

## Kalite Denetiminde Taguchi Yaklaşımı

Mesiha SAAT\*

Taguchi Approach has involved combining engineering and statistical methods to achieve the lowest cost and best quality simultaneously. Taguchi methods refers to parameter design, tolerans design, the quality loss function, on-line quality control, design of experiments using orthogonal arrays and methodology. This paper provides an overview of the Taguchi Approach.

Japonya'da Toplam Kalite anlayışının gelişmesinde önemli katkılara sahip olan Ishikawa Kaoru Japonya'da gelişen kalite hareketinde, kalite denetim çabalarının evriminde üç aşama olduğunu belirtmektedir. Bunlar, 1) geleneksel muayene, 2) istatistiksel kalite denetimi, 3) ürün ve süreç tasarımıdır. (Kaoru, 1984: 16) Ürün ve süreç tasarımında kalitenin geliştirilmesi konusunda en önemli katkıyı yapan Genichi Taguchi Japonya'nın endüstriyel ürün ve süreç geliştirmesinde 1940 sonlarından beri aktif olarak yeralan bir Japon makine mühendisidir. Ağırlıklı olarak istatistiksel kavram ve araçlara, özellikle istatistiksel deney tasarımına dayalı kalite geliştirme için hem felsefe hem de metodoloji geliştirmiştir.

Taguchi'nin kalite felsefesini yedi noktada özetleyebiliriz. (Kackar, 1986: 21)

1. Ürün kalitesinin önemli bir boyutu, o ürünün kalitesizliğinin toplumda yolaçabileceği toplam kayıp olarak ifade edilebilir.
2. Rekabetçi bir ekonomide işletmenin varlığını sürdürebilmesi için kaliteyi sürekli olarak geliştirmesi ve maliyetleri düşürmesi gereklidir.
3. Sürekli kalite geliştirme programları, ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmalarının kayda değer miktarda azaltulmasını içermelidir.
4. Ürün performansındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ve müşterilerin katlandığı kayıp, yaklaşık olarak, performans karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesi ile doğru orantılıdır.

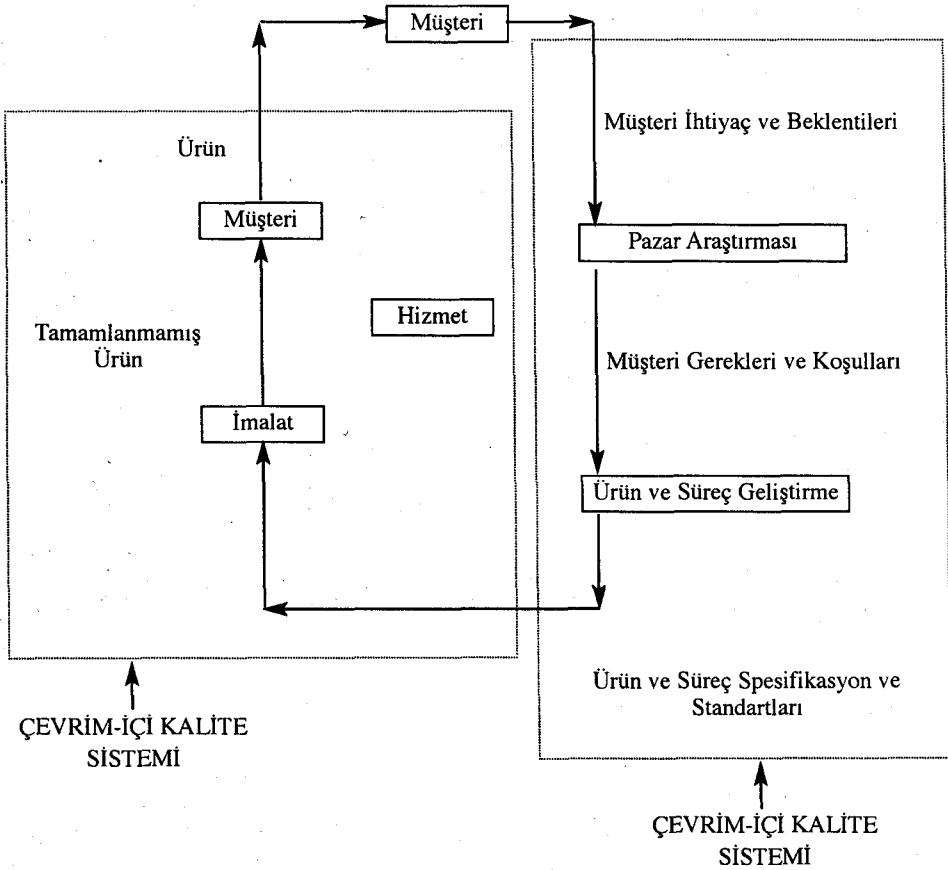
\* Yrd.Doç.Dr., Gazi Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü Öğretim Üyesi.

5. Ürünün nihai kalite ve maliyeti, önemli oranda ürünün ve imalat sürecinin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir.

6. Ürün veya sürecin performans varyansı, ürün ve süreç parametrelerinin performans karakteristikleri üzerindeki eğrisel etkileri giderilerek azaltılabilir.

7. İstatistiksel olarak planlanmış deneyler performans varyansını azaltan ürün veya süreç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Kalitenin üretimden önce, tasarım aşamasında başladığını öne sürerek kalite düşüncesinde devrim yapan Taguchi'nin kalite felsefesi incelediğinde, başlıca iki temel ilke görülmektedir. Bunlardan birincisi çevrim-dışı (off-line) kalite denetimidir. Bu denetim, tasarım sürecinde üründeki sapmaların azaltılmasının yaşamsal önemini ortaya koymaktadır. Taguchi üretim/kalite sisteminde kaliteyi sağlamak için yer alan ve yapılan faaliyetleri iki bölüme ayırmaktadır. Bu durum aşağıda Şekil-1'de görülmektedir.



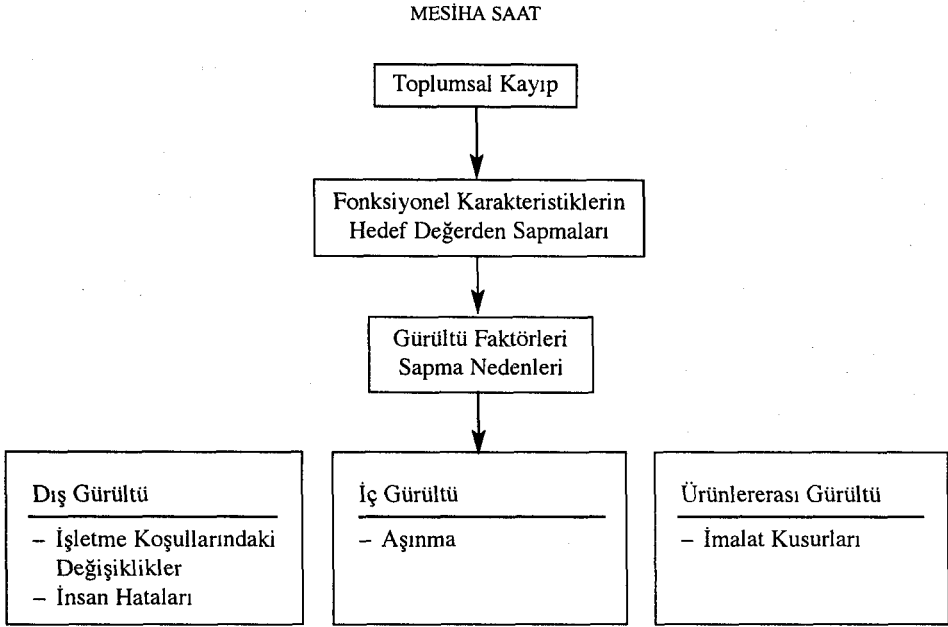
Şekil 1. Üretim/Kalite Çemberi (Şirvancı, 1997: 14)

Bunlardan birincisi, çevrim-içi (on-line) kalite denetimidir. Çevrim-içi kalite denetimi ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin hizmet sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel süreç denetimi ve çeşitli muayeneler çevrim-içi kalite denetimi faaliyetlerindedir. İkincisi ise, çevrim-dışı kalite denetimi pazar araştırması ile ürün ve üretim sürecinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarınıdır. (Şirvancı, 1997: 14) Çevrim-dışı kalite denetimi ile ürün geliştirme veya süreç tasarımının mümkün olabilen en düşük maliyetle ürün veya süreç geliştirmesi sağlanmaya çalışılır.

Ürün geliştirmede, tasarım mühendisleri malzeme, parça şekil ve özelliklerini içeren komple ürün tasarım spesifikasyonlarını geliştirirken, süreç mühendisleri ise buna uygun süreç tasarımını yaparlar. İmalat mühendisleri ise, üretim sürecini kullanarak tasarlanan ürünün üretimini gerçekleştirirler. Sonuç olarak, ürün kalitesiyle ilgili sorun, özellikle ürün tasarımı aşaması daha sonra süreç tasarımı ve imalat aşamalarına önem vermeyi gerektirir. Geliştirilmiş süreç tasarımları hem imalat kusurlarını hem de buna bağlı olarak süreç denetimleri ihtiyaçlarını azaltmaktadır.

İkinci ilke ise, kayıp kavramı ve tasarım kavramını temel almaktadır. Taguchi kaliteyi, ürünün yeterli bir kalite düzeyine ulaşmaması durumunda uğradığı kayıp olarak tanımlamaktadır. Bu kayıp müşterinin memnuniyetsizliği, yenileme veya tamir maliyetleri, pazardaki imaj kaybı ve pazar payı kaybı olarak ifade edilebilir. Taguchi oldukça istatistiksel olan yaklaşımına bağlı kalarak, bir ürünün yalnızca spesifikasyonlara uymaması durumunda değil, aynı zamanda bir hedef değerden sapması durumunda da bu kaybın ortaya çıkacağını ifade etmektedir. Kalite kaybı, bir ürün teslim edildikten sonra topluma yüklenen bir kayıptır. Bu toplumsal kayıp bir ürünün istenilebilirliğini belirler. Burada kaybın az olması ürünün istenilebilirliğini artırır. Taguchi için toplumsal kayıp kalite maliyetine ilişkin kararları etkiler. Diğer bir deyişle, kalite geliştirme için yapılan yatırımlar, yalnızca işletmede değil, toplumda yaratacağı tasarruflarla karşılaştırılmalıdır. Sonuçta, toplum işletmeyi toplumda sağlayacağı tasarruflara bakarak ödüllendirecek veya cezalandıracaktır. (Schonberger ve Knod, 1991: 156)

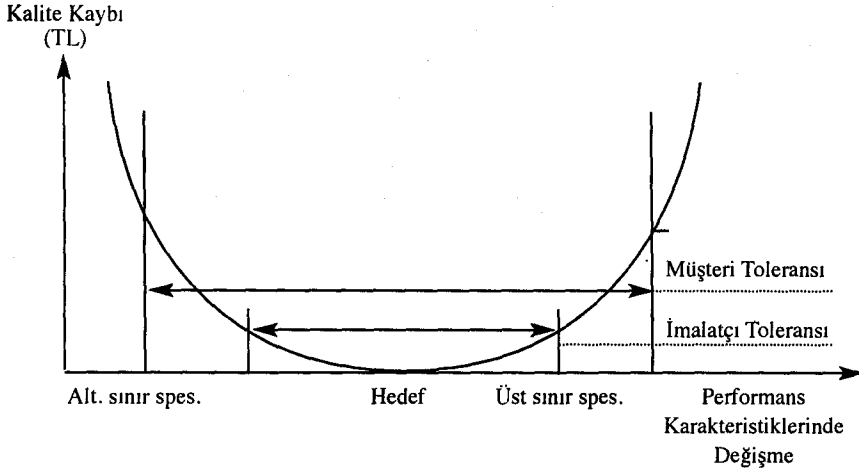
Taguchi'nin topluma olan kayıp düşüncesi aşağıdaki şekilde gösterilebilir:



**Şekil 2.** Toplum Olan Kaybın Yapısı (Byrne and Taguchi, 1987: 20)

Ford Şirketi'nin 1980'lerdeki bir deneyimi, parça üretiminde hedef değerden sapma sonucunda oluşan değişkenliğin, işletmeye parasal kayıp olarak döndüğünü ortaya koymuştur. Ford Şirketi, imal etmekte olduğu otomobillere şanzıman üretmek üzere iki ayrı firmaya sipariş vermiştir. Tedarikçi firmalardan biri Ford Şirketi'nin A.B.D.'deki kendi üretim tesisi, diğeri ise Japon Mazda firmasıdır. Her iki firma da şanzımanları, Ford'un spesifikasyonlarına uygun olarak üretip teslim ederler. Garanti süresi içinde şanzıman sorunlarından kaynaklanan garanti talepleri ortaya çıkar. Ford yetkilileri sorunlu şanzımanları üretici firmaya göre sınıflandırdıklarında, A.B.D. firmasının ürettiği parça grubunun sayısal olarak diğerinden birkaç kat daha fazla olduğunu görürler. Bunun üzerine parçaların bazı kritik performans değerlerinin olasılık dağılımlarını hesaplarlar. Burada her iki firmanın ürettiği parçaların performans ortalamaları aynı olmakla birlikte, A.B.D. firmasının parçalarının performanslarının standart sapması, dolayısıyla varyansı Mazda'ninkilerden daha fazladır. Bu durumda A.B.D. firmasının parçaları daha sık arıza yapıp Ford'un maliyetlerini arttırmaktadırlar. (Gunter, 1987: 46)

Taguchi, aşağıda Şekil 3'te görüldüğü gibi, kalite kaybını karesel (ikinci dereceden) kayıp fonksiyonuyla açıklayarak parasal kayıp fonksiyonel spesifikasyonlarla birleştirmiştir. (Schonberger ve Knod, 1991: 157) Kayıp, ürünün fabrika çıkışından sonra ortaya çıkan tüm kayıpların toplamı olarak ifade edilir. Hedef değerden sapma arttıkça, kayıp sapmanın karesi miktarında artmaktadır.



Şekil 3. Kalite Kayıp Fonksiyonu

Taguchi'nin kalite kayıp fonksiyonu aşağıdaki formüle göre ifade edilmektedir:

$$\text{Kayıp} = k (Y - T)^2$$

Burada T hedef değer, Y değişkenin ölçülen değeri ve k ise sapmayı para birimine çeviren katsayıdır. Kayıp fonksiyonu çeşitli şekillerde yorumlanabilir. Örneğin kaybın azaltılması için varyansının azaltılması gerekmektedir. Ayrıca, kaybın azaltılması için ürün ve sürecin sürekli olarak iyileştirilerek hedeften sapmaların azaltılması gerekir. Yalnızca spesifikasyonları karşılamak kalitenin zayıf bir göstergesidir. Kalite ölçütü öngörülen hedeften uzaklaştıkça performans da buna bağlı olarak aşınmaktadır. Önemli olan spesifikasyonlar karşılandığı halde varyansın azaltılmasıdır. (Barker, 1986: 32)

Taguchi, yukarıda sözü edilen ikinci ilkesinde yer alan tasarım kavramını, kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de süreç tasarımı için üç kalite aşaması biçiminde tanımlamıştır. Bunlar, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır. (Noori and Radford, 1995: 186 - 190 )

1. *Sistem Tasarımı*: Müşterilerin ihtiyaçlarını ve işletmenin kendi yeteneklerini kullanarak bir ilk ürün tasarımı geliştirilir. Bu tasarım performans karakteristiklerinin değerini etkileyen parametre değerlerinin belirlenmesini içerir. Ürün tasarımı aşamasında malzeme, parça, prototip ürün parametre değerleri seçimi vb., süreç tasarımı aşamasında üretim ekipmanı ve geçici süreç faktörleri değerlerinin seçimi söz konusudur.

2. *Parametre Tasarımı*: Nihai ürünlerdeki varyansa en fazla katkıda bulunan faktörler belirlenir. Mühendislik tasarımlarının varyansın kaynaklarına duyarlılığını, diğer bir deyişle topluma vereceği beklenen zararı minimize eden değerleri belirlemek için bir dizi deneyler yapılır.

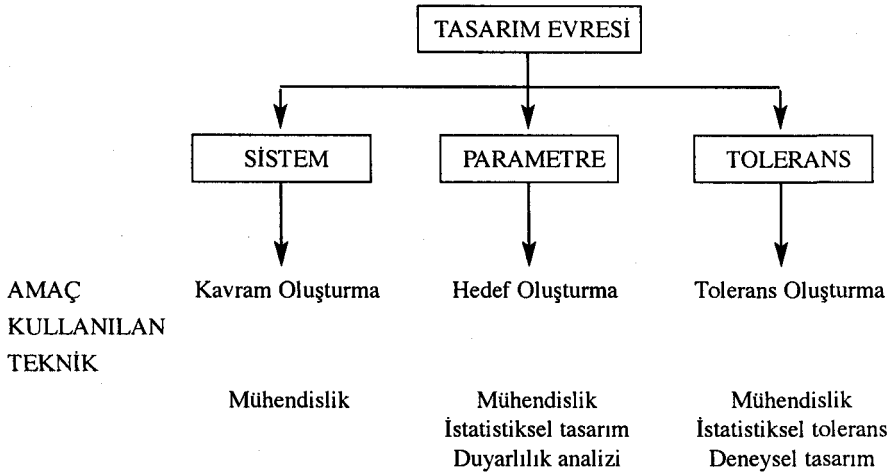
**102** Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin malzeme (çelik, lastik, kağıt, plastik vb.) formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek varyansları enaza indirerek ürünün hem imalat hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır.

Süreç parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat süreç parametreleri (hat hızı gibi çeşitli hızlar, fırın sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıklar, çeşitli basınçlar ve çeşitli süreler) için optimal düzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır.

Her iki parametre tasarımında da amaç, üründe ve süreçte varyansın (hedef değerden sapmanın, yani kalitesizliğin) minimize edilmesidir. Varyansa neden olan iki tür faktör bulunmaktadır. Bunlar kontrol edilebilen faktörler ve gürültü faktörleridir (kontrol edilemeyen faktörler). Bu gürültü faktörleri kontrol edilmesi çok zor ve çok pahalı olan, ya da kontrolü imkansız olan faktörlerdir. Ürünün fonksiyonel karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına neden olan, bir başka deyişle kalitesizliğe yol açan gürültü faktörleri, iç gürültü faktörleri, dış gürültü faktörleri ve ürünlerarası gürültü faktörleri olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır. İç gürültü faktörleri, üretilecek ürünün belirlenen karakteristik değerlerinden sapmasına neden olan faktörlerdir. Bunlar imalat hataları, ürün aşınması vb.'dir. Dış gürültü faktörleri ise, ısı, nem oranı, toz, voltaj düzeyi, üretimdeki insan değişkenliği gibi çevresel faktörlerdir. Bunlar ürünün belirlenen karakteristik değerinden ortaya çıkan sapmayı artırıcı yönde etki yaparlar. Ürünlerarası gürültü faktörleri aynı spesifikasyona göre imal edilmiş olmalarına karşın parçalar arasında görülen farklılıklardır. Örneğin enjeksiyon yoluyla yapılan plastik döküm işleminde, ısı ve nem dış gürültü faktörlerini, makinelerin yaşı ve üretim sürecindeki toleranslar iç gürültü faktörlerini, imalattaki hatalar ürünler arasındaki gürültü faktörlerini oluşturmaktadır. Parametre tasarımı aşamasında gürültü faktörlerine karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal olacak şekilde belirlenmesi, ürün ve süreçteki varyansı minimuma indirebilir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına robüst tasarım demektedir. Burada robüst, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı, yol durumu gibi çevre koşullarına, müşterilerin bu ürünü kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemelerdeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır. Bir ürün veya sürecin robüstlüğü, bu ürün veya sürecin performansı ve kontrol edilemeyen faktörlerin bu performansı etkilemesi açısından tanımlanmaktadır. (Snee, 1993: 37) Taguchi gürültü faktörlerinin kalite üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ya da ortadan kaldırmak, bir başka deyişle robüst tasarıma ulaşmak için deney tasarımı uygulamasını önermiştir.

3. *Tolerans Tasarımı*: İkinci aşamadaki hedef tasarım parametre değerleri için kabul edilebilir toleranslar belirlenir. Bu aşamada tasarım toleransları uygulamaya konulur. Parametre tasarımıyla elde edilen azaltılmış değişkenlik yeterli değilse tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımı aşamasında, varyansları, çıktı değişimlerinde büyük etkiye yol açan ürün parametreleri ile süreç faktörleri toleranslarının daraltılmasına çalışılır. Tolerans tasarımı, daha iyi derece malzeme, parça, makine alımı için para harcayarak gerçekleştirilebilir.

Kalite yaratmak için kullanılan üç tasarım aşaması aşağıdaki şekilde özetlenmiştir: (Gunter, 1987: 47)



Şekil 4. Tasarımın Üç Aşaması

Taguchi yaklaşımında sistem ve parametre tasarımı bir yandan daha yüksek kalite elde ederken aynı zamanda maliyetleri düşürme olanağı sağlamaktadır. Tolerans tasarımı ise daha yüksek kalite için daha yüksek maliyetlere katlanmayı zorunlu kılmaktadır. (Gunter, 1987: 44) Bu nedenle Taguchi yaklaşımında sistem tasarımı ve özellikle parametre tasarımının önemi çok fazladır. Taguchi parametre tasarımı için deney tasarımı uygulamasını önermiştir.

### TAGUCHI YAKLAŞIMINDA DENEY TASARIMI

Deney tasarımı daha önce geliştirilmiş olmasına rağmen, bu kavramı ürün performansındaki varyansın azaltılması için ilk uygulayan kişi Taguchi olmuştur. Taguchi deney tasarımının kullanımının şu noktalarda önemli olduğunu belirtmiştir: (Box and Bisgaard, 1987: 60)

- ortalama ya da hedef değerden olacak varyansın minimize edilmesi,
- çevre koşullarına karşı robüst ürün üretilmesi,
- parçalardaki varyansa karşı duyarlı olmayan ürünlerin üretilmesi.
- ürünlerin ömür uzunluğu konusunda yapılan testler.

104

Bunlardan ilk üç tanesi Taguchi'nin parametre tasarımı adını verdiği kategorilerdir. Taguchi deney tasarımında, ürün ya da sürecin performans karakteristiğini etkileyen faktörleri şu şekilde belirlemektedir: (Logothetis, 1992: 300)

1. Kontrol edilebilen faktörler (tasarım faktörleri) : bunlar değerleri tasarım ya da süreç mühendisi tarafından kolayca belirlenebilen faktörlerdir.
2. Kontrol edilemeyen faktörler (gürültü faktörleri) : bunlar çoğu kez üretim ortamı ile ilişkili olan varyansın kaynaklarını oluştururlar. Genel performansı, ideal olarak, bunlardaki varyansa duyarlı olmamalıdır.

Kontrol edilebilen faktörler kendi içinde üçe ayrılmaktadır:

1. Sinyal faktörleri (hedef kontrol faktörleri): Bunlar sözkonusu olan ortalama tepki düzeyini etkileyen faktörlerdir.
2. Varyans kontrol faktörleri: Bunlar tepkideki varyansı etkileyen faktörlerdir.
3. Maliyet faktörleri: Bunlar ortalama tepkiyi ya da varyansı etkilemeyen ve ekonomik koşullara göre belirlenen faktörlerdir.

Taguchi yaklaşımıyla geleneksel tolerans yöntemleri ya da muayeneye dayalı kalite denetimi arasındaki fark, Taguchi yaklaşımında varyansa verilen bu önemdir. Burada amaç, bir yandan hedef kontrol faktörlerinde yapılan ayarlamalar yoluyla gerekli ortalama performans sürdürülürken, diğer yandan varyans kontrol faktörlerinde değişikliğe gidilerek varyansın azaltılmasıdır.

Tasarım parametrelerinin belirlenmesi için yapılan deneyin amacı gürültü faktörlerinin performans karakteristiği üzerindeki etkisini minimize eden tasarım parametreleri değerlerini belirlemektir. Bu işlem,

1. Deneyde tasarım parametreleri değerlerini sistematik olarak değiştirme yoluyla,
2. Her bir deney için gürültü faktörlerinin etkisini karşılaştırarak gerçekleştirilir. Parametre tasarımı deneyi iki bölüme oluşur: tasarım parametre matrisi ve gürültü faktörleri matrisi. Taguchi'nin parametre tasarımı deneyi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir: (Kackar, 1986: 182)



Tasarım Parametre Matrisi	Gürültü Fak. Matrisi	Performans Karakteristiği	Performans İstatistiği																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Test No.</th> <th colspan="4">Tasarım Parametreleri</th> </tr> <tr> <th></th> <th><math>\theta_1</math></th> <th><math>\theta_2</math></th> <th><math>\theta_3</math></th> <th><math>\theta_4</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>7</td><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>8</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>9</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Test No.	Tasarım Parametreleri					$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	3	1	3	3	3	4	2	1	2	3	5	2	2	3	1	6	2	3	1	2	7	3	1	3	2	8	3	2	1	3	9	3	3	2	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Gürültü Faktörleri</th> </tr> <tr> <th><math>W_1</math></th> <th><math>W_2</math></th> <th><math>W_3</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Gürültü Faktörleri			$W_1$	$W_2$	$W_3$	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	<table border="1"> <tbody> <tr><td><math>Y_1</math></td></tr> <tr><td><math>Y_2</math></td></tr> <tr><td><math>Y_3</math></td></tr> <tr><td><math>Y_4</math></td></tr> <tr><td>:</td></tr> <tr><td><math>Y_{33}</math></td></tr> <tr><td><math>Y_{34}</math></td></tr> <tr><td><math>Y_{35}</math></td></tr> <tr><td><math>Y_{36}</math></td></tr> </tbody> </table>	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	:	$Y_{33}$	$Y_{34}$	$Y_{35}$	$Y_{36}$	<table border="1"> <tbody> <tr><td><math>[Z(q)]_1</math></td></tr> <tr><td>.</td></tr> <tr><td>.</td></tr> <tr><td>.</td></tr> <tr><td><math>[Z(q)]_9</math></td></tr> </tbody> </table>	$[Z(q)]_1$	.	.	.	$[Z(q)]_9$
Test No.	Tasarım Parametreleri																																																																																																					
	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$																																																																																																		
1	1	1	1	1																																																																																																		
2	1	1	2	2																																																																																																		
3	1	3	3	3																																																																																																		
4	2	1	2	3																																																																																																		
5	2	2	3	1																																																																																																		
6	2	3	1	2																																																																																																		
7	3	1	3	2																																																																																																		
8	3	2	1	3																																																																																																		
9	3	3	2	1																																																																																																		
Gürültü Faktörleri																																																																																																						
$W_1$	$W_2$	$W_3$																																																																																																				
1	1	1																																																																																																				
1	2	2																																																																																																				
2	1	2																																																																																																				
2	2	1																																																																																																				
1	1	1																																																																																																				
1	2	2																																																																																																				
2	1	2																																																																																																				
2	2	1																																																																																																				
$Y_1$																																																																																																						
$Y_2$																																																																																																						
$Y_3$																																																																																																						
$Y_4$																																																																																																						
:																																																																																																						
$Y_{33}$																																																																																																						
$Y_{34}$																																																																																																						
$Y_{35}$																																																																																																						
$Y_{36}$																																																																																																						
$[Z(q)]_1$																																																																																																						
.																																																																																																						
.																																																																																																						
.																																																																																																						
$[Z(q)]_9$																																																																																																						

Şekil 5. Taguchi'nin Parametre Tasarımı Deney Örneği

Parametre matrisi ürün ya da süreçten sorumlu mühendisin seçtiği değerlerden oluşur. Bu değerler ürünün ya da sürecin tasarım spesifikasyonlarını belirler. Tasarım parametre matrisinin sütunları tasarım parametrelerini, satırları ise test değerlerinin farklı bileşimlerini ifade eder. Gürültü faktörleri ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmasına neden olan değişkenlerdir. Gürültü faktörleri matrisi gürültü faktörlerinin test değerlerini belirler. Bu matrisin sütunu ise gürültü faktörlerini, satırları ise gürültü düzeylerinin değişik bileşimlerini ifade eder. Deneyin tamamı tasarım parametreleri ile gürültü faktörleri matrisinin bileşiminden oluşur. Her deneyde tasarım parametreleri matrisi gürültü faktörleri matrisinin tüm satırlarıyla çakıştırılır. Böylece yukarıdaki örneği ele alırsak her deneyde dört deneme bulunmaktadır ve bunların herbiriyle gürültü faktörleri matrisindeki gürültü düzeylerinin bir bileşimi oluşturulur. Performans karakteristikleri dokuz deneyin her bir dört denemesi için tek tek değerlendirilir.

Taguchi tasarım parametreleri ve gürültü faktörleri matrisini oluşturmak için ortogonal dizinin (orthogonal arrays) kullanılmasını önermektedir. Ortogonal dizin tasarım parametrelerinin değişik sayıdaki değerlerinin belirlenmesini sağlar. Ayrıca karşılıklı olarak çift dengeleme özelliği nedeniyle deneme sayılarını minimize eder. (Kackar, 1985: 185) Örneğin otomobil direksiyonunun geliştirilmesinde mühendisler bu ürünün performansını etkileyen 13 adet kritik tasarım değişkenini belirlemişlerdir. Bu örnekte mühendislerin herbir değişken için karşılaştırma

amacıyla standart, düşük ve yüksek değer belirlemeleri durumunda, 1.594.323 adet deney alternatifini sözkonusu olacaktır. Ancak Taguchi her seferinde tek bir değişken yerine, ortogonal dizini kullanarak bu deney sayısını 27'ye düşürülmüştür. Böylece deneyleri yaparken bazı faktörleri aynı anda değiştirme yoluna gitmiştir. Böylece faktörlerin ortalama etkilerini belirlemede az sayıda deney yeterli olmaktadır. Direksiyon örneğinde yaklaşık 1,5 milyon deney yerine sadece 27 deney yeterli olmuştur (Taguchi and Clausing, 1990: 72) .

Performans karakteristiklerinin yukarıdaki şekildeki gibi sürekli olması durumunda performans istatistiği adı verilen bir ölçütü hesaplamak için tasarım parametreleri matrisinin her bir deneyinden elde edilen çoklu gözlemler kullanılır. Hesaplanan performans istatistik değerleri tasarım parametrelerinin değerlerine ilişkin daha iyi tahminlerin elde edilmesinde kullanılır. Taguchi performans istatistiği ölçütü olarak sinyal-gürültü oranının kullanmasının gerekliliğini de ileri sürmüştür. (Byrne and Taguchi, 1987: 23) Sinyal, ürünün (ya da unsurlarının veya altmontajın) bize vermeye çalıştığı şeydir. Gürültü ise sinyali olumsuz olarak etkileyen müdahalelerdir. Bunlar bazen ürünün bünyesinde yer alan unsurlardan ya da dışarıdan gelen müdahalelerdir. Örneğin Sony Şirketinin mühendisleri televizyonu tasarlarken, verici istasyonun çok uzağında, şimşeklerin çaktığı bir sırada, aynı anda mutfak robotunun çalıştığı, hatta elektrik voltajının düştüğü zamanlarda bile müşterilerin iyi görüntü veya "sinyal" vermeyi sürdüren bir tasarımı arzu edeceklerini düşünmüşlerdir. Karlanan ya da diğer rahatsız edici "gürültüleri" üreten TV alıcılarını benimsemeyeceklerdir. Müşteriler televizyonun sesini her açtıklarında görüntü kötüleşirse bundan dehşete düşeceklerdir. Bu yüzden robüstlüğü, yüksek sinyal/gürültü (S/N) oranı olarak tanımlanması akla uygundur. (Taguchi and Clausing, 1990: 70) S/N oranı belirlenen kontrol faktörleri düzeyinde fonksiyonun robüstlüğü değerlendirir. Parametre tasarımının amacı kayıpları azaltarak robüstlüğü arttırmaktır. Bu oran aynı zamanda hedef performans civarındaki varyansı da ölçer. S/N oranı varyansa neden olan kontrol edilemeyen faktörlerin mevcut olması durumunda performansın istikrar ve güvenilirliğini ölçer. (S. Taguchi, 1995: 27-33) Taguchi yetmişten fazla sinyal-gürültü oranı geliştirmiştir. Bunlardan geniş ölçüde uygulanan ve generik hale gelen üç tane sinyal-gürültü oranı aşağıda verilmektedir. (Barker, 1986: 35)

Tip N : Hedef değer en iyi (ürün boyutları, elektrik voltajı vb.)

$$S/N = 10 \log \left( \frac{\bar{Y}^2}{S^2} \right)$$

Burada ,

$\bar{Y}$  : Y değerlerinin (performans karakteristiklerinin değerlerinin) ortalaması

S : Y değerlerinin standart sapmasıdır.

Tip S : En küçük en iyi (gürültü, zararlı maddeler, kirlenme vb.)

$$S/N = -10 \log (\sum Y^2/n)$$

Tip B :En büyük en iyi (güç, mukavemet vb.)

$$S/N = -10 \log [\sum (1/Y^2)/n]$$

107

Bu üç tür problemde de amaç sinyal-gürültü oranını maksimize etmektir. Bunların maksimize edilmesi, bir yandan sinyali artırırken, diğer yandan da varyansı azaltmaktadır. Parametre-tasarım deneyi fiziksel deneyler ya da bilgisayar simülasyon deneyleri aracılığıyla gerçekleştirilebilir.

### Sonuç

Kalite geliştirmenin çok önem kazandığı günümüzde, Taguchi ürün ve süreç tasarımı aşamasında daha yüksek kalitenin daha düşük maliyetlerle elde edilebileceğini göstermiştir. Geleneksel istatistik araçlarını yeni bir anlayışla kullanarak değişkenliğe karşı duyarsız, bir başka deyişle robüst ürün ve süreçler yaratarak kalitenin gerçekleştirilebileceğini belirten Taguchi önemli ve yeni bir kalite mühendisliği düşüncesini geliştirmiştir. Teknik yönden bazı eleştirilere maruz kalmakla birlikte, bilim çevrelerinde olduğu kadar, endüstriyel uygulayıcılar için de kalite geliştirme ve maliyetleri düşürme konusunda yeni bir bakış açısı oluşturmuştur.

1940'lardan beri Japonya'da 1982'den beri A.B.D.'de yaygın bir uygulama alanı bulan Taguchi Yöntemi 1990'larda Türkiye'de az sayıda işletme tarafından uygulanmıştır. Kalite geliştirme sürecine giren her işletme Taguchi'nin deney tasarımı yönteminden yararlanabilir. Ancak Taguchi'nin bu yaklaşımının Toplam Kalite Yönetiminin bir parçası olduğu unutulmamalıdır. Bu yüzden, tasarım çalışmalarına girecek işletmelerin bu yöntemi tek başına kullanmayarak TKY'yi de hayata geçirmeye çalışması gerekli olmaktadır.

### Kaynaklar

BARKER, Thomas, R., "Quality Engineering by Design: Taguchi's Philosophy", *Quality Progress*, Dec. 1986, pp. 32-33.

BOX, George E.P. and Soren Bisgaard, "The Scientific Context of Quality Improvement", *Quality Progress*, June 1987, pp. 54-61.

- BYRNE, Diane M. and Shin Taguchi, "The Taguchi Approach to Parameter Design", **Quality Progress**, Dec. 1987, pp. 20.
- GUNTER, Berton, "A Perspective on the Taguchi Method", **Quality Progress**, June 1987, pp. 44-52.
- KACKAR, Raghu N., "Off-Line Quality Control, Parameter Design, and The Taguchi Method", **Journal of Quality Technology**, Vol. 17, No: 4, Oct. 1985, pp. 176-187.
- KACKAR, Raghu N., "Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Commentary", **Quality Progress**, 1986, 21-29.
- KAORU, Ishikawa, "Quality and Standardization: Progress For Economic Success", **Quality Progress**, 1984, 1, 16-20.
- LOGOTHESIS, N., **Managing For Total Quality, From Deming to Taguchi and SPC**, Prentice-Hall, New York, 1992.
- NOORI, Hamid and Russell Radford, **Production and Operations Management**, McGraw- Hill, Inc., New York, 1995.
- SCHONBERGER, Richard J. and Edward M. Knod, Jr., **Operations Management**, 4<sup>th</sup> ed., Irwin, Boston, 1991.
- SNEE, Ronald D., "Creating Robust Work Processes", **Quality Progress**, Feb. 1993, pp. 37-41.
- ŞİRVANCI, Mete, **Kalite İçin DeneY Tasarımı, Taguchi Yaklaşımı**, Literatür Yayınları No: 23, İstanbul, 1997.
- TAGUCHI, Genichi and Don Clausing, "Robust Quality", **Harvard Business Review**, Jan.-Feb. 1990, pp 65-75.
- TAGUCHI, Shin, "Taguchi's Quality Engineering Philosophy and Methodology", içinde, **Quality Up, Costs Down**, ed. William E. Euroka ve Nancy E. Ryan ASI Press, New York, 1995, pp. 24-39.