Mesaurement System Analysis) yöntemleriyle ölçüm güvenirliliği sağlanmaya çalışılır, alınan ölçüm sonuçları uzmanlar ve özel yazımlar tarafından analiz edilerek süreç modellenmesi yapılmaya çalışılırdı (Montgomery, 2013). Altı Sigma yaklaşımındaki ölç (Measure) ve analiz (Analyze) süreçleri bu kapsama girmektedir (Apilioğulları, 2018).

Ancak, süreç üzerinden sürekli, güvenilir ve gerçek zamanlı veri alınabilmesi 4.0 teknolojileri sayesinde son derece kolay bir hale getirmiştir (Khan & Turowski, 2016), Sensörler ile örnek sayısında kısıtlamaya gidilmeden, sınırsız sayıda, güvenilir ve gerçek zamanlı veri alınabilmekte (Darmois, E., vd, 2015), bu sayede elde edilen örnek veri setleri ile süreçler eskiye göre daha güvenilir bir şekilde modellenebilmekte, sürecin gelecekte nasıl bir davranış gösterebileceği daha doğru bir şekilde tahminlenebilmektedir.

Problem çözme sürecinde, sürecin matematiksel modellenmesini yapabilmek için birçok yöntem kullanılır. Ölçme aşamasında elde edilen veri setleri kontrol grafikleri, regresyon, korelasyon analizleri, faktör testleri gibi metotlar kullanılarak süreç modellenir; modelleme üzerinden gelecek durum hakkında öngörüle bulunmaya

çalışılır. Bu yöntemleri kullanabilmek için uzmanlardan ve SPC/Minitab gibi özel yazılımlardan faydalanılır (Montgomery, 2013).

Daha önceleri sadece özel yazılımlar (matlab, minitab, spc) ve uzmanlar üzerinden yapılabilen analizler artık IoT ekipmanlar üzerindeki gömülü yazılımlar (embedded software) üzerinden, buluta çıkmaya gerek kalmaksızın lokal olarak (fog computing) yapılabilmektedir (Schuh, vd.,2017 & Black & White Paper, 2017,). Bu sayede eskiye oranla daha hızlı karar alınabilmesi mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada Alüminyum sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın, yüksek fire problemi yalın altı sigma bakış açısı ile irdelenmiş, Endüstri 4.0 teknolojilerinin bir kısmının uygulanması ile çözüm yolları geliştirilmiş, denenmiştir. Yalın/Altı Sigma ve Teknolojinin birlikte süreç verimliliğine nasıl katkı yaptığı, gerçek uygulama üzerinden test edilmiştir.

2. Uygulanan Metod

Bu çalışmada Toyota tarafından geliştirilen PPS (Practical Problem Solving) metodu ve Altı Sigma / Kontrol grafikleri metodolojilerinden faydalanılmıştır.

2.1. Pratik Problem Çözme Tekniği

Pratik Problem Çözme (PPS) tekniği sekiz adımdan oluşan ve özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan oldukça yaygın bir problem çözme aracıdır (Apilioğulları, 2018).



Şekil 1: Pratik Problem Çözme Tekniği Adımları

1.Tanımla: Her problem çözme metodolojisinde önemli olduğu gibi PPS sürecinde de en öncelikli olarak problemin tam olarak ne olduğu, müşteri açısından hangi kalite kriterlerinin, ne boyutta sürece etki ettiğinin anlaşılması çok önemlidir. Bu aşamada problemin net tanımı yapılır.

2.Problemin kırılımının yapılması: Problemlerin hepsi bir anda çözülemez. Tek tek ele alınarak irdelenmesi hem

odaklanma hem de zaman açısından daha sağlıklıdır. Pareto ya da yaygın adıyla 80/20 kuralı, problemlere en çok hangi faktörlerin etki ettiğinin anlaşılması ve çözüme nereden başlanılacağını tespit etmek amacıyla hemen her problem çözüme metodolojisinde kullanılan basit ancak oldukça etkin bir analiz aracıdır (Stratton & Warburton, 2003). Pareto prensibine göre problemlerin %80'i, sebeplerin %20'sinden kaynaklanır. Dolayısıyla %20 sebepleri ortadan kaldırmak – problemlerin %80'ini elimine edebilmek demektir.

3.Hedeflerin verilmesi: Hedef olmadan ne derece başarılı olunduğu anlaşılabilir. Bu bağlamda hedefler kademeli olarak zaman bazında belirlenir. Hedef verme sürecinde tam analitik bir yaklaşım henüz mevcut olmasa da basit bir yaklaşım olan kötüyü yarıya indir/iyiyi iki kat iyileştir yaklaşımı kullanılabilir (halve the bad, double the good) (Apilioğulları, 2018). Yani %20 hata oranını önce %10'a, sonra %5'e ve daha sonra da %2,5 hata hedefleri koyarak indirmeye çalışmak makul olabilir.

4.Kök nedenleri araştır: Problem iyice anlaşıldıktan sonra probleme etki eden nedenlerin araştırılması gerekir. Bunun için 5 Neden (5W) analizi gibi basit araçlardan faydalanılır. 5 Neden analizi problemin kök nedenini ardışık “Neden” soruları ile tespit edilebilmesine yarayan, son derece basit ancak etkin bir problem çözüme aracıdır (Stratton & Warburton, 2003).

5.Karşı önlemlerin geliştirilmesi: Problemin kök nedenler bulunduğundan sonra bu nedenleri elimine edecek karşı önlemler geliştirilir. Karşı önlem geliştirilmesi sürecinde her tür tedbir/aksiyon tartışılır. Ancak her aksiyonun yapılabilmesi hem maliyet hem de zaman açısından mümkün olmayabilir. Bu aşamada sorgulanması gereken konu her aksiyonun gerçekten yapılıp/yapılamayacağı ve eğer yapılacak ise hangi sıra, zaman zarfında ve kim tarafında yapılacağıdır.

RPN (Risk Priority Number) değerlendirmesi karşı önlemleri / tedbirleri “A: Etki derecesi, B: Maliyet ve C: Uygulanabilirlik” açısından irdelemek üzerine kurulu bir yaklaşımdır (Montgomery, 2013). Etki derecesi analizinde, alınması planlanan aksiyonun problemin çözümüne ne derece katkı sağlayacağı irdelenir ve puanlama yapılır. Etkinin en az olması “1”, en çok olması “10” olacak şekilde 1-10 arasındaki değerler kullanılarak puanlama yapılır. Aynı şekilde Maliyetin ucuz olması 10 – pahalı olması 1 ve Uygulanabilirlik açısından da uygulanamaz 1; uygulanabilir 10 puan alçak şekilde aksiyonlar değerlendirilerek A, B ve C puanları hesaplanır. Aksiyonun risk öncelik puanı $RPN = A \times B \times C$ formülünden hesaplanır (Montgomery, 2013).En yüksek puan birinci öncelik, en az puan son öncelik olacak şekilde aksiyonlar yukarıdan aşağıya doğru sıralanır. Bu aşamaya kadar yapılan adımlar genel olarak Planlama Evresi olarak adlandırılır.

6.Uygulama: Alınan aksiyonların sahada denemesi sürecidir.

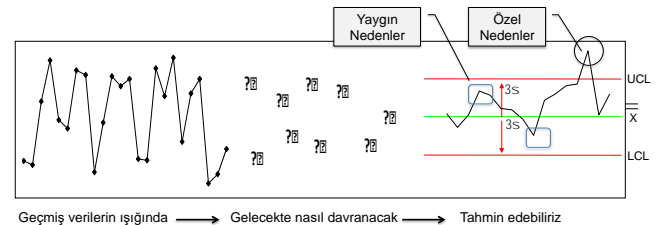
7.Kontrol: Bu aşamada uygulanan aksiyonların sürece ne derece etki ettiği değerlendirilir. Eğer sonuçlar istenileni vermiyorsa önce bir geri sürece dönülerek yeni karşı önlemler geliştirilir ve aynı yöntemler ile önceliklendirip uygulaması yapılır. Eğer bu işlemlerde çözüm üretmez ise iki önceki aşamaya geri dönülür ve kök nedenlere bir daha bakılarak süreç tekrar ettirilir. Sonuçların bekleneni vermesi yapılan aksiyonların doğru oluşu anlamını taşır.

8.Standartlaştırma ve yaygınlaştırma: Sonuçların istenilen seviyeye gelmesi durumunda, sürecin bundan sonra nasıl işleyeceği dokümanite edilir ve yeni standart operasyon prosedürü (SOP) hazırlanmalıdır. SOP üzerinden ilgili tüm birimlere eğitimler verilerek ne öğrendik kısmına geçilir ve tüm birimlere yeni prosedür ile ilgili eğitimler verilerek, kazanımların yaygınlaştırılması sağlanır (Apilioğulları, 2018).

2.2. Kontrol Grafiği

İstatistiksel proses kontrolün amacı sürecin kontrol altında/kararlı çıktılar üretip üretmediğinin anlaşılması için iyileştirme fırsatlarının ortaya çıkarılmasını sağlamaktır. Kontrol grafikleri bu amaç ile sürecin nasıl bir davranış gösterdiğini ve gelecekte nasıl davranacağını modelleyebilmek için oldukça yaygın olarak kullanılan bir süreç izleme aracıdır. İlk defa 1924 yılında Shewhart tarafından üretim prosesindeki değişimleri araştırmak ve anlamak amacıyla kullanılmış olup, günümüzde birçok problemin çözüm sürecinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir istatistiksel problem çözüme aracıdır (Montgomery, 2013).

Kontrol grafikleri geçmiş verilerden yola çıkarak, mevcut sistemin üst ve alt sınırlarının belirlenmesi ile sistem çıktılarının ne zaman kontrol dışına çıktığının tespit edilmesine olanak sağlar. Kontrol grafikleri üç temel bileşeni vardır. Ortalama \bar{X} , Üst Kontrol Limiti (UCL) ve Alt Kontrol limiti (LCL). Bu bileşenler kullanılarak, sürecin nasıl bir davranış gösterdiği ve gelecekte nasıl davranacağı tahmin edilmeye çalışılır (Montgomery, 2013).



Şekil 2: Kontrol Grafiği

Kontrol grafikleri normal dağılım prensipleri doğrultusunda yorumlanır (Montgomery, 2013). Normal dağılım özelliği gereği hiçbir nokta kontrol limitlerinin dışında olmamalıdır. Ancak tüm noktaların kontrol limitleri içinde olması her zaman sürecin istatistiksel olarak kararlı davrandığı anlamına gelmez. İstatistiksel olarak sürecin kontrol altında olması ortalama ve varyansının, zaman içinde çok

salınımın yapmadan, sabite yakın bir değer olması demektir. Normal dağılımın simetri özelliği gereği grafikte gösterilen noktaların sayısı, merkezin üst ve altı için hemen hemen aynı olmalıdır.

Ampirik kural çerçevesinde grafikte gösterilen noktaların ortalama %68 si $\pm 1 \sigma$ aralığında olması beklenir. Ölçüm noktalarının genelde merkeze yakın, çok az bir kısmının kontrol limitlerine yakın olmalıdır (Montgomery, 2013). Kontrol grafikleri ölçüm yapılacak değişkenin / verinin karakteristiğine göre farklı modeller olabilir. Değişkenler genel olarak iki ana kategoriye ayrılırlar.

- Sürekli değişken (variables data): Ağırlık, uzunluk, sıcaklık gibi ölçüm sonucunun sürekli olarak değişebileceği, sayısal olarak ifade edilebilen değişkenlerdir. Örneğin prosesten çıkan bir parçanın boyu 12.656, 12.675, 12.455 mm gibi farklı sonuçlar gösterebilir.
- Kesikli değişken (attributes data): Sayısal ölçümden ziyade uygun / uygun değil şeklinde tanımlanabilen değişkenlerdir. Örneğin satılan 100 abanın 21 tanesinin siyah olması, lot içinden beş adet ürünün hatalı olması ya da müşteri şikâyet sayısının haftalık 12, 21, 36 olması gibi veriler bu sınıfa girer.

2.2.1. Değişken Verilerde Kontrol Grafiği Kullanımı

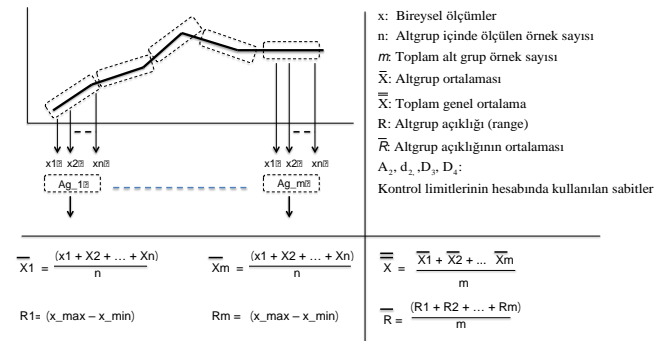
Eğer süreç çıktısı olarak sürekli değişken bir veriye ait kontrol kartı geliştirilmek isteniyorsa sürecin hem ortalamasına hem de yayılımına bakılması gereklidir. Sürecin ortalamasının nasıl davranış gösterdiğinin kontrol edilebilmesi için kontrol grafiği, yayılımının kontrol edilebilmesi için ise R (varyans) ya da s kontrol grafiği (standart sapma) kullanılır. Genelde \bar{X} ve R kontrol grafiği daha yaygın bir olarak kullanılır. Ancak örnek sayısının fazla olması ve daha hassaslık gerektiği durumlarda \bar{X} ve s kontrol grafikleri de birlikte kullanılabilir.

\bar{X} Grafiği, süreç içinde, gruplanarak elde edilen örneklerin ortalamalarının baz alınması ile oluşturulan bir grafikdir. Süreç ortalamasının izlenmesi ile olası özel/yaygın sebeplerin incelenbilmesine olanak sağlar. Ancak bazı durumlarda \bar{X} grafiği ile elde edilen tüm değerler kontrol limitleri içinde gözükmese dahi, gerçekte sistem içinde olan bazı problemler \bar{X} grafiklerinde gözükmez. Bunun temel nedeni \bar{X} grafiğinin ortalama olarak modelleme yapmasıdır. Yani gruplar arasındaki farklılıkların değişimini incelemeyiz. Buna karşılık ortalamalar aynı olsa bile gruplar arasındaki aşırı farklılıklar bir başka özel nedenin etkisi ile olabilir. Bu nedenle kontrol grafikleri aynı zamanda R yani grup içinden alınan örneklerin en büyüğünden, en küçüğünün çıkarılması ile elde edilen açıklık kriterleri de göz önünde bulundurularak yapılır. Genel olarak süreç modellemesinde \bar{X} ve R grafiklerinin her ikisinin birden izlenmesi ile süreç hakkında yorum yapılması daha doğru sonuçlar verebilmektedir.

Bu bileşenlerin hesaplanması için süreç üzerinden örnekler ile veri alınır. Örnek alma metodu ve örnek sayısı bu aşamada oldukça önemlidir. Bir veri setinden belirli aralıklarla sadece bir örnek alınıp yeni bir veri seti elde edilebilir. Ancak örnekleme sıklığının yetersiz olması ve alınan tek örneklerden bazılarının anlık sapma göstermesi durumu, sürecin doğru olarak modellenememesine neden olacaktır.

Örnek alma sürecinde kullanılan en klasik yöntem grup bazında (Rational Subgroup) ortalama ve açıklık değerlerinin hesaplanmasıdır. Bunun temel sebebi hem örnek alma frekansını eşitlemek hem de örneklerin örnekleme periyodu süresince oluşabilecek anlık sapmalarının da modellemeye dahil olmasını sağlamaktır.

Şekil 3'den görüldüğü üzere süreç üzerinden belirli periyotlarda her biri "n" adet örnek içeren toplam "m" adet örnek grubu (alt grup) alınmıştır. X bar ve R grafikte görülen her bir nokta; X bar grafiği için grup ortalamalarını, R grafiği için ise grup içinde en büyük ölçüm ile en küçük ölçüm arasındaki farkları temsil etmektedir. Ortalama değerler ise grupların ortalama ve açıklık değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.



Şekil 3: X, R Hesaplamaları

Yukarıdaki örnekte X bar grafiği için UCLX: sürecin üst kontrol limiti, LCLX ise sürecin alt kontrol limitidir. R grafiği için UCLR: sürecin üst kontrol limitidir ve tüm bu hesaplamalar aşağıda gösterilen formüller kullanılarak hesaplanır [7].

$$X \text{ grafiği: } UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} \quad LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R}$$

$$R \text{ grafiği: } UCL = \bar{R} * D_4 \quad LCL = \bar{R} * D_3$$

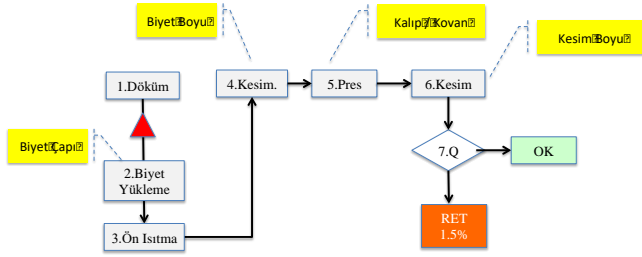
$$\text{Süreç standart sapması, } \sigma = (\bar{R})^{1/2} d_2$$

$$\text{Süreç yeterlilik indeksi, } Cp = (USL - LSL) / 6 \sigma$$

$Cp < 1$ olduğu için süreç kararlı sayılamaz ve mutlak suretle süreci kontrol dışına iten faktörler elimine edilerek süreç Cp değeri en az 1 yapılmalıdır (Montgomery, 2013).

3. Problemin Çözümü

Mevcut süreç akışı aşağıdaki gibidir.



Şekil 4: Mevcut Süreç Akışı

- Ergitme ocaklarından 6m uzunluğunda, silindirik alüminyum kütük çıkmaktadır. Bu kütükler, yarı mamul olarak stoklanmakta ve üretim iş emri geldiğinde, ön ısıtmadan başlayan üretim sürecine alınmaktadır.
- Alüminyum kütük, ön ısıtma sürecinden geçerek bir sonraki iş istasyonunda, preste işlem görebilmesi için daha küçük boyutlara kesilmektedir. Ortalama kütük boyu 6m, biyet boyu değişken olmakta birlikte 60 cm olarak düşünülür ise bir kütükten on adet biyet çıkmaktadır.
- Alüminyum kütüğün çapına göre kesim mesafesini belirlemekte (L) ve alüminyum kütük, kesim sürecinde sürekli olarak, daha önceden ayarlanan 'L' boy referansına göre kesim yapmaktadır.
- Kesilen parça alüminyum kütük (biyet), preste işlem görerek, 45-50 metrelik, tek parça alüminyum yarı mamul haline gelmektedir.
- Tek parça alüminyum yarı mamul, bir sonraki kesim sürecinde, müşterinin istediği uzunlukta parçalara kesilerek, mamul elde edilmektedir.
- Kalite bölümünde, çıkan her parçanın boyu kontrol edilmekte, kısa boyda olanlar fireye ayrılmaktadır.
- Mevcut durumda boy kısalığı nedeni ile fireye ayrılma oranı %1,5'dur.

Adım 1. Problemin tanımı: Pres çıkışında %10 oranında yüksek fire verilmektedir.

Adım 2. Problemin kırılımı: Fire genel dağılımına bakıldığında zaman %6 mühendislik firesi, %4 proses firesi verildiği gözlemlenmiştir. Mühendislik firesi, sürecin doğal bir parçası olduğu için bu çalışmada kapsam dışına alınmış ve proses firelerine odaklanılmıştır. Proses firelerinde %35 ile en yüksek oran boy kısalığı sorunudur. Toplam boy kısa firesi genel firenin %1,5 ini oluşturmaktadır.

Adım 3. Hedeflerin verilmesi: Yapılan çalışmalar sonunda boy kısalığından kaynaklanan proses firesinin, üç ay içinde, %0,5 mertebesine indirilmesi hedeflenmektedir.

Adım 4. Kök neden analizi: Kök neden analizini etkin yapabilmek için süreç parametrelerinin ne olduğunun anlaşılması gerekir.

Süreç parametreleri: Kullanılması planlanan biyet ağırlığı (W) en kritik süreç parametresidir. Çünkü bu hesaplama göre kesimde biyetler kesilmektedir.

$M=dV$, d: Alüminyum özgül ağırlığı: 2,7 gr/ [cm]³, Φ: Kullanılan alüminyum kütük çapı: 178 mm.

$k= 2.7 \times \left(\frac{(17.8)}{2} \right)^2 \times 3,14 = 0,671 \text{ kg/ [cm]}^3$, 1 [cm]³ biyet ağırlığı.

Kesilecek biyet boyu $L= W / k$, formülünden hesaplanır. Örneğin 47 kg lık biyet kullanarak, alüminyum profil üretilecek ise, kesilmesi gereken biyet boyu, $L=47/0,671$, den 70 cm olarak bulunur ve kesim süreli 70 cm 'lik parçalar ile presi besler.

5W Analizi: Mevcut durumdaki en önemli sorun, kesimi yapılan yarı mamullerin bazılarının istenilen boyutlardan kısa gelmesi sonucunda, fire oranlarının yüksek çıkmasıdır. Mevcut durum kısa boy fire oranları 1,5% dir.

5 Neden analizi ile süreci incelendiğinde;

Problem : Mamul boyu kısa gelmekte, fireye ayrılmaktadır?

Neden? → Biyet kütlesi istenilen değerde değildir?

Neden? → Kesim sürecinde, L parametresi girilmiş tanımlanmış olmasına rağmen – sürekli olarak aynı kütüde biyet prese girememektedir. Biyet ağırlıkları ölçülmüş ve farklılıklara rastlanmıştır.

Neden? → 1. Alüminyum kütük çapları değişkenlik gösterebilmektedir. Bu durumda sabit "L" değeri her zaman istenilen kütle miktarında kesim yapamamaktadır.

2. Pres içine, istenilen kütle alınsa dahi, sızıntı ve kayıplar sonucunda, çıktı kütlesi aynı olamamaktadır.

Kök nedenler: 1. Alüminyum kütük çapındaki değişkenlik.

2. Kalıp ve kovanların aşırı yıpranması, metal aşınması

Adım 5. Karşı önlemler: Bulunan iki kök neden için karşı önlemler geliştirilmiştir.

1. Alüminyum kütük çapındaki değişkenlik için öncelikle kontrol grafikleri ile dökümhane proses yeterliliğinin analizi yapılmıştır.

Mamulün istenilen boyutta olabilmesi için pres içine girecek, kesilmiş biyet kütlesinin (ağırlığının), istenilen değerde olması gereklidir. Bunu sağlamak için üretim mühendisleri; $M= dV$, formülünden ve mamul ağırlığından yola çıkarak– alüminyum kütüğün kesim mesafesini

belirlemekte ve alüminyum kütük, kesim sürecinde sürekli olarak, daha önceden ayarlanan boy referansına göre kesim yapmaktadır. Dolayısı ile biyet boyu; “L” kritik parametredir.

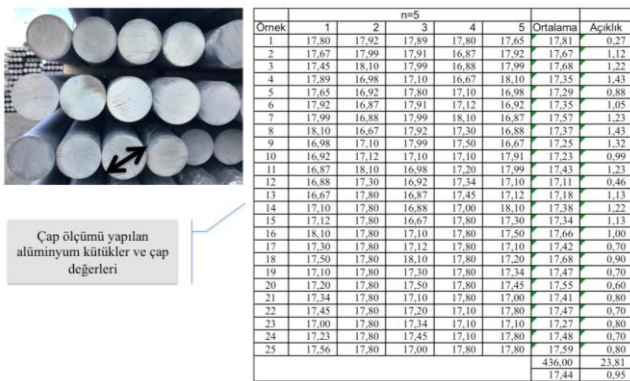
M= dV, formülünden, istenilen ağırlığa göre, alüminyum kütük “L” boyunda kesilebilmektedir. Örneğin: Bir biyetten son kesim sonundaki ağırlığı 4,7 kg olacak alüminyum profil elde etmek isteyelim. Bu profili bir biyet kullanarak elde edeceğiz ve biyet çıktısındaki yarı mamulü 10 parçaya böleceğiz. Bu durumda bize (fire payları hariç), 4,7 x 10 = 47 kg lık biyet gereklidir.

Alüminyum özgül ağırlığı: 2,7 gr/ [cm] ³, Φ: Kullanılan alüminyum kütük çapı: 178 mm.

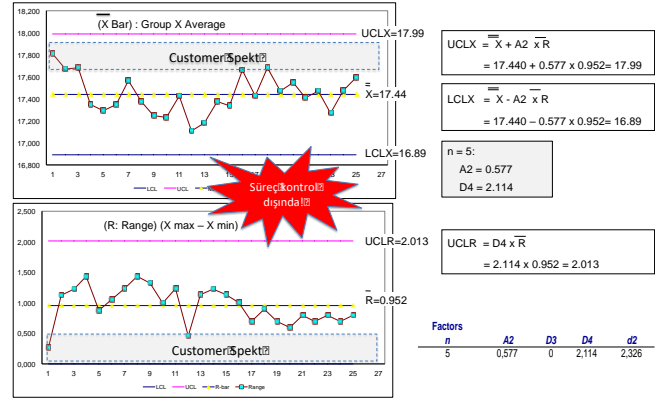
$k = 2.7 \times \left(\frac{(17.8)}{2} \right)^2 \times 3,14 = 0,671 \text{ kg/ [cm]}^3$, 1 [cm] ³ biyet ağırlığı. Kesilecek biyet boyu $L = W / k$, formülünden hesaplanır. Örneğin 47 kg lık biyet kullanarak, alüminyum profil üretilecek ise, kesilmesi gereken biyet boyu, $L = 47 / 0,671$ 'den 70 cm olarak bulunur ve kesim sürekli 70 cm 'lik parçalar ile presi besler.

Buradan görüldüğü üzere biyeti 70 cm 'lik parçalara bölmemiz gerekmektedir. Ancak alüminyum kütükler dökümhaneden gelmektedir. O nedenle üretilen biyet çaplarının, ne oranda istenilen kriterler için olduğunun incelenmesi gereklidir. Zira değişkenliğin çok olması, sabit “L” değeri ile kesim sürecinin yönetilemeyeceği anlamına gelmektedir.

Biyet ölçümlerinde gerekli hassasiyetin elde edilebilmesi için kumpas yerine, sensörler ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar için kullanılan biyet çapı 17,8 cm ve tolerans değeri olarak %0.3 değeri kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları kontrol grafiği ile yorumlanmıştır.



Şekil 5: Biyet Çap Ölçüm Sonuçları



Şekil 6: Kontrol Grafiği Sonuçları

$$\sigma = (R) / d2 \quad \sigma = 0.952 / 2.326$$

$$\sigma = 0.409$$

$$Cp = (USL - LSL) / 6 \sigma; Cp = (17.99 - 16.89) / (6 * 0.409)$$

$$Cp = 0.448$$

$Cp < 1$ çıkması, dökümhane çıktısında elde edilen biyet çaplarının istenilen değerlerden oldukça uzak olduğunu ve hemen her alüminyum kütle yüklemesinde çapların farklı ve genelde düşük olması nedeni ile, sabit ‘L’ boyu set değeri ile her zaman istenilen biyet ağırlığının elde edilemeyeceğini göstermektedir.

Çözüm olarak ya dökümhane proses yeterliliği iyileştirilmeli ya da her alüminyum kütük yüklemesinde çap ölçümü yapıp, her defasında ‘L’ kesim boyu parametresi yeniden hesaplanarak kesim kontrollerine girilmelidir.

Karşı önlem 1: Dökümhane prosesinin iyileştirilmesi kısa süreli ve kolay bir işlem olmadığı için (dışarıdan gelen farklı sayıda ham madde ve hurda karışımı), bu aşamada alüminyum kütük çap değişkenliğinin etkisini yönetme üzerine kurgu yapılmıştır. Bu bağlamda; Alüminyum kütük çap problemi için, dökümhanede kütük üzerine BC ile çap bilgisi yazılacak, yükleme istasyonunda BC ile çap bilgisi okunup – kesim ‘L’ boyu, barkottan gelen bilgiye göre otomatik ayarlanacak. Bu sayede kütük ilk yüklediğinde sistem tarafından çapı bilinmiş olacak ve yeni bir kütük gelene kadar aynı çap ile kesim süreci işleyecektir.

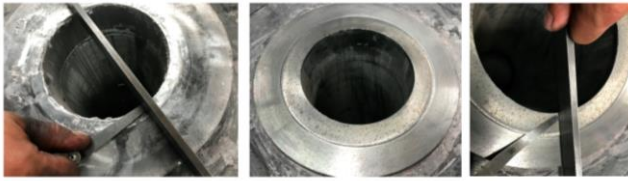
Karşı önlem 2: Pres çıkışında çaptan bağımsız olarak (kalıp/kovan) oluşabilecek diğer problemleri ortadan kaldırmak için, pres sonuna lazer ölçüm cihazı konulacak ve her profilin boyu ölçülüp, otomatik olarak kesim kontrollerine gönderilerek, gerçek zamanlı ‘L’ biyet boyu ayarlaması yapılabilecektir.

Her iki karşı önlemin etki analizini yaptığımızda ise;

- Karşı önlem_1: Etki derecesi: 10, Maliyet: 8 ve Uygulanabilirlik: 10, ile toplam 800 puan
- Karşı önlem_2: Etki derecesi: 8, Maliyet: 8 ve Uygulanabilirlik: 10, ile toplam 640 puan çıkmıştır.

2. Kalıp ve Kovanların alırı yıpranması, metal aşınması için Genchi Gembutsu ile kalıp / kovan yeterliliğin analizi yapılmıştır.

Kesimi yapılan biyet preste kovan/kalıp üzerinden işlem görmektedir. Kovan ve Kalıp her çevrimde, 160T basınca maruz kalmakta ve bu durum normal olarak metal aşınmasına, aşınmada sızdırma ve kalitesizliğe sebep olmaktadır. Preste çalışan kalıp ve kovan aşağı indirilmiş ve inceleme yapılmıştır. Kalıp / kovan incelemesinde kovanın gereğinden fazla aşındığı, kalıp ile arasına 1mm sentil girdiği, ideal bir kovanda yapılan testte ise 0.05 mm lik sentilin dahi kalıp ile kovan arasına girmediği gözlemlenmiştir. Benzeri durum kalıp içinde geçerlidir. Kalıpta da önemli boyutta metal aşınması meydana gelmiştir.



Mevcut Kovan Yüzeyi: 1mm sentil boşluk var! Olması gereken kovan yüzeyi: 0.05 sentil giriyor.

Şekil 7: Kalıp Bakım Çalışmaları Sonucu

Bu durum, kalıp / kovan deformasyonunun preste meydana gelen sızıntı ve kısa mamul üretmenin nedenlerinden biri olduğunu göstermektedir. Zamanında yapılmayan bakımlar, kalıp / kovanların yıpranmasına, aşınmasına ve tam olarak fonksiyonun yerine getirememesine neden olmuş ve nihai ürünlerin kısa kalmasına sebebiyet vermiştir.

Çözüm olarak kalıp/kovan bakımlarının belirli / standart süreler içinde yapılmasını sağlamaktır.

Karşı önlem 1: Kalıp / Kovan baskı sayıları otomatik olarak pres yazılım tarafından takip edilecek ve eşik değerine gelmeden pres kalıp / kovan ile üretim yapmayı durdurup, operatörü bakım için uyaracak. Bunun için kovan / kalıp bakım baskı sayıları belirlenecek ve prese sistemi yöneten yazılım yapılacaktır.

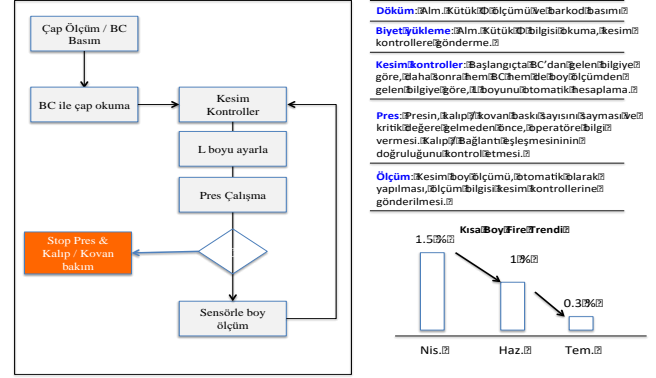
Alınan karşı önlemin etki analizini yaptığımızda ise; Karşı önlem_1: Etki derecesi: 7, Maliyet: 8 ve Uygulanabilirlik: 10, ile toplam 560 puan.

Her iki kök neden için tespit edilen karşı önlemler RPN puanına göre sıralandığında öncelikli işlem sırası aşağıdaki gibi çıkmıştır.

1. Öncelik: Çap ölçüm sistemi ve kesim kontrollerine uygulama yazılması.
2. Öncelik: Pres çıkışına lazer ölçüm cihazı konulması ve kontrollere bağlantı yapılması, uygulama yazılması.
3. Öncelik: Presin kalıp / kovan baskı sayısını sayması için uygulama yazılması.

Adım 6. Uygulama: Konusunda uzman firmalar çağrılarak gerekli sistem/donanım ve yazılım aşağıdaki kurguya göre yapılmıştır.

Adım 7. Kontrol: Süreç çıktısında fire oranları düzenli olarak kontrol edildiğinde, yapılan çalışmaların sonuçlara olumlu etki ettiği tespit edilmişti. Boy kısalığı nedeni ile oluşan fireler %1,5 mertebesinde, %0,3 seviyesine indirgenmiştir.



Şekil 8: Kontrol Sonuçları

Adım 8. Standartlaştırma: Çözümün işe yaraması sonrasında tüm ekibe yapılanlar, öğrenilen dersler/çıkarımlar hakkında bilgi verilmiş ve aynı uygulama diğer preslere de uygulanarak çözüm yaygınlaştırılmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, alüminyum sektörü üretim süreçlerinde oluşan firelerin indirgenmesi amacı ile yapılmıştır. Mevcut üretim süreçlerinde insan emeği ile ölçülmesi ve yorumlanabilmesi pek mümkün olmayan süreç parametreleri, sensörler aracılığı ile yeterince sık ve gerçek zamanlı olarak alınmaya başlanmıştır; bu veriler algoritma ve yazılımlar üzerinde yorumlanarak sürecin modellenmesi doğru ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu sayede, sürecin değişkenliğe karşı kendini yeniden ayarlayabilmesi tesis edilmiş olup, süreç sonunda fire miktarında ve verimlilikte önemli oranda azalma meydana gelmiştir.

Bu vaka ile ilgili temel bulgular şu şekilde özetlenebilir.

- Teknolojinin etkin kullanımı ile dökümhanedeki kontrolü çok zor olan değişkenlik, bir sonraki sürece etki etmeyecek düzeye indirgenebilmiştir. Bu sonuç, dökümhanedeki hassas döküm yapma gereksinimi ortadan kaldırmıştır, maliyet avantajı sağlamıştır.
- Alüminyum profil boy ölçümünden elde edilen ölçüm bilgisi gerçek zamanlı geri besleme ile prese gönderilerek hattın kendini bir sonraki çevirme ayarlamasını olanak sağlamıştır. Bu veriler aynı zamanda süreç kararlılığının ölçülebilmesine de olanak sağlamıştır; bu sayede kestirimci bakım çalışmalarının etkinliğinde artış sağlanmıştır.
- Preste uygulanan yazılım ile, kalıp/kovan baskı sayıları takip edilerek ekipman ve kalıpların

yıpranmadan ve üretime zarar vermeden önce bakıma alınabilmeleri sağlanmıştır.

- Akıllı algoritmalar ve yazılım sayesinde, kontrol gerektirmeyen ve kendi kendine proses parametrelerini ayarlayabilen akıllı sistem Endüstri 4.0 teknolojileri ile elde edilmiştir.

Endüstri 4.0 araçlarının süreç iyileştirme çalışmalarında etki tepki zamanının kısılması anlamında süreçlere oldukça önemli katkı yaptığı bu çalışmadan çıkarılabilecek ana unsurlardan biridir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin, daha önceleri kısıtlı olarak kullanılabilen Yalın Altı Sigma yaklaşımının artık gerçek zamanlı olarak, süreçlerin her alanında kullanılabilmesinin önünü açtığını; süreçlerin modelleme yeteneğini artırarak karar verme sürecinin kalitesini ve hızını daha iyi seviyelere çıkardığını bu çalışma doğrulamaktadır.

Bu çalışmada yazılım ve otomasyon mühendislerinden destek alınmıştır. İşletme içinde bu iki alanda uzman kişilerin olmayışı, çalışma esnasında dışarıdan destek alınmasını zorunlu kılmış; bunun sonucunda çözüm zamanı uzamıştır. Buradan aynı zamanda endüstri 4.0 uygulamaları için artık işletmelerin kendi bünyelerinde yazılım ve otomasyon mühendislerini buldurmaları gerekliliği bir tez olarak ortaya sürülebilir. Ancak, yetkin eleman bulmak ya da işletme içinde bu kişileri sürekli tutmanın getirileri belki ileride bu konuda çalışma yapacak araştırmacılar için üzerine düşünülmesi gereken bir konu olabilir.

Yalın, Altı Sigma gibi uygulamaların daha etkin yapılabilmesi ve sonuçlarından maksimum getiri sağlanabilmesi için Endüstri 4.0 uygulamaları ile birlikte düşünülmesi, işletmelerin daha rekabetçi olmaları açısından teknolojiyi öğrenmeleri ve uygulamalarının gerekli olduğu bu çalışmadan çıkarılan bir diğer sonuç olarak belirtilebilir. Çalışma esnasında işletme yönetici ve çalışanlarının olumlu yaklaşımları sürecin sonuçlanmasına katkı sağlamıştır. Bu bağlamda işletme kültürünün Endüstri 4.0 çalışmalarına olan etkisi de yine ayrı bir araştırma konusu olarak irdelenebilir.

Kaynakça

- Apiliogullari, L. (2018). "The Road Map of Digital Transformation", Aura Publishing, ISBN: 978-605-103-381-5, İstanbul
- Apiliogullari, L. (2010). "Lean transformation: The code of productivity", System Publishing, ISBN: 978-975-322-576-2, İstanbul
- Black & White Paper. (2017), "Enterprise Digital Transformation Strategies Turning Disruption into Differentiation", Century Link
- Bilgiç, E, Türkmenoğlu, M, Bozoğlu Batı, G. (2019). İş analitiği ve değer zinciri: Detaylı ve sistematik bir literatür taraması. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve

İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, (54, 1-24. DOI: 10.18070/erciyesiibd.51077

- Darmois, E., at all. (2015). "IoT Standards Landscape – State of the Art Analysis and Evolution", River Publisher Series in Communications, ISBN: 978-87-93609-10-5
- Dopico, M., at all. (2016). "A vision of industry 4.0 from an artificial intelligence point of view", Int'l Conf. Artificial Intelligence | ICAI'16 |
- Ezell.S and Swanson.B. (2017). "How Cloud Computing Enables Modern Manufacturing", American Enterprise Institute, Information Technology and Innovation Foundation, June 2017
- Jacobs, R. (2011). "Operations and Supply Chain Management", Thirteenth Edition, McGraw-Hill Irwin, ISBN: 978-0-07-122090-3
- Khan, A., Turowski, K. (2016). "A Survey of Current Challenges in Manufacturing Industry and Preparation for Industry 4.0", Proceedings of the First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'16), Advances in Intelligent Systems and Computing 450, DOI 10.1007/978-3-319-33609-1_2
- Mila Malavasi, M., Schenetti, G. (2017). "Lean Manufacturing and Industry 4.0: an empirical analysis between Sustaining and Disruptive Change", Politecnico di Milano.
- Montgomery, D. (2013). "Statistical Quality Control", Seventh Edition, John Wiley, ISBN: 978-1-118-32257-4
- Rohen, M., (2015). "IoT Driving Digital Transformation – Impact on Economy and Society", River Publisher Series in Communications, ISBN: 978-87-93609-10-5
- Schuh. G., at all's (2017). "Industry 4.0 Maturity Index/Managing the Digital Transformation of Companies", acatech – National Academy of Science and Engineering
- Simchi-Levi, D, Kaminski P, Simchi-Levi, E, (2009). Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies and case studies, McGraw-Hill, New York
- Stratton, R, Warburton, R, (2003). The strategic integration of agile and lean supply, *International Journal of Production Economics*, Vol. 85, 183-198.
- Vermesan, O., at all, (2015). "Internet of Things Cognitive Transformation Technology Research Trends and Applications", River Publisher Series in Communications, ISBN: 978-87-93609-10-5
- Wu D, Ren A, Zhang W, et al (2018). Cybersecurity for digital manufacturing. *J Manuf Syst.* doi: 10.1016/j.jmsy.2018.03.006
- Yusuf, Y, Gunasekaran, A, (2004). Agile supply chain capabilities: Determinants of competitive objectives, *International Journal of Production Economics*, Vol. 159, 379-392.