

TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ, İSTATİSTİK VE PROBLEM ÇÖZÜM TEKNİKLERİ

■ Savaş İZGİZ Metalurji Mühendisi

ÖZET

Sürekli olarak koşulların değiştiği ve küreselleşen dünyamızda şirketlerin rekabet edebilmeleri gün ve gün zorlaşmaktadır.

Bu süreçte başarılı olmanın anahtarı Toplam Kalite Yönetiminin (TQM) şirket bütününe içerecek bir şekilde uygulanması ve sonuç olarak Yalın Üretime geçişle mümkündür.

Böylece hedefler: Hatasız üretim (6 Sigma, 3.4 ppm hatalı oranı), proses geçiş sürelerinin azaltılması, müşteri memnuniyetine azami şekilde odaklanma, şirketin büyümesi ve sürekli iyileştirme prosesinin her alanda uygulanmasıdır (Kaizen).

Sürekli iyileştirme prosesi içinde problem çözüm tekniklerinin çalışanlar tarafından başarılı bir şekilde uygulanması gerekir.

Bu teknikler: akış diyagramı, histogram, çek liste, Pareto analizi, İshikawa diyagramı, serpm diyagramı ve istatistik prosel kontrolüdür.

Bu çalışmada problem çözüm teknikleri açıklanmakta ve pratik örneklerle uygulamalar için yol göstermektedir.

Anahtar sözcükler

Globalleşme, Rekabet, Toplam Kalite Yönetimi (TQM), Deming Çemberi, Veri Toplama, Sürekli iyileştirme (Kaizen), Akış Diyagramı Histogram, Dağılım, Çek Liste, Pareto Analizi, İshikawa Diyagramı, Serpme Diyagramları, İstatistik Proses Kontrol (SPC)

1. Globalleşme ve Rekabet (1,2)

Bu günün en belirgin özelliği giderek çerçevesi genişleyen bir globalleşme hareketi ve bunun getirdiği ezici rekabettir.

Bir taraftan teknolojik imkanların olağanüstü gelişmesi diğer taraftan uluslararası ilişkilerin genişlemesi mal, hizmet ve paranın sınır ötesi hareketini yoğunlaştırmıştır.

Bu hareketlilik doğal olarak tüm şirketleri yeni bir rekabetin içine sokmuştur. Ticari kuruluşlar daha önce hakimiyet kurdukları pazarlarda kendilerini yeni ve güçlü rakiplerle mücadele içinde bulmaktadırlar.

İleri teknoloji

Artan dış ticaret ----- Rekabetin yoğunlaşması
Arz>Talep

Bu yeni rekabetçilik döneminin temelinde kurulu üretim kapasitesinin, talebi büyük ölçüde aşmış olması yatıyor. Hemen her ülkede bu şartlara ayak uyduramayan binlerce şirketin kapandığını görüyoruz. Öte yandan büyük şirketlerin bir araya gelmeleri ve faaliyetlerini daha rasyonel hale getirmeleri, rekabet gücü azalan diğer şirketlerin durumlarını dahada olumsuzlaştırmaktadır.

Rekabet artık günlük yaşamımıza girmiştir ve uluslar bugünkü eğilimin tam zıddı olan korumacılığa yönelmedikçe azalmayacak, artacaktır.

1.1. Rekabet Gücünün Kriterleri

Rekabet gücü mutlak ölçütlerle ifade edilemez ancak kıyaslamalı olarak bir anlam taşır. Özlü biçimde ifade etmek gerekirse, rakiplere kıyasla kalite, maliyet ve hız üstünlüğü rekabet gücünü sağlar.

Yaklaşık yarım yüzyılı aşan deneyim göstermiştir ki bu üçlü arasında simetrik olmayan bir ilişki vardır. Maliyetten ya da hızdan hareketle kaliteyi geliştirmek olanaksızdır, fakat kaliteden hareketle diğer iki faktörü de iyileştirmek mümkündür.

Kalite

Maliyet ----- Yüksek rekabet gücü

Hız

Türkiye' deki büyük 70 şirkette rekabet gücünü sağlayan faktörleri incelemek maksadı ile yapılan anketin sonuçları aşağıda verilmiştir:

Şirketlere rekabet gücü sağlayan faktörler

1. Yüksek kalite	% 14.86
2. Müşteri tatmini	13.77
3. Eğitimli ve motivasyonlu iş gücü	13.41
4. Çalışanların eğitimi-uzmanlaşması	9.06
5. Yeni ürün geliştirme	7.61
6. Makina-ekipman yatırımı	7.25
7. Ucuz hammadde ve enerji	6.88
8. Teknoloji geliştirme	6.52
9. Yabancılarla ortak yatırım	4.71
10. Yeni teknoloji satın alınması	4.35
11. Ucuz kredi	3.99
12. Esnek kapasite	2.54
13. Devletin teşvik imkanları	2.54
14. Ucuz işgücü	1.45
15. Yüksek kur politikası	1.09

Ankete katılan şirketlerin rekabet gücü konusunda öncelik verdikleri konular incelendiğinde ucuz işgücü, yüksek kur politikası ve ithal mallara teknik engeller uygulanması gibi konuları rekabet aracı olarak benimsemedikleri görülmektedir. Rekabet aracı olarak yüksek kalite, müşteri tatmini, eğitim ve yüksek motivasyonlu işgücü gibi konular öncelik kazanmaktadır.

Kalite, doğru şekilde geliştirildiğinde, hataları önler, düzeltici faaliyetlere gerek kalmaz, net üretimi artırır, gecikmeleri ortadan kaldırır, aşırı stokları önler, kısacası maliyetleri düşürdüğü gibi hız avantajıda getirir.

Kaliteyi doğru şekilde sağlamanın temel yöntemi, Toplam Kalite Yönetimidir (TQM). Yalın üretimde Toplam Kalite Yönetimini başarılı bir şekilde uygulanmasının bir sonucu olmaktadır.

2. Toplam Kalite Yönetimi (1-10)

Toplam Kalite, bir şirkette tüm faaliyetlerin sürekli olarak iyileştirilmesi anlamını taşır. Bu faaliyetler sadece ürün ya da hizmet üretimiyle ilgili alanlarla sınırlı değildir.

Pazar araştırmasından maliyet muhasebesine kadar bütün fonksiyonları ve tüm bireyleri içerir.

Toplam Kalite Yönetimi'nin gerekleri dört maddede toplanabilir. Bunlar:

1. Önleyici yaklaşım: Sorun çıktıktan sonra düzeltmek yerine, işleri sorun çıkmayacak şekilde planlayıp, uygulamak.

2. İstatistik ve analiz: Olaylara ve konulara bilimsellik ve objektiflik içinde yaklaşmak, duygusallık yerine akılcılığı hakim kılmak
3. Grup çalışması: İşletme körlülüğünü bireylerin aşmasının kolay olmadığını bilmek ve her düzeyde grup çalışmalarını etkin bir şekilde yürüterek yaratıcılığı ve sorun çözmeyi kurumsallaştırmak
4. Sürekli gelişme: Bulunulan durum ya da varılan seviye ne olursa olsun onu daha ileriye götürmek, iyileştirmek, geliştirmek.

Sürekli gelişme dinamik bir süreçtir; kendisini yeniler. Bu sürecin dört aşaması vardır.

- Planlamak
- Uygulamak
- Değerlendirmek ve
- Standartlaştırmak.

Bu gelişme çevrimine Deming çemberi adı da verilmekte olup, her iyileştirme çevrimi tamamlandığında bir yenisi başlatılır. Her birim ve her elaman kendi işini sürekli olarak geliştirme amacını güder.

2.1. Bir Gelişme Çevrimi (9,10)

Bir gelişme çevrimi aşağıda verilen safhaları içerir:

1. Planla, neyi geliştirmeli? Sorun ne? Mevcut durum nedir?
2. Uygula. Bu sorunun nedenlerini araştıralım. Sorunu çözecek önlemi uygulayalım.
3. Değerlendir. Aldığımız önlem başarılı oldu mu? Değerlendir, araştır.
4. Standartlaştırma. Önlem başarılı oldu ise, standartlaştırıp uygulamayı bu şartlar altında sürdürüelim. Başarılı olmadı ise, yeni önlem alıp, sonuçları değerlendirelim.

Yukardaki aşamaların uygulanması genellikle grup çalışması şeklinde yürütülür, ancak bireysel olarak yürütülebilecek çalışmalar da olabilir.

3. İstatistik ve Analiz Teknikleri (6-10)

3.1. Veri Toplama(11)

Bir işletmenin veya bir prosesin performansını geliştirmek

için mutlaka verilere ihtiyaç vardır. Gerçeklere dayalı yönetim ve sürekli gelişme ancak doğru, zamanlı ve güvenilir verilerle gerçekleştirilebilir.

Daha çok veri daha başarılı bir yönetim anlamına gelmez. Sadece gerekli veriler toplanmalı ve değerlendirilmelidirler.

Veriler belli bir amaç için ve o amaca uygun yöntemlerle toplanır, değerlendirilir ve gereği yapılır. Bu nedenle:

- Amaç açıkça belirlenir
- Amaca hizmet edecek verilerin hangileri olduğu kararlaştırılır
- Bu verilerin hangi örnekleme yöntemi ile ve nasıl toplanacağı saptanır

- Verilerin kim(ler) tarafından toplanacağı belirlenir
- Bu amaçla özel bir form geliştirilebilir
- Verilerin istenilen hassasiyette ve doğru olması için ölçü aletlerinin uygunluğu ve güvenilirliği sağlanır.

Veriler proses girdileri ile gözlem değerleri, kalite karakteristikleri olabilirler. Veriler iki ana grupta toplanırlar:

1. Değişken veriler, niceliksel değerler. Bunlar ölçülebilen fiziksel değerlerdir. Sıcaklık, basınç, süre, analiz % ağırlık, ölçüler v.s.
2. Niteliksel veriler. Belli bir özelliğin olup olmaması, iyi, kötü, pürüzlü, pürüzsüz, hatalı, hatasız v.s.

Niceliksel,ölçüsel verilerin değerlendirilmesine örnek (4,11)

Ele alınan örnekte n=50 gözlem değeri mevcuttur.Bu gözlem değerleri toleransları 5.26-5.30 mm olarak verilen millerin çap ölçüleridir ve örneklerde 5'er numune alınarak bu değerler aşağıda verilmiştir:

1	2	3	4	5.....	.10
5.29	5.28				5.31
5.29	5.30				5.28
5.31	5.29				5.32
5.28	5.27				5.31
5.33	5.30				5.29

Ortalama değer in saptanılması

$$X = \sum xi/n \quad n=50 \quad X=265.03/50 = 5.30 \text{ mm}$$

Standart sapmanın saptanılması

$$R = x(\max) - x(\min) = 5.34 - 5.26 = 0.08.$$

$$\text{Örnekleme açıklık değerlerinden saptanılan R-değeri} = \sum R\text{-örnekler}/k \quad k=10$$

$$R\text{-değeri} = 0.46/10 = 0.046$$

Standart sapmanın kabaca R-değerinden saptanılması $s = R\text{-ortalama}/d_n = 0.046/2.326$

$$= 0.02$$

Standart sapmanın doğru olarak saptanılması $s = \sqrt{1/(n-1) * \sum (xi-x)^2} = \sqrt{0.017082/49}$

$$= 0.019$$

Ortalama değer in % 95 önem derecesi için güven bölgesinin saptanılması:

$$\mu = X + t * s / \sqrt{n} \quad \mu(o) = 5.30 + 2.008 * 0.019 / 7.07 = 5.305 \text{ mm}$$

$$\mu(a) = 5.30 - 2.008 * 0.019 / 7.07 = 5.294 \text{ mm}$$

Tolerans dışında kalan hatalı % sinin saptanılması

$$U(a) = (T(a) - \mu) / s = (5.26 - 5.3) / 0.019 = -2.1746 \dots P(a) = \%1.5$$

$$U(\bar{u}) = (\mu - T(\bar{u})) / s = 2.11 \dots P(\bar{u}) = \%1.7$$

Sınıflandırılmış veriler halinde çalışma orijini kullanarak ortalama değer ve standart sapmanın saptanılması:

Teknik olayların değerlendirilmesinde çok sık uygulanan bir metottur.

Sınıflar	SON	Frekans f	d	d*f	d ² *f
5.255-5.265	5.26	1	-4	-4	16
5.265-5.275	5.27	3	-3	-9	27
5.275-5.285	5.28	7	-2	-14	28
5.285-5.295	5.29	8	-1	-8	8
5.295-5.305	5.30	12	0	0	0
5.305-5.315	5.31	7	1	7	7
5.315-5.325	5.32	6	2	12	24
5.325-5.335	5.33	5	3	15	45
5.335-5.345	5.34	1	4	14	16
Toplam		50		3	171

Sınıf aralığı $w=0.01$

Ortalama değer $X = X_0 + (\sum f_i \cdot d_i / n) \cdot w = 5.30 + (3/50) \cdot 0.01 = 5.3006$ mm

Standart sapma $s = w \cdot \sqrt{(\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 / n) / (n-1)}$

$s = 0.019$ mm saptanılır.

4. Problem Çözüm Teknikleri (1,6,7,8)

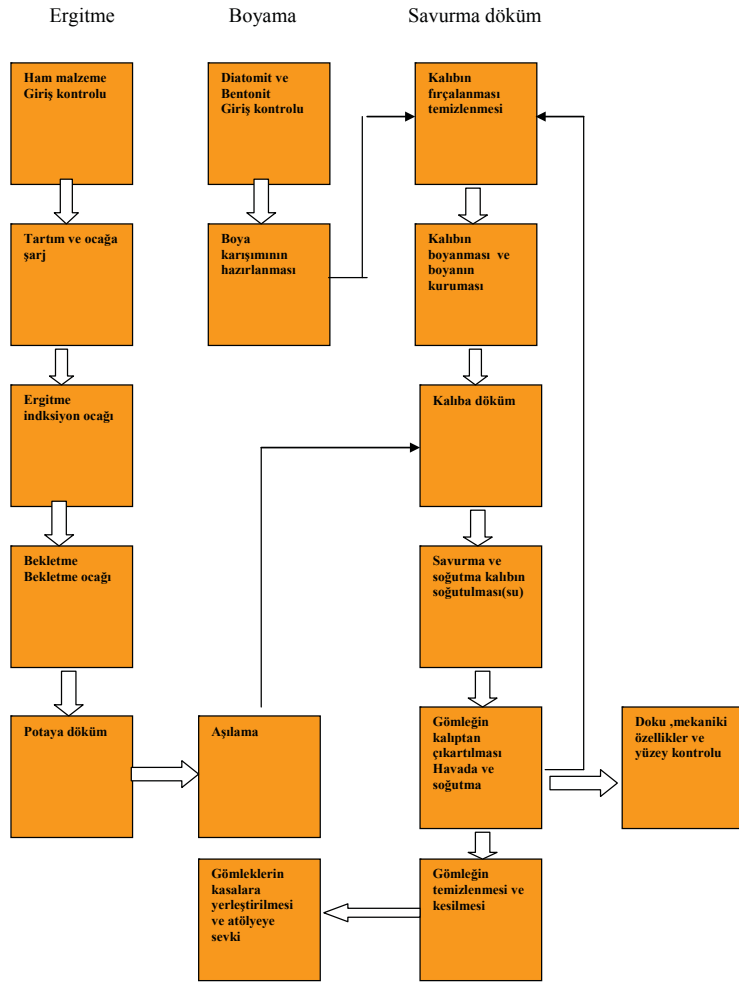
Sürekli iyileştirme çalışmalarının başarılı bir şekilde yürütülmesinde aşağıda verilen analiz tekniklerinden faydalanılır.

4.1. Akış Diyagramı (Fluss-Diagramm, flow-chart)

Akış diyagramlarının amacı karmaşık olguları (faaliyet-proses) içeren farklı sorumlulukları ve ilgili görevleri tanımlayarak bunların kolayca anlaşılabilir, şeffaf hale getirmektir.

Örneğin: Müşteri reklamasyonu akış şeması. Bir reklamasyon söz konusu olduğunda bununla ilgili bildirim fabrikaya gelmesinden başlayarak, yanıtın verilmesine kadar, yapılması gereken tüm faaliyetlerin sırasını içeren bir diyagramdır. Bu diyagramda faaliyetler, sorumlular ve görevler belirlenir. Bir diğer örnekte silindir gömleği dökümü akış diyagramı gösterilmiştir (Resim 1).

Resim 1.Silindir gömleği dökümü akış şeması



4.2. Histogram ve Dağılım (1,3)

Histogramlar ve dağılımlar verilerin görsel olarak incelenmesine ve değerlendirilmesine yarayan grafik araçlardır. Böylece en fazla gözlenen değer ve dağılım hakkında bilgi sahibi olunur.

Teknik problemlerin çözümünde en geniş kullanım alanına sahip olan dağılım bir çan eğrisi olan normal dağılımdır.

Bütün gerçek değerleri alabilen x şans değişkeninin sıklık fonksiyonu C.F.Gauss (1777-1855) tarafından,

$$F(x) = A * e^{-B(x-\mu)^2} \text{ eşitliği ile verilir.}$$

Bu eşitliğe göre bir ortalama değerden m farklı büyüklükte olan herhangi bir x değerinin sıklığı hesaplanabilir. Burada,

$$A = 1/(\sigma * \sqrt{2 * \pi}) \text{ ve}$$

$$B = 1/(2 * \sigma^2) \text{ ve}$$

$$\sigma^2 \text{ dağılımın varyansdır} \quad \sigma^2 = \sum(x-\mu)^2 / (n-1)$$

Normal dağılım sıklık fonksiyonunu anlamak için şu örneği verebiliriz:

Bir taşlama tezgahında hedef alınan bir çap ölçüsünün ± 0.001 mm etkileyen bir değişkeninin mevcut olduğunu varsaydığımızda, taşlanmış parçaların $\frac{1}{2}$ si $+ 0.001$ mm ve $\frac{1}{2}$ si de $- 0.001$ mm nominal ölçüden farklılık gösterecektir.

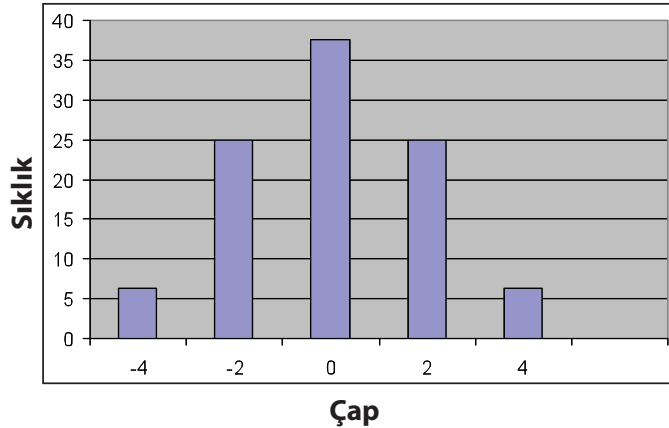
Parametreleri arttırdığımızda, örneğin 4 parametrenin varolduğu kabul edildiğinde hata kombinasyonu sayısı 16 olacaktır. Farklı ölçülerdeki parçaların sıklığı da,

+ 0.004 mm	6.25 %
+ 0.002	25
0	37.5
-0.002	25 ve
-0.004	6.25 olacaktır.

4 değişkenin, parametrenin mevcut olması durumunda değerlendirme

Nr	1	2	3	4	Toplam hata	Sıklık
1	+	+	+	+	+0.004	1/16
2	+	+	+	-	+0.002	
3	+	+	-	+	+0.002	4/16
4	+	-	+	+	+0.002	
5	-	+	+	+	+0.002	
6	+	+	-	-	0	
7	+	-	+	-	0	
8	+	-	-	+	0	6/16
9	-	+	+	-	0	
10	-	+	-	+	0	
11	-	-	+	+	0	
12	+	-	-	-	-0.002	
13	-	+	-	-	-0.002	
14	-	-	+	-	-0.002	4/16
15	-	-	-	+	-0.002	
16	-	-	-	-	-0.004	1/16

Böylece sıklık dağılımı da % olarak Resim 2' de verildiği şekildedir.



Resim 2: Taşlama prosesi normal dağılım örneği

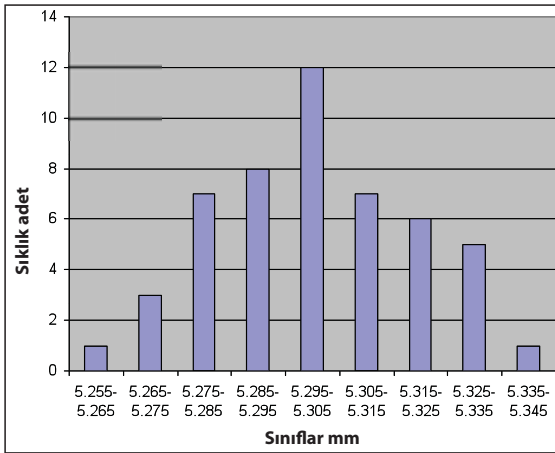
4.2.1. Standard Normal Dağılım

Belirli bir normal dağılım sıklık eğrisi ile x ekseninde arasında kalan alan bir birimdir, yani 1'e eşittir. Böylece normal dağılımın sıklığını standart sapmaya bağlı olarak aşağıdaki şekilde verebiliriz:

$\mu + -1 \sigma$ alanın	% 68.27 si
$\mu + -2 \sigma$	95.45
$\mu + -3 \sigma$	99.73 ve
$\mu + -4 \sigma$	99.994

Bu yığılımlı alanın saptanılması matematiksel olarak külfetli olduğundan standart normal dağılımdan faydalanılır. Bu dağılımın parametreleri $\mu = 0$ ve $\sigma^2 = 1$ dir.

Resim 3' de pim dış çapının dağılımı verilmiş olup, değerler normal dağılım (çan eğrisi) göstermektedir.



Resim 3: Pim dış çapları dağılımı

4.3. Çek Liste (Strich liste, check sheets)

Sistemik olarak verilerin değerlendirilmesini ve aralarında mevcut olabilecek ilişkileri içerir.

Örneğin: Hatalı ürünlerin hata kodlarına göre sayısal değerlendirmesi

4.4. Pareto Analiz (3)

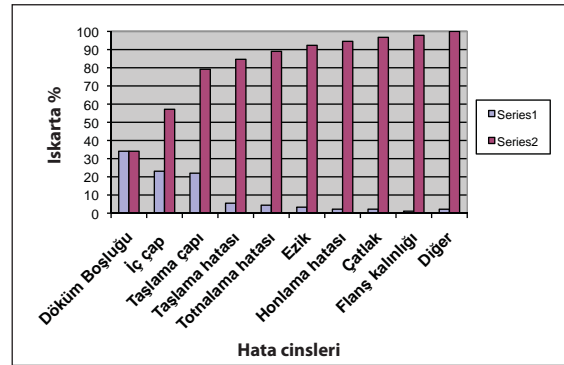
Kalite geliştirme çalışmalarında sıkça kullanılan tekniklerden biri de Pareto analizidir.

Ünlü iktisatçı W. Pareto (1848-1923), araştırmaları sırasında işletmelerde stoklara bağlı paranın % 80'ini ürünlerin sadece % 20'sine ilişkin olduğunu tesbit etmişti.

Pareto'nun bu gözlemi bugün '80:20' kuralı diye bilinen ilişkiye yol açmıştır. Bu gerçekten hareketle, önemliyi önemsizden ayırt etmekte Pareto analizi yaygın olarak kullanılır.

Örneğin, kalite sorunlarının büyük kısmını çözmek için hata kaynaklarının en önemlilerini ortadan kaldırmak yetmektedir. Örneğin silindirik gömleği imalatında üç hata karakteristiği, döküm boşluğu ve iç çap toplam iskartanın % 79.17'sini oluşturmaktadır. (Resim 4).

Döküm Boşluğu	34,07	34,07
İç çap	23,08	57,15
Taşlama çapı	22,00	79,17
Taşlama hatası	5,49	84,64
Tornalama hatası	4,39	89,03
Ezik	3,39	2,33
Honlama hatası	2,29	4,53
Çatlak	2,29	6,73
Flanş kalınlığı	1,19	7,83
Diğer	2,17	100



Resim 4: Silindirik gömleği son kontrol iskartasının hata cinslerine göre dağılımı. Seri 1 % olarak, Seri 2 ardışık toplamı % 0,91

4.5. Neden-Sonuç Analizi (Balık Kılıçığı Diyagramı, Ishikawa Diyagramı)

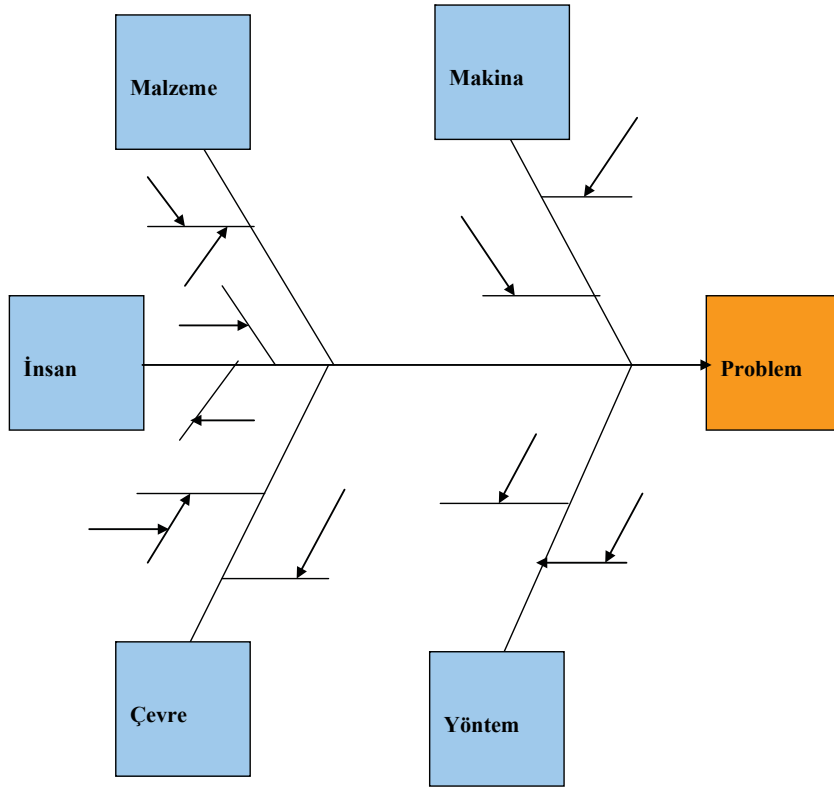
Japon kalite devriminin mimarlarından K. Ishikawa işletmelerde kalite sorunları, üretkenliğin ve maliyetin optimizasyonu, hataların analizi, reklamasyonların incelenmesi, nedenlerini belirlemek için bu metodu geliştirmiştir. Bir hayli başarılı olan ve kendi adı ile anılan bu yöntem 'Balık kılıçığı diyagramı' da denilmektedir.

Uygulaması oldukça basit olan bu yöntem sorunun nedenlerini sistemli bir biçimde araştırmaya yöneliktir.

Diyagramın sol tarafında 'nedenler' sağ tarafında 'sonuç' yer alır. Nedenler ana gruplar halinde ele alınırlar. Her ana nedenin alt nedenleri vardır.

Nedenler bir grup çalışması kapsamında tesbit edildikten sonra ağırlıklı olanlar ortaya konulur ve çözüm önerileri belirlenir.

Ishikawa diyagramı, özellikle proseslerin geliştirilmesinde, kalite, üretkenlik ve maliyetlerin optimizasyonunda, hataların analizinde, reklamsyonların değerlendirilmesinde, tesis duruşlarının azaltılmasında sıkça uygulanır. Resim 5' de Ishikawa diyagramı temel prensibi olan nedenlerin ana grupları gösterilmektedir.



Resim 5: Ishikawa Neden-Sonuç diyagramı (Balık kılıcı diyagramı)

4.6. Serpme Diyagramları (Streu-Diagramme, Scatter-Plot) (7)

Bir değişkenin başka bir değişkenle ilişkisinin incelenmesi için bu değişkenlerle ilgili değerlerin bir diyagram üzerinde gösterilmesidir. Örneğin; Lamel grafitli gri dökme demirin karbon eşdeğeri, yani $CE = C + (1/3)(Si + P)$ değeri ile çekme mukavemeti arasında doğrusal bir ilişki vardır. Karbon eşdeğeri ile çekme mukavemeti değeri azalır. Malzeme spesifikasyonunda çekme dayanımı alt sınırı 250 N/mm^2 olarak verilmişse, üretilen silindir gömleklerinin bu özelliği hangi CE –değerinde güvenilir bir şekilde yerine getirdiği tesbit edilebilir.

Bu matematiksel ilişkinin bulunması işlemine regresyon analizi adı verilir. Önceden belirlenmiş matematiksel model ile x-değişkeninin y-hedef büyüklüğüne etkisi ve iki değişken arasındaki ilişkinin en iyi şekilde tanımı yapılır. Değişkenler arasındaki ilişkinin büyüklüğü korelasyon kat sayısı R ile ifade edilir. Toplam değişimde regresyon doğrusunun sahip olduğu pay ne kadar fazla ise, matematiksel modele uygunluk o kadar fazladır. Bu oran belirtme kat sayısı B olarak tanımlanır:

$$B = \frac{S^2xy}{(Sx \cdot Sy)} \quad S = \text{farkların karelerinin toplamı}$$

$$Sx = \sum (xi - x0)^2$$

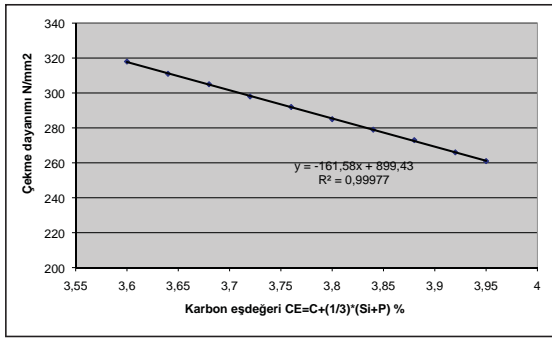
$$Sx = \frac{\sum (xi^2) - (\sum xi)^2}{n}$$

Korelasyon kat sayısı $R = \sqrt{B}$ dir ve her zaman $-1 \leq R \leq 1$ değerleri arasındadır. R-değerleri bu değerlere ne kadar yakınsa iki değişken arasındaki ilişki o kadar kuvvetlidir, önem düzeyi yüksektir.

Matematiksel ilişkiler aşağıdaki ilişkiler halinde tanımlanabilirler:

- Basit doğrusal regresyon
- Çoklu doğrusal regresyon
- Eğrisel regresyonlar, logaritmik, polinomial

Resim 6 karbon eşdeğeri ile çekme dayanımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Tüm değerler bir doğru üzerinde olup, çekme dayanımı direkt olarak karbon eşdeğeri tarafından belirlenmektedir.



Resim 6: Lamel grafitli dökme demir kopma mukavemeti, kuma döküm parça çapı 30 mm.

4.7. Proses Yönlendirme Çizelgeleri (Qualitaetsregelkarte, SPC) (4,7,8)

Olayların zaman içindeki gelişmelerini izlemek, değerlendirmek ve yönlendirmek için dinamik bir süreç kontrol yöntemi gerekir. Modern kalite kontrolünün yaratıcı sayılan W. Shewhart bu istatistiksel kontrol çizelgelerini geliştirmiştir.

Kontrol çizelgelerinin temelinde şu soruya yanıt arayışı gelir, 'mevcut bir prosesin kontrol edilebilirliği, yani yeteneği, hangi sınırlar içersindedir ve ne zaman önlem alınmalıdır?

Proses yönlendirme çizelgelerinin amaçları aşağıda verilmiştir:

- Proses kontrol çizelgeleri uygulanan prosesin ölçülen karakteristik değerinin istatistiksel olarak kontrol altına alınması için sürekli gözlenmesi ve yönlendirilmesidir,
- Bu yöntemle hataların tesbiti yerine önlenmeleri sağlanır,
- Sıfır hata felsefesinin uygulaması için en etkin araçtır. Proses kabiliyeti Cp değeri ile hatalı ürün sayısı arasındaki ilişkiler aşağıda verilmiştir:

Cp	ppm (1/1000000)	T=(ÜTS-ATS) T= 6* σ
0.5	133614	
0.67	45500	
0.83	12419	
1	2700	
1.33	64	
1.5	6.8	T = 9* σ

Proses yönlendirme kartları değişken ve niteliksel değerler için 2 şekilde kullanılır. Ayrıca değişken değerler içinde:

- Kaymalı aritmetik ortalama
- Aritmetik ortalama
- Mod-değeri
- Medyan- değer ve
- Standart sapma ,s
- Açıklık, R için uygulanır.

4.7.1. Kaymalı Aritmetik Ortalama ve Açıklık R Değerleri Proses Yönlendirme Çizelgeleri

İstatistiksel proses yönlendirme kartlarının uygulanmasında genel olarak örnek grupları 3 veya daha fazla sayıda gözlem değerlerini içerirler. Bazı özel durumlarda bu şekilde bir çalışma uygun ve pratik olmayabilir. Bu durumlar :

- Kimyasal veya diğer sürekli akışlı proseslerde aynı zamanda alınan örneklerin değerleri arasında farklılık yoktur. Metalurjik proseslerde de bu duruma sıkça rastlanılır. (R=0)
- Örnek ve ölçüm maliyetinin çok yüksek olması durumunda. Kaymalı ortalama değer ve açıklık proses yönlendirme çizelgelerinde birbirini takip eden 3 veya daha fazla örnek değerleri ortalamaları ve bu değerlerin açıklığı R gösterilir.

$$(X_1+X_2+X_3)/3 = X\text{-ortama değeri}$$

$$X_{\max}-X_{\min} = R\text{-açıklık}$$

Kontrol sınırları bu değerlerden şu şekilde saptanılır:

$$\text{ÜKS} = X\text{-ortalama} + 3*\sigma$$

$$\text{AKS} = X\text{-ortalama} - 3*\sigma$$

$$\sigma = R\text{-ortalama} / d_2$$

Burada, σ = Proses standart sapması ve d_2 = örnek sayısına bağlı olan kat sayısıdır, 3 için 1.693

Bu yönlendirme kartı kısa sürede ani proses sapmalarını ikaz eder. d_2 değerleri proses standard sapmasının açıklık değerinden saptanmasını sağlar.

Örnek sayısı	d_2
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.543

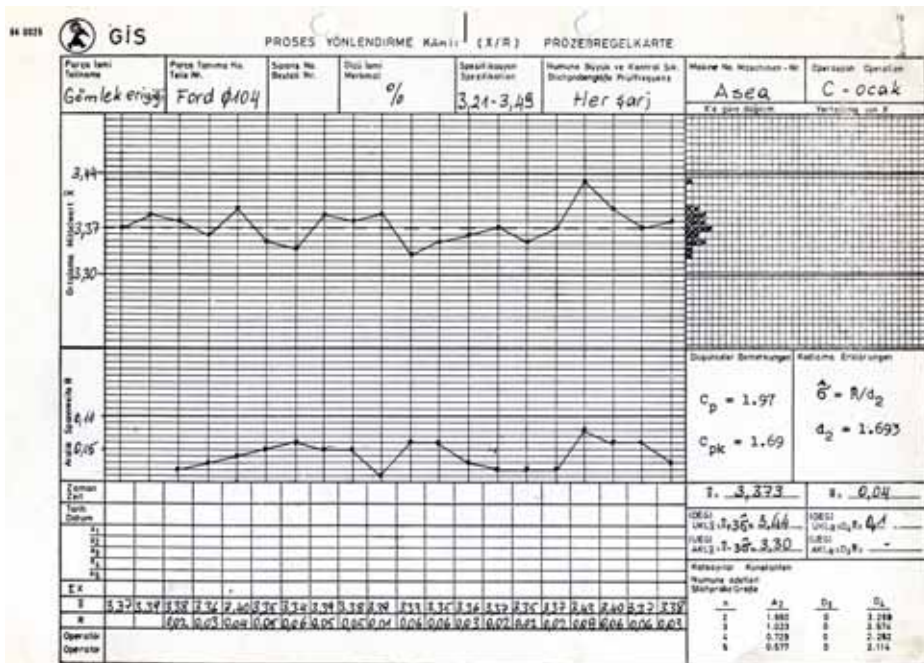
Örnek olarak ergitme ocağı Si-miktarı için bir proses yönlendirme çizelgesine yazılan değerlerden, $n=3$

Ortalama \bar{X} (18 ortalama değerin)	= 2.11 %
Açıklık	= 0.048 %
Proses standart sapması	= 0.028 ve
ÜKS	= 2.19 %
AKS	= 2.09 % ve
R-ÜKS	= 0.1 % saptanılmıştır.
R-ÜKS	= R-ortalama * D_4
D_4 örnek sayısına bağlı olan diğer bir kat sayı $n=3$, $D_4=2.28$	

Malzeme spesifikasyonunda verilen Si-değeri tolerans sınırlarından bundan sonraki örneklerde saptanılacağı gibi proses kabiliyeti indekslerini hesaplayabiliriz.

Resim 7'de bekletme ocağı karbon miktarının proses kontrol kartı gösterilmiştir. Tek değer, kaymalı range (açıklık) kartında saptanılan değerler:

Ortalama karbom miktarı	% 3.373
Ortama açıklık farkı	% 0.04
Proses standart sapması	% 0.024
ÜKS	% 3.445
AKS	% 3.301
C_p	1.97 ve
C_{pk}	1.69 dur.



Resim 7: Tek değer, kaymalı açıklık proses kartı

4.7.2. Aritmetik Ortalama/Açıklık (X/R) Proses Yönlendirme Çizelgeleri

Üretim esnasında belirlenmiş aralıklarla ve yine önceden tesbit edilmiş sayılarda örneklemler alınır ve aşağıda verilen ilişkilerden yararlanılarak değerlendirme yapılır.

Örnekteki numumune sayısı	n
Örnek sayısı	k
1 Örnek ortama değeri	X1
1 Örnek açıklık değeri	R1

Örnekler ortalama değeri	$X=(X1+\dots+Xk)/k$
Örnekler ortalama açıklık	$R=(R1+\dots+Rk)/k$

ÜKS (Proses üst kontrol sınırı)	$=X+(A_2 * R)$
AKS	$=X-(A_2 * R)$

Açıklık değeri,ÜKS	$=D_4 * R$
Açıklık değeri,AKS	$=D_3 * R$

Proses kabiliyetinin saptanılması:

ÜTS=Üst tolerans değeri, ATS= Alt tolerans değeri
T= ÜTS-ATS

$$Cp= T/(6*\sigma) \quad s = R / d_2$$

Cpk-alt değeri	$= (X-TAS) / (3*\sigma)$ ve
Cpk-üst değeri	$= (ÜTS-X) / (3*\sigma)$

X/R kalite yönlendirme çizelgeleri kontrol limitleri ve proses standart sapmaları kat sayıları

N	d ₂	D ₃	D ₄	A ₂
2	1.13	-	3.27	1.88
3	1.69	-	2.57	1.02
4	2.06	-	2.28	0.73
5	2.33	-	2.11	0.58
6	2.53	-	2.00	0.48

Örneğin:

Bir silindir gömleği honlama yüzeyi sertlik değeri X/R proses yönlendirme kartı ile yönlendirilecektir.

Malzeme spesifikasyonu sertlik değeri 93-104 HRB dir.

Numunelerin alınması: Her şarjdan 3 adet gömlek alınmış ve hazırlanan numuneler üzerinde honlama yüzeyi sertliği ölçülmüştür. Ölçüm hassasiyeti tolerans aralığının 1/10'undan küçüktür.

Toplam örnek sayısı 29 dur.

Ölçüm değerleri çizelgede verilmişlerdir:

Örnek No.	X1	X2	X3	X	R	s	s ²
1	95.2	95.4	95.1	95.23	0.3	0.15	0.0225
2	95.7	95.4	95.3	95.47	0.4	0.21	0.0441
3							
4							
5							
.							
.							
.							
29	95.7	96	95.2	95.63	0.8	0.4	0.16

Bu değerlerden:

Gözlem değerleri ortalaması	X= 95.57
Ortalama açıklık	R= 0.97
Ortalama standart sapma	S=0.51
ÜKS= X+ A ₂ *R ve	ÜKS=95.57+ 1.023*0.97

ÜKS=96.56 ve
AKS=94.58 saptanılır.

Proses kabiliyeti indeksleri de:

$$C_p = T / (6 \cdot \sigma) \quad \sigma = R/d_2 \text{ ve}$$

$$C_p = 11 / (6 \cdot 0.57) = 3.21$$

$$C_{pk} = (95.57 - 93) / (3 \cdot 0.57) = 1.50 \text{ bulunur.}$$

Değerlendirme:

1. $C_{pk} < 1$ olduğunda proses kabiliyeti mevcut değildir, proses sapmalarının ve tolerans ortalama değerine yakın bir şekilde gözlem değerlerinin mevcut olması, dağılımı sağlanmalıdır,
2. Eğer C_{pk} değeri $1 \leq C_{pk} \leq 1.33$ arasında ise sınırlı proses kabiliyeti mevcuttur, prosesin iyileştirilmesi gerekir,
3. $C_{pk} \geq 1.33$ ise kabiliyetli bir proses mevcuttur.

Örneğimizde $C_{pk} \geq 1.33$ olduğundan proses kabiliyeti vardır.

4.7.3. Aritmetik Ortalama /Standart Sapma(X/s) Proses Yönlendirme Çizelgeleri

Yukardaki örneğimizi X/s-proses yönlendirme çizelgesi üzerinde gösterdiğimizde aşağıdaki eşitlikler yardımı ile proses kabiliyet indeksleri ve x-değeri kontrol sınırları şu şekilde saptanılır:

Örnekler ortalama değeri
 $\bar{X} = 95.57$ HRB

Örneklerin tek değerler standart sapması
 $\sigma = \sqrt{s^2/k} = 0.59$

Örnek ortalama değerleri standart sapması
 $\sigma_x = \sigma / \sqrt{n} = 0.34$

$$\text{ÜKS} = \bar{X} + 3 \cdot \sigma_x = 96.59 \text{ HRB}$$

$$\text{AKS} = \bar{X} - 3 \cdot \sigma_x = 94.55 \text{ HRB}$$

$$\text{ÜKS}(s) = \sigma \cdot B_4 \cdot a_n = 1.34 \text{ ve}$$

$$\text{AKS}(s) = \sigma \cdot B_3 \cdot a_n = 0$$

Proses kabiliyeti indeksleri de,

$$C_p = T / (6 \cdot \sigma_x) = 3.11$$

$$C_{pk} = 2.57 / (3 \cdot 0.59) = 1.45 \text{ saptanılır.}$$

X/s-proses yönlendirme değerlerinin saptanılmasında kullanılan sabiteler aşağıda verilmiştir:

N	a_n	$B_4 \cdot a_n$	$B_3 \cdot a_n$
2	0.798	2.607	0
3	0.886	2.276	0
4	0.921	2.088	0
5	0.940	1.964	0
6	0.952	1.874	0.029

Kontrol sınırlarının saptanmasında x- değerinin güven bölgesi % 99.73 olarak alınmaktadır.

X/s-proses yönlendirme çizelgelerinde örneklerdeki numune sayısı 3'ten büyük olarak alınır. Standart sapma değerlerinin saptanılması hesap makinaları yardımı ile kolayca yapılır. Numune sayısının fazla olması sonuçların daha doğru olmalarını sağlar.

4.7.4. Niteliksel Gözlem Değerleri Proses Yönlendirme Kartı

Niteliksel gözlem değerleri olarak en sık raslanan örnek hatalı parça sayısıdır.

Aşağıdaki verilerin mevcut olduğunu varsaydığımızda:

Kabul edilebilir hatalı ürün oranı p max, p max=0.035

Bir örnekteki numune adedi n=400

Toplam örnek sayısı k=15

Tesbit edilen hatalı parça sayısı np np=41

Hatalı parça oranı $p = np / (n \cdot k)$

$$p = 41 / (400 \cdot 15) = 0.0068$$

Proses standart sapması $\sigma = \sqrt{p(1-p)/n}$

$$\sigma = \sqrt{0.0068 \cdot (1 - 0.0068) / 400}$$

$$\sigma = 0.0041$$

Kontrol sınırları da,

$$\text{ÜKS} = p + 3 \cdot \sigma = 0.091 \text{ ve}$$

$$\text{AKS} = p - 3 \cdot \sigma = -0.0055 \text{ AKS} = 0 \text{ dir.}$$

Proses kabiliyeti indeksi,

$$C_{pk} = (p \text{ max} - p) / (3 \cdot \sigma) \text{ ve}$$

$$C_{pk} = 2.29 \text{ saptanılır.}$$

4.7.5. Proses Kontrolü ve Kabiliyetinin Geliştirilmesi

Proses yönlendirme çizelgeleri ile bir prosesin istatistiksel verilerle kabiliyeti tesbit edilir.

Bunun için gözlem değerlerinin bir normal veya buna yakın bir dağılıma sahip olmaları şarttır. Bu çalışmalar daha kısa süreli proses yönlendirme çalışmaları safhasında varyans analizi ile ortaya konulur. Bu analiz bize ortalama değerler arasındaki farklılıkların tek tek gözlem değerlerinin farklılığından ileri olup olmadığını gösterir.

Normal dağılım gözlem değerleri arasındaki farklılıkların raslantılar sonucu meydana gelmelerini gerekli kılmaktadır. Gözlem değerleri ürünlerin şarjlarından veya işleme prosesi esnasında kullanılan kesici uçların aşınmasından doğan etkenlerle sistematik bir farklılık gösterebilirler. İşte bu durumlarda proses kontrol çizelgeleri bize önlem almamızı ikaz eder. Bu durumlar aşağıda verilmiştir:

1. Çizelgede işlenen her hangi bir gözlem değeri kontrol sınırları dışında bulunduğunda,
2. Ard arda alınan 7 gözlem değeri ortalama değerinin altında veya üzerinde ise
3. Ard arda alınan 7 gözlem değerleri devamlı yükseliyor ve alçalıyor,
4. Ard arda alınan 3-4 gözlem değeri kontrol sınırlarına çok yakınsa

Proseste gözlem değerinin saptanılan kontrol sınırları dışına çıkması halinde en son alınan numuneden itibaren üretilen bütün parçalar, ayrılır, tanım etiketi konularak tekrar kontrol edilirler.

Kaynaklar:

1. İ.Kavrakoğlu
Kalite Cep Kitabı
KalDer Yayınları 3,Nisan 1993
2. Ş.Muter
Küreselleşme
Mercek Temmuz 1997,S.22-26
3. İzgiz, S.
Deney Tasarımı ve Taguchi Methodu
2001 Federal-Mogul Yayını
Meclisi Mebusan Caddesi Nr 133 80040 Fındıklı-İstanbul

4. İzgiz, S.
İstatistikî proses kontrolü
Metalurji,1993,S.12-27
5. İzgiz, S.
Taguchi kalite tanımı ve uygulamalar
Metalurji 1994,S.27-36
6. Zimmer,H. ve M.Graf
Qualitaetsbewustes Handeln Robert Bosch GmbH
1992, Zentralabteilung Qualitaetssicherung
7. Ishikawa, K.
Guide to Quality Control
ISBN 92-833-1035-7, 1986
Asian Productivity Organization Tokyo-Japan 1982
8. VDA Quaitaetsmanagement in der
Automobilindustrie
Sicherung der Qualitaet vor Serieneinsatz Teil 1
ISBN 0943-9412,1996
9. Suzaki, K.
Modernes Management im Produktionsbetrieb
ISBN 1-446-15305-5
10. Miyauchi, I
Quality Management in Japan
ISBN 975-7152-58-7
11. Wagner,G ve R.Lang
Statistische Auswertung von Mess-und
Prüfergebnissen
Beuth Vertrieb GmbH Berlin
1 Auflage ASQ/AWF 14,1968