

# ÇOK YANITLI KALİTE KARAKTERİSTİKLERİNİN EŞZAMANLI ENİYİLENMESİNDE TAGUCHİ YÖNTEMİ VE OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE BİR UYGULAMA

Kasım BAYNAL

*Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü*

## ÖZET

Bu çalışmada, kalite ile ilgili problemlere neden olan değişkenlik kaynakları belirlenerek, kalite karakteristiklerinin eniyilenmesine olanak veren; gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin endüstriyel problemlerinde sık ve etkin olarak kullanılan Taguchi Yöntemini çok yanıtli problemlerin eniyilemesinde kullanarak, endüstriyel bir uygulama bazında da yaptığı iyileştirmeleri ve etkinliğini ortaya koymaktadır.

Kalite geliştirme yaklaşımlarından biri olan deney tasarımı esaslı Taguchi Yöntemi kısaca anlatıldıktan sonra, çok yanıtli problemler ve bunların eniyilenmesi için bir prosedür açıklanmakta ve endüstriyel bir problem ele alınarak, çok yanıtli problemlerin eniyilenmesi yaklaşımı ile çözülmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonuç bölümünde uygulanan yöntem ve çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Taguchi Yöntemi, Eniyileme, Çok Yanıtli Problemler

## ABSTRACT

In this paper, sources of variation which cause quality problems are determined and Taguchi method which has an ability to optimize of quality characteristics and has been applied quite often in the developed and developing countries' industrial applications, is applied in order to solve multiple response problems. In order to prove the improvement and efficiency of the method, an industrial application in automotive sector has been carried out.

At the beginning, we propose an algorithm which is based on Taguchi method and can optimize multi-response problems. After that an industrial quality problem has been designed and solved with multi-response optimization approach. At the last section of the study, results of the application has been criticized and discussed.

**Keywords:** Taguchi Method, Optimization, Multi-Response Problems

## GİRİŞ

Bugünün global ekonomisinde yüksek kaliteli fakat düşük maliyetli ürünler ve prosesler ayakta kalmanın anahtarı olmaktadır. Kalite bilincine sahip işletmeler maliyet ve performans üzerine rekabet etme isteği ile giderek ürün tasarımını eniyilemeye odaklanmaktadır. Ürün kalitesini geliştirmek için çeşitli yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Bunların önemli bir kısmı kalite karakteristiklerini (yanıtları) tek tek ele alarak kaliteyi sağlamaya çalışmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar yeteri kadar etkin ve ekonomik olamamaktadır. İki veya daha çok yanıtı beraber analiz ederek, ürünün kalitesi üzerindeki etkileri belirleyen ve buna göre eniyi kombinasyonları ortaya koyan yaklaşımlar da geliştirilmiştir. Bunlardan biri de Taguchi Yöntemi'dir.

Taguchi Yöntemi, üründe ve proseste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım yöntemidir (Gençyılmaz, E., Kutay, F., 2003,51). Bu yöntem; ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç vermektedir. Bunun yanında felsefe olarak, kalitenin tasarım ve proseste sağlanmasını öngörmektedir ( Taguchi,G., Clausing,D.1990,65-76).

Taguchi Yöntemi'nde faktör seviyelerinin tespit edilmesinde; gözlem yöntemi, sıralama yöntemi, sütun farkları yöntemi, varyans analizi yöntemi ve fark etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemlerinden birisi uygulanmaktadır (Ross,Philip J., 1989).

## TAGUCHİ YÖNTEMİ'NDE ÇOK YANITLI KALİTE KARAKTERİSTİKLERİ VE LİTERATÜR İNCELEME

Mühendislik deyimiyle birden fazla değişken ve her değişkenin de birden fazla seviyesi söz konusu olduğu bir problemin en uygun çözüm değerlerinin bulunması çalışmasına “çok seviyeli, çok değişkenli eniyileme problemi” denir. Çoklu seviyenin anlamı her bir parametrenin birden fazla değerden oluşmasıdır. Çoklu değişken birden fazla değişken veya faktörün işin içinde olduğu anlamına gelir. Eniyileme, probleme en iyi çözümü bulma eğilimindedir ve bu durumda en rekabetçi çözüm aranır (Sii, et al., 2001, 333).

Ürün geliştirme aşamalarında ortaya çıkan bir problem, ürün özelliklerinin istenilen kombinasyonunu veren koşulların belirlenmesidir. Bu da, birden çok yanıt değişkenininin

eşzamanlı eniyilemesini (özellikle istenilen kombinasyonunu) içeren bir problemdir (Özler, 1997, 134).

Üretim proseslerinin çoğu, çoklu kalite kriterli çıktı üretirler. Taguchi uygulamalarına ait yayınların çoğu, tekli yanıtın eniyilemesi ile ilgilidir. Bazı yazarlar çok yanıtlı problemlere ilişkin farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Ancak tüm bu yöntemler, kuvvetli bir ileri matematik bilgisi gerektirmektedir. Orta düzey elemanların bu yöntemleri anlaması ve uygulaması zordur. Kullanılması daha kolay yöntemler geliştirmek için bazı çabalar çok yanıtlı eniyilemeyi kullanmak üzere ve Taguchi yöntemlerini uygulamak için gerçekleştirilmiştir (Reddy et al., 98, 649).

Taguchi Yöntemleri, bir çok üretim yapan işletmede yoğun uygulamalara sahiptir ve plastik, otomotiv, metal üretimi, proses, elektronik, yarı iletkenler gibi çeşitli üretim alanlarında ve hizmet endüstrisinde uygulanmaktadır (Rowlands, Antony, Knoles, 2000, 78-83).

Son zamanlarda Taguchi yöntemleri robotların üretilmesinde uygulanmıştır. Wu et al, Taguchi yöntemlerini uygulayarak, yol izleme için robot proses kapasitesini belirlemiş ve eniyilemişlerdir. Liou et al, bu yöntemleri robotların kinematik parametreler için tolerans tasarımında kullanmışlardır. Taguchi yöntemlerinin kalite mühendisliğinde etkili olduğu deneysel olarak hesaplanmıştır (Kao, Gong, 1997, 158).

Chau-Yuan Ke et al, çalışmalarında manyetik alanın kuvveti ve düzgünlüğü (uniformity) değer göstergesi olarak kullanarak, ince tip CD/DVD sürücü için eniyi manyetik tasarımı Taguchi Yöntemi'ni uygulayarak tamamlamışlardır. Elde edilen sonuç, eniyi tasarım araştırmasının başarısı Taguchi Yöntemi ile kanıtlanmıştır. Ortalama değer ve düzgünlük dikkate alındığında, orijinal tasarımı ortalama değerde 1.2 katı ve manyetik kuvvet düzgünlüğünde ise 2.3 katı olmuştur (Ke, et al., 2002, 604-605).

Taguchi Yöntemi, eniyileme tekniğinin sürekli, ayrık ve niteliksel tasarım değişkenli problemlerin çözümüne çok iyi uyan tipidir. Bu yüzden, herhangi bir yapay sinir ağı (Artificial Neural Networks) modeli bu yöntemle eniyilenebilir. Diğer yöntem olan genetik algoritma, çok fazla hesaplama maliyeti gerektirir (Lin, T.Y., Tseng, C.H., 2000, 3-14). Taguchi Yöntemi, eniyileme problemlerini basitleştirmek için, Deney Tasarımı (DOE) Yöntemleri de, tasarım parametrelerinin daha kesin kombinasyonlarını ve duyarlılıklarını bulmak için uygulanırlar (Sii, et al., 2001, 333).

Niteliksel kalite karakteristik problemini eniyilemek için niteliksel yanıt genellikle yüzde şeklinde gösterilir veya çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Çoklu kalite yanıtını eniyilemek, bir çok üretici için giderek artan bir zorunluluktur. Ayrıca, çoklu yanıtlar eşzamanlı olarak niteliksel ve sayısal karakteristikleri içermeyebilirler. Taguchi Yöntemi, niteliksel ve sayısal kalite karakteristiklerini içeren çok yanıtlı problemlere doğrudan uygulanamaz (Hsieh, Tong, 2001,1-12).

Taguchi Yöntemleri yaklaşık son on beş yılda ürün kalitesinin ve proses performansının iyileştirilmesinde başarılı oldukları kanıtlanmıştır. Pek çok Taguchi deneyinde tek kalite karakteristiklerinin eniyilenmesi ele alınmıştır. Üretim proseslerinde çoklu kalite karakteristiklerinin eniyilenmesi yaygın değildir. Taguchi yöntemlerini kullanan pek çok mühendis, üretim prosesinin eniyilenmesinde çoklu kalite karakteristikleriyle ilgilendikleri zaman mühendislik yargısını kullanmışlardır. Bu yaklaşım subjektiftir ve bu yüzden karar verme prosesinde daima bir belirsizlik getirmektedir (Antony, 2001, 134). Bazı yazarlar çok yanıtlı problemlere ilişkin farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Ancak tüm bu yöntemler, kuvvetli bir ileri matematik bilgisi gerektirmektedir. Orta düzey elemanların bu yöntemleri anlaması ve uygulaması zordur. Kullanılması daha kolay yöntemler geliştirmek için bazı çabalar çok yanıtlı eniyilemeyi kullanmak üzere ve Taguchi yöntemlerini uygulamak için gerçekleştirilmiştir (Reddy et al.,98, 649).

Çok yanıtlı bir problemde en önemli amaç, tüm yanıtların hedeflerini karşılamak ve tüm yanıtların değişebilirliğini eşzamanlı olarak enküçük değere indirmektir. Yanıtların korelasyon özelliği nedeni ile bu genellikle olanaklı değildir. Dolayısıyla bir uzlaşma devamlı olarak aranır. Ancak robustluk özelliği problemin içinde var olabilecek sınırlamalara yönelik değildir. Bu sınırlamalar olasılık anlamında tatmin edilmelidir (Jayaram, Ibrahim, 99,826).

Çok yanıtlı problemde yapılacak şey, eşzamanlı olarak bir kaç yanıtı eniyileyen tasarım değişkenlerine ait değerler kümesini bulmaktır. Örneğin toplam ağırlığın ve malzeme maliyetinin asgariye indirilmesi. Bu probleme tek bir çözüm genellikle bulunamaz. Bir yanıtın çözümü diğerinden ayrılır. Tasarım değişkenlerinin belirsiz faktörlere bağlı olduğu durumlarda hedef, tüm yanıtlar için sağlanan çözümün tanımlanmasıdır. Bunun tanımında çözüm veya tasarım noktasında yanıtlar eniyilenir ve varyanslar enküçüklendir. Bu yine de zor bir problemdir ve bu konuda az sayıda teknik geliştirilebilmiştir (Jayaram, Ibrahim, 97,199).

Çok yanıtli bir deneyden elde edilen verilerin analizi, verilerin çok değişkenli yapısının dikkatli bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Diğer bir deyişle, yanıt değişkenleri bireysel ve diğerlerinden bağımsız olarak incelenmemelidir. Yanıtlar arasında olabilecek ilişkiler, bu tip tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden olur. Bu durumda, birkaç yanıt fonksiyonu eşzamanlı olarak eniyilenmek isteniyorsa, ayrı ayrı eniyilerin elde edilmesi anlamsızdır (Baynal, 2003, 206).

### **ÇOK YANITLI PROBLEMLER İÇİN ENİYİLEME PROSEDÜRÜ**

Çok yanıtli prosesleri en iyi şekilde kullanmak için Taguchi Yöntemi'nin uygulanması aşağıdaki düşünceleri içerir (Tong et al., 97, 368):

- Çoklu durumlarda nitelik ve kayıp fonksiyonları, her bir yanıt için daima farklıdır. Bu nedenle, her bir yanıt için kayıp, doğrudan karşılaştırılmaz ve toplanamaz.
- Çoklu durumlarda ölçü birimleri, her bir yanıt için farklıdır. Dolayısıyla, her bir yanıtın her biriminin neden olduğu kayıp farklı olabilir.
- Çoklu durumlarda önem, her bir yanıt için farklıdır.
- Çok yanıtli durumlarda nominal-en iyi kalite karakteristikleri olduğu zaman ayarlama faktörleri (adjustment factors) seçilebilecektir. Bu özellikle, ortalamayı hedef değere ayarlamak için bir faktör kullanıldığında ve diğer kalite karakteristiklerinde anlamlı bir değişme meydana geldiği zaman doğrudur.

Bu dört problemin çözülmesi için, bir eniyileme prosedürü aşağıda açıklanmaktadır. Çok yanıtli sinyal-gürültü (MRSN) oranını belirlemek için Taguchi'nin SN oranlarının uygulanması ile bütün yanıtların kalite kayıplarının hesaplanması yoluyla etkin bir yöntem geliştirilmiştir. Sonra geleneksel Taguchi Yöntemi MRSN tabanlı uygulanabilir. Söz konusu eniyileme prosedürü dört aşama içerir (Tong et al., 97, 368):

Aşama I : Kalite Kaybını Hesaplamak

Aşama II : Çok yanıtli Sinyal-Gürültü (MRSN) Oranını Belirlemek

Aşama III: En iyi faktör/seviye kombinasyonunu belirlemek.

Aşama IV: Doğrulama deneyinin yapılması

Bu aşamalar birer alt başlık altında açıklanmaktadır.

## 2.1 Kalite Kaybını Hesaplama

Bu aşamada, her bir yanıt için kalite kaybı hesaplanır. Taguchi'ye göre aşağıdaki üç formül kullanılır:

$$L_{ij} = k_1 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2, \text{ daha küçük daha iyi yanıtı için,} \quad (1)$$

$$L_{ij} = k_2 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2}, \text{ daha büyük daha iyi yanıtı için,} \quad (2)$$

$$L_{ij} = k_3 \left( \frac{s_{ij}}{\bar{y}_{ij}} \right)^2, \text{ nominal en iyi yanıtı için,} \quad (3)$$

Burada,

$L_{ij}$  = j. denemede i. yanıtın kalite kaybı

$y_{ijk}$  = k. tekrar ve j. denemede i. yanıt için gözlenen veri

$n_i$  = i. yanıtın tekrar sayısı

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}, \quad s_{ij}^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2$$

$k_1, k_2, k_3$  = kalite kayıp katsayılarıdır.

Nominal en iyi kalite karakteristiği için Taguchi, SN'i

$$-10 \log_{10} (MSD) = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum (y - \bar{y})^2 + (\bar{y} - T)^2 \right] \quad (4)$$

olarak tanımlamaz. Burada T, hedef değeri gösterir. Taguchi'deki tanımlama,

$$SN = -10 \log_{10} \frac{\bar{y}^2}{s^2} \quad (5)$$

dır. Sonuç olarak, nominal en iyi yanıt için kalite kaybı  $L = k \left( \frac{s^2}{\bar{y}^2} \right)$  denkleminde hesaplanır.

## 2.2 Çok Yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) Oranını Belirleme

Varyasyonun azaltılmasında birinci olarak, her yanıtın kalite kaybının ölçüsü (scale) normalleştirmek gerekir. Her yanıt için, her bir denemede kalite kaybı, j. denemede en büyük kalite kaybına bölünür. Dolayısıyla normalleştirilen en büyük değer 1'dir. Normalleştirilen daha küçük değer, daha küçük kalite kaybı anlamına gelir. Böylece, normalleştirilen kalite kaybı, 0 ile 1 arasında değişir. Bu yüzden her bir yanıt için kalite kaybı doğrudan doğruya toplanabilir. İkincisi, her denemede normalleştirilen toplam kalite kaybını (TNQL) hesaplamak için her bir yanıtta uygun bir ağırlık verilir. En sonunda, MRSN oranı da TNQL'a dayanarak hesaplanır. Bu üç adım aşağıdaki gibi özetlenir (Tong et al., 97, 371):

**Adım 1:** Her bir yanıt için her denemenin kalite kaybını normalleştir.

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*}, \quad L_i^* = \max \{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\} \text{ dir.} \quad (6)$$

**Adım 2:** Her deneme için normalleştirilen toplam kalite kaybını hesapla.

$$TNQL_j = \sum_{i=1}^m w_i C_{ij}, \quad w_i = i. \text{ Normalleştirilen yanıtın ağırlığı (i=1,2,\dots,m)} \quad (7)$$

**Adım 3:** Her deneme için MRSN oranını belirle.

$$MRSN_j = -10 \log_{10}(TNQL_j) \quad (8)$$

### 2.3 Eniyi Faktör/Seviye Kombinasyonunu Belirleme

Taguchi, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyi durumları için beklenen kalite kaybının dolaysız olarak en küçüklenmesini önermektedir. Nominal en iyi durumu için Taguchi, iki aşamalı, yani SN oranını enbüyüklemek ve sonra ortalamayı hedef değere ayarlamak, bir eniyileme (optimizasyon) prosedürü önermektedir. Bu kavramlara dayandırılan çok yanıtlı problemlerde eniyi faktör/seviye kombinasyonunu belirlemek için kullanılan prosedür aşağıda açıklanmaktadır (Baynal, 2003, 219):

**Adım 1:** Faktör etkilerinin hesaplanması

1. MRSN değerleri üzerinden faktör etkilerinin çizilmesi ve ana etkilerin çizelgelenmesi.
2. Nominal en iyi durum için ortalama yanıt değerleri üzerinden faktör etkilerinin çizilmesi ve ana etkilerin çizelgelenmesi.

**Adım 2:** En iyi kontrol faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi

1. MRSN üzerinde anlamlı etkisi olan kontrol faktörlerinin bulunması.
2. Her bir kontrol faktörü için MRSN üzerinde enbüyük değere sahip olan eniyi seviyeyi belirlenmesi.

**Adım 3:** En iyi ayarlama faktörlerinin belirlenmesi: Eğer çok yanıtlı problemlerde “nominal en iyi” durumu varsa, uygun ayarlama faktörleri tanımlanmalıdır. Dört durum söz konusudur:

1. Daha küçük daha iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu
2. Daha büyük daha iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu
3. Daha küçük daha iyi, daha büyük daha iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu
4. Hepsinin nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu.

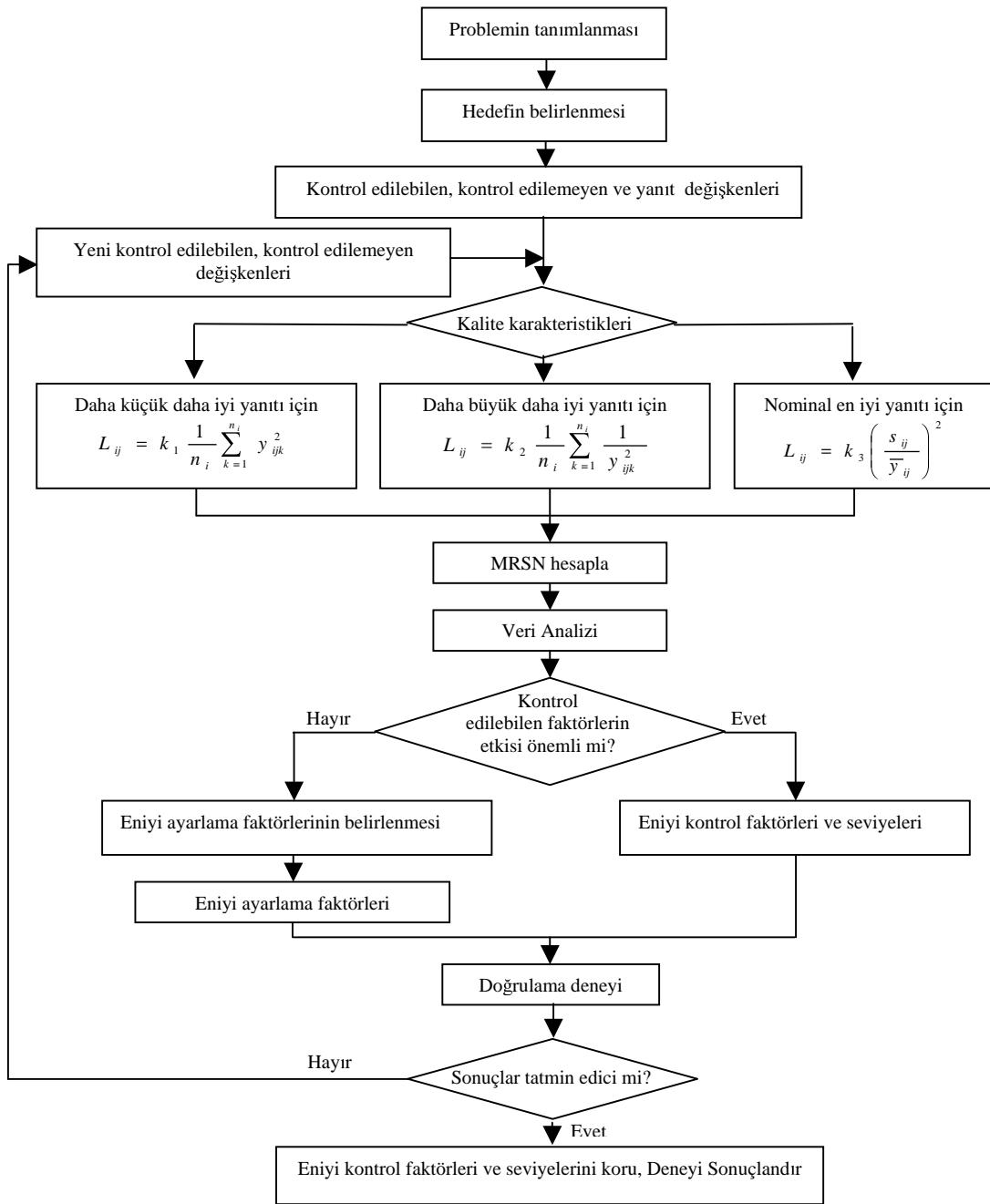
Aşağıdaki iki gereksinimi karşılayan bir faktör, 1., 2. ve 3. durumlar için bir ayarlama faktör olarak seçilebilir. Birincisi, nominal en iyi karakteristikler için, MRSN’de anlamlı etkiye sahip olmayan, fakat ortalama yanıt üzerinde anlamlı etkiye sahip olan herhangi bir faktörü, ayarlama faktörü için aday olarak seçilebilir. İkincisi, ayarlama faktörü, ortalamayı hedef değere getirmek için kullanıldığı zaman, kalite karakteristiklerinin iyileştirildiği yön, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyi durumlarının amacını eşzamanlı olarak karşılamalıdır. MRSN’de anlamlı etkiye sahip olmayan, onun (aday faktörün) kalite karakteristiği için ortalama yanıt üzerinde etkiye sahip olan ve diğer kalite karakteristikleri için ortalama yanıt üzerinde bir etkiye sahip olmayan herhangi bir faktör 4. durum için

ayarlar faktörü olarak seçilebilir. Çok yanıtlı bir problemde eniyilenecek çoklu karakteristikler olduğu zaman, eniyi ayarlama faktörlerini belirleme işleminin daha çok karışık hale gelmektedir. Bazen, uygun ayarlama faktörleri seçmek için gerekli ödünleşimler (trade-offs) yapılmalıdır (Tong et al., 1997, 372).

#### **2.4 Doğrulama Deneyinin Yapılması**

Doğrulama deneyi, deneyde elde edilen en iyi durumun gerçekten bir iyileştirme sağladığını kanıtlamak için yapılır. Eğer her bir yanıt için gözlenen ve öngörülen SN oranları bir birlerine yakınsa, üzerinde deney yapılan toplamalı modelin (additive model) iyi bir öngörü olduğuna karar verilebilir. Sonuç olarak, önerilen eniyi durum, proses için benimsenebilir. Eğer yanıtlardan biri için öngörülen ve gözlenen SN oranları birbirlerine yakın değilse, toplamalı model yetersizdir ve belki de etkileşimler önemlidir diye kuşulanılır. Bu durumda, istenen amacı başarmak için başka bir deney yapmak gerekebilir (Tong et al., 97, 372). Bu prosedürün asıl gücü, onun evrensel olmasıdır; her türlü çok yanıtlı problemde kullanılabilir; sürekli ve kesikli veri tiplerine eşzamanlı olarak uygulanabilir. Taguchi yönteminde çok yanıtlı problemlerin çözümü için eniyileme prosedürü Şekil 1’de verilmiştir (Baynal, 2003, 219).





Şekil 1: Taguchi Yöntemi'nde Çok Yanıtlı Problemler için Eniyileme Prosedürü

## ÇOK YANITLI PROBLEMİN UYGULANMASI

Uygulama, ana otomotiv endüstrisinin bir tedarikçisi olarak otomobil, ticari araç, motosiklet ve bisiklet için çeşitli ürünler üreten bir işletmede yapılmıştır.

Çok yanıtli bir problemin belirlenmesi ve çalışma ortamının hazırlanması için ilgili kişilerle bilgi alış verişi sağlanmış; uygulama ile ilgili olarak bilgi verilmiştir. Bilgilendirme deney tasarımı ve Taguchi Yönteminin tanıtımına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Beyin

fırtınası (brainstorming) ve neden-sonuç (cause-and-effects) teknikleri ile üzerinde çalışılabilecek bazı problemler belirlenmiş ve bunlar üzerinde tartışmalar yapılmıştır. Uygulama için en uygun, ölçülebilir ve tekrar üretilebilir bir ürünün üretimi konusunda fikir alış verişi yaptıktan sonra üzerinde çalışma yapılacak ürünün **far kumanda kolu şapkası** (FKKŞ) (Şekil 2) olması kararlaştırılmıştır.

Far kumanda kolu şapkası (FKKŞ), enjeksiyon makinasında ve çeşitli işlemlerden geçerek üretilmektedir. Ürünün hammaddesi olan poliamid, önce fırında çeşitli sıcaklıklarda ve belli sürelerde bekletilerek özel talimatlara kurutulmakta ve enjeksiyon makinasında plastikleştirilmektedir. Bu sıvı haldeki poliamid makinaya bağlanan kalıpta şekil verilmekte ve bir süre soğutulduktan sonra bir aparatla itilerek ürün kalıptan çıkarılmaktadır. Çıkan ürünler kontrol edildikten sonra speklere göre hatalı olanlar kırılarak yeniden hammadde olarak kullanılmakta, eğer bu şekilde değerlendirilemeyecekse hurda olarak satılmaktadır; speklere uygun olanlar ise ambarda veya enjeksiyon atölyesinde ambalajlanarak stoklanmakta veya müşteriye gönderilmektedir.

### 3.1 Problemin Belirlenmesi

Üretimde karşılaşılan problem, ürünün (far kumanda kolu şapkası) baş kısmında meydana gelen bombelik ve parlaklık olarak ele alınmıştır. Bunların giderilmesi; ayrıca ağırlık ve boyutun da hedef değerlerde veya hedef değer civarlarında gerçekleştirilmesi, çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Çalışmada beyin fırtınası (brainstorming) ve neden-sonuç (cause-and-effects) diyagramları kullanılarak problemle ilgili faktörler ve seviyeleri belirlenmiş; uygulamada üç kalite karakteristikli (yanıtlı) bir problem üzerinde çalışılmıştır. İlgililerle yapılan tartışmalardan sonra ürünün **ağırlığı, görünümü** (parlaklık ve bombelik) ve **boyutu** (uzunluk) kalite karakteristikleri olarak belirlenmiştir. Parçanın kalite karakteristikleri olan ağırlık, boyut için nominal değerler sırasıyla 8.5 gr.,  $45 \pm 2$  mm ve görünüm için nominal (metrik değer olarak) 1'dir. Bu karakteristiklerin öncelikleri de gözetilerek, ağırlıklandırma sorumlularla birlikte yapılmış; ağırlık, görünüm, boyut için ağırlıkların sırasıyla 0.5:1.5:1.0 olması kararlaştırılmıştır.

### 3.2 Faktör ve Seviyelerinin Belirlenmesi

Çalışmada ürün üzerinde etkili olduğu düşünülen kontrol edilebilen faktörler ve bunların seviyeleri beyin fırtınası ve neden-sonuç araçları yardımıyla belirlenerek, bunların

içerisinden en önemlileri olduğu düşünülen on üç faktör seçilmiştir. Tüm faktörler üç ayrı deney seviyesi ile incelenmiştir. Bu faktörlerin ikinci seviyeleri mevcut uygulamalarda kullanılan proses parametreleridir. Deney bu 3 seviyeli 13 kontrol faktörünü içeren bir yapıda ( $L_{27}(3^{13})$  ortogonal dizi) ve 27 deney yapılarak yürütülmüştür. Belirlenen faktörler ve seviyeleri Tablo 1’de verilmektedir.

**Tablo 1: Kontrol Faktörleri ve Seviye Değerleri**

	FAKTÖRLER	SEVİYE 1	SEVİYE 2	SEVİYE 3
1	A:Kurutma Sıcaklığı (°C)	70	80	90
2	B:Kurutma Süresi (saat)	2	3	4
3	C:Geri Basıncı (bar)	30	45	60
4	D:Vida Hızı (devir/dakika)	15	20	25
5	E:Enjeksiyon Basıncı (bar)	900	1000	1100
6	F:Enjeksiyon Hızı (mm/saniye)	40	50	60
7	G:Tutma Basıncı 1 (bar)	700	800	900
8	H:Tutma Basıncı 2 (bar)	600	700	800
9	I:Tutma Basıncı 3 (bar)	500	600	700
10	J:Soğutma Süresi (saniye)	15	19	24
11	K:Kalıp Sıcaklığı (°C)	30	45	60
12	L:Ocak Sıcaklığı (T1+T2) (°C)	275+275	280+280	285+285
13	M:Ocak Sıcaklığı (T3+T4+T5) (°C)	280+282+293	285+287+298	290+292+303

### 3.3 Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi

Deney için uygun ortogonal dizi belirlenirken, faktörlerin seviye sayısına ve buna bağlı olarak da toplam serbestlik derecelerine göre karar verilir. Bu toplam serbestlik derecesine eşit veya daha büyük deneme sayısına sahip olan ortogonal dizi uygun dizi olarak seçilir. Gerekli toplam serbestlik derecesi faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. Bir faktör için serbestlik derecesi, o faktörün seviye sayısının bir eksiğine eşittir. Eğer faktörler arasında bir etkileşim söz konusu ise bu etkileşim için serbestlik derecesi, etkileşim içinde olan faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir (Ross, 1989, 74). Buna göre  $v$  faktörün serbestlik derecesi ve  $k$  ise faktöre ait seviye sayısı olmak üzere  $i$ . faktörün serbestlik derecesi

$$v_i = k_i - 1 \quad (9)$$

dir. Eşit seviyede  $n$  faktörün toplam serbestlik derecesi de

$$v_T = \sum v_i = n v_i (=N-1, N \text{ toplam deneme sayısı}) \quad (10)$$

eşitliğinden bulunur. Bu deney için bütün faktörlerin serbestlik dereceleri birbirine eşit ve 2 olduğundan 13 faktörün toplam serbestlik derecesi olan  $v_T$  de aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Ross, 1989, 74):

$$v_T = \sum v_i = 13 * v_A = 13 * 2 = 26$$

Bu koşullarda 3 seviyeli ve 26 serbestlik derecesini kaldırabilecek ortogonal dizi  $L_{27}$  olduğundan deney için  $L_{27}(3^{13})$  ortogonal dizisi seçilmiştir. Ortogonal dizilerin en önemli özelliklerinden birisi de her faktörün her seviyesine eşit şans verilerek deneye tabi tutulmasıdır. Örneğin A faktörünün 1., 2. ve 3. seviyelerinde 9'ar kez deneye tabi tutulmaktadır. Aynı şey diğer bütün faktörler için de geçerlidir (Tablo 3). Bu deneyde 3 seviyeli 13 faktörün ana etkileri analiz edilebilmektedir. Bu faktörlerin ana etkilerinin yanıtları nasıl etkilediği ortaya konulmaktadır.

### 3.4 Deneyin Uygulanması ve Verilerin Analizi

Deneyler deney planına ( $L_{27}$ ) uygun olarak yapılmış ve her deney koşulunda 10 parça (ürün) üretilerek deney numarası ile etiketlenmiştir. Bunlar en az 24 saat bekletildikten sonra açılarak bütün parçalar ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristikleri yönünden ölçülerek ve gözle incelenerek veriler ilgili tablolara kaydedilmiştir. Gözle inceleme işlemi, bu konuda eğitim almış uzman kişiler tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu elemanlar periyodik olarak çeşitli eğitim ve testlere tabi tutularak yetiştirilmektedirler; bir başka deyişle, zaman zaman kalibre edilmektedirler. Üretilen parçalar görünüm açısından incelenmesi, geçer/geçmez şeklinde yapılmaktadır. Değerlendirme sonuçları metrik değerlere (0 ve 1) dönüştürülerek sayısal olarak hesaplama, inceleme ve analizlere uygun hale getirilmektedir.

Her deneyde üç yanıt (kalite karakteristiği) için 10'ar veri olmak üzere toplam 810 ( $=27*10*3$ ) veri elde edilmiş ve söz konusu karakteristiklere ait bu verilere dayanarak, her bir yanıtın ortalama, standart sapma ve değişim aralığı değerleri deney bazında hesaplanmıştır.

#### 3.4.1 Kalite Kaybının Hesaplanması

Veriler elde edildikten sonra eniyileme prosedürü gereği kayıplar ( $L_{ij}$ ), normalleştirilen kayıplar ( $C_{ij}$ ), normalleştirilen toplam kalite kayıpları ( $TNQL_j$ ) ve çok yanıtlı sinyal gürültü oranları ( $MRSN_j$ ) hesaplanmaktadır.  $C_{ij}$ ,  $TNQL_j$  ve  $MRSN_j$  değerleri sırasıyla (6), (7) ve (8) eşitlikleri kullanılarak hesaplanmışlardır. Deney için söz konusu üç yanıtın 1 nolu deneydeki normalleştirilen kalite kayıpları  $4.47*10^{-3}$ , 1.0000 ve 0.10072 bulunmuştur. Normalleştirilen kalite kaybı bulunduktan sonra söz konusu bütün yanıtlara ilişkin toplam normalleştirilen kalite kaybı ise (7) eşitliğinden yararlanarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$TNQL_1 = w_1 C_{11} + w_2 C_{21} + w_3 C_{31} = 1 * 0.00447 + 3 * 1.00000 + 2 * 0.10072 = 3.2059$$

TNQL<sub>1</sub>: 1 nolu deney için normalleştirilen toplam kalite kaybı.

Farklı ağırlıklara göre hesaplanan 27 deney kombinasyonuna ait TNQL<sub>j</sub> değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

### 3.4.2 Çok Yanıtlı Sinyal Gürültü Oranının Belirlenmesi

Normalleştirilen toplam kalite kaybı hesaplandıktan sonra her bir deney için MRSN hesaplanır. TNQL’nın daha küçük değeri, daha küçük kalite kaybı anlamına gelmektedir.  $w_1=1$ ,  $w_2=3$  ve  $w_3=2$  için çok yanıtlı sinyal gürültü oranını hesaplamak için, (8) eşitliğinin kullanılacağı yukarıda belirtilmişti. Dolayısıyla 1 nolu deneyde bulunan normalleştirilen toplam kalite kaybı değeri eşitlikte yerine konularak 1 nolu deney için performans istatistiği olan çok yanıtlı sinyal gürültü oranı,

$$MRSN_1 = -10 \log_{10}(TNQL_1) = -5.060 \text{ olarak bulunur.}$$

Benzer şekilde bulunan diğer bütün deneylere ait  $L_{ij}$ ,  $C_{ij}$ ,  $TNQL_j$  ve  $MRSN_j$  değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Tablo 2’den de açıkça görüldüğü gibi aynı kombinasyonda farklı ağırlıklar ( $w_i$ ) için farklı  $TNQL_j$  ve  $MRSN_j$  değerleri bulunmuştur. Ağırlıklar değiştikçe  $TNQL_j$  ve  $MRSN_j$  değerleri de önemli derecede değişmektedir. Bazı deney kombinasyonlarında farklı ağırlıkların önemli bir değişmeye neden olmadığı (3, 5, 7, 10, 15, 19, 20, 22, 27 nolu deneyler ve 1:3:2 ile 1:2:2 ağırlıkları için) görülmektedir (Tablo 2) ve bir çok kombinasyonun uygun kombinasyonlar olmadığı açıktır (- veya negatif değerli satırlar). Bu kombinasyonlarda görünüm kalite karakteristiğine ait ortalamalar ya sıfır (0) ya da çok küçük bir değerdir. Bu da söz konusu deney kombinasyonu için üretilen ürünlerin çok azının kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

### 3.4.3 Eniyi Faktör/Seviye Kombinasyonunun Belirlenmesi

$w_1=0.5$ ,  $w_2=1.5$  ve  $w_3=1.0$  ağırlıkları için  $MRSN_j$  değerleri hesaplanarak Tablo 3’te verilmiştir. MRSN çok yanıtlı problemler için performans istatistiği olarak kullanılmıştır. Deneyde bu performans ölçüsünün enbüyüklenmesi amaçlanmaktadır. Bunların yardımıyla; faktör etkilerinin analizi yapılarak hangi faktörlerin daha önemli ve bu faktörlere ait hangi seviyenin daha iyi olduğu bulunur. Bütün faktörlerin seviye değerleri belirlenir. Her kontrol faktörü için MRSN’de en büyük değere sahip olan seviye, o faktör için eniyi seviye anlamına gelmektedir. Buradan hareketle; eniyi faktör/seviye kombinasyonuna ulaşılmaktadır.

Tablo 3'teki MRSN<sub>j</sub> değerleri kullanılarak her bir faktörün seviye değerleri hesaplanarak Tablo 4'te verilmiştir. Örneğin A faktörünün 1., 2. ve 3. seviyelerine ait değerler sırasıyla A<sub>S1</sub>, A<sub>S2</sub> ve A<sub>S3</sub> olsun. Bunlar; aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$A_{S1} = (-2.049+0+13.623+0.174+14.677-3.097+2.986+0+14.387)/9 = 4.522$$

$$A_{S2} = (12.951+0-2.195+0+1.613+12.396+2.482+16.752+0)/9 = 4.889$$

$$A_{S3} = (4.282+6.688+0+7.803+0+0-4.326-2.155+14.500)/9 = 2.977$$

Bunların içinden en büyük değere sahip olan seviye, eniyi seviye olarak seçilir. Buna göre A faktörü için eniyi seviye 2. seviyedir. Benzer şekilde bütün faktörlerin seviye değerleri Tablo 3 yardımıyla yapılan hesaplamaların sonucunda Tablo 4 oluşturulmuş ve tabloda her faktörün hangi seviyede MRSN'de enbüyük değeri sağladığını görmek olanaklı olmaktadır. Buna göre söz konusu ağırlıklar için eniyi faktör/seviye kombinasyonu A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>2</sub>E<sub>3</sub>F<sub>3</sub>G<sub>1</sub>H<sub>1</sub>I<sub>2</sub>J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>L<sub>3</sub>M<sub>1</sub> olarak bulunur. Görüldüğü gibi başlangıç kombinasyonundan (A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>E<sub>2</sub>F<sub>2</sub>G<sub>2</sub>H<sub>2</sub>I<sub>2</sub>J<sub>2</sub>K<sub>2</sub>L<sub>2</sub>M<sub>2</sub>) çok farklı bir kombinasyon elde edilmiştir. Anlamli farklı ağırlıklar için yapılan analiz sonucunda bulunan kombinasyondaki önemli faktörler pek fazla değişmemektedir.

**Tablo 2: Ölçülen Verilerden Hesaplanan Ortalamalar ve  $L_{ij}$ ,  $C_{ij}$  TNQL<sub>j</sub>, MRSN<sub>j</sub> Değerleri**

Denej No	AĞIRLIK				GÖRÜNÜM(METRİK)				BOYUT				AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	1:3:2 için		1:2:2 için		2:6:3 için	
	TOP1	ORT1	SS1	R1	TOP2	ORT2	SS2	R2	TOP3	ORT3	SS3	R3	$L_{1j}$	$L_{2j}$	$L_{3j}$	$C_{1j}$	$C_{2j}$	$C_{3j}$	TNQL <sub>j</sub>	MRSN <sub>j</sub>	TNQL <sub>j</sub>	MRSN <sub>j</sub>	TNQL <sub>j</sub>	MRSN <sub>j</sub>
1	86,42	8,64	0,004	0,01	1	0,10	0,316	1	469,14	46,91	0,749	2,40	2,38E-07	1,00E+01	2,55E-04	0,00447	1,00000	0,10072	3,2059	-5,060	2,2059	-3,436	6,3111	-8,001
2	86,24	8,62	0,012	0,03	0	0,00	0,000	0	463,54	46,35	0,183	0,53	1,85E-06	-	1,56E-05	0,03479	-	0,00617	-	-	-	-	-	-
3	85,96	8,60	0,018	0,06	10	1,00	0,000	1	454,62	45,46	0,051	0,15	4,57E-06	0,00E+00	1,26E-06	0,08584	0,00000	0,00050	0,0868	10,613	0,0868	10,613	0,1732	7,615
4	86,31	8,63	0,046	0,14	2	0,20	0,422	1	461,96	46,20	0,380	1,07	2,85E-05	4,44E+00	6,75E-05	0,53469	0,44444	0,02666	1,9213	-2,836	1,4769	-1,694	3,8160	-5,816
5	86,37	8,64	0,016	0,05	10	1,00	0,000	1	451,97	45,20	0,043	0,13	3,59E-06	0,00E+00	9,14E-07	0,06741	0,00000	0,00036	0,0681	11,667	0,0681	11,667	0,1359	8,668
6	86,53	8,65	0,056	0,18	1	0,10	0,316	1	471,87	47,19	0,902	2,85	4,22E-05	1,00E+01	3,65E-04	0,79169	1,00000	0,14426	4,0802	-6,107	3,0802	-4,886	8,0162	-9,040
7	86,62	8,66	0,063	0,22	10	1,00	0,000	1	452,86	45,29	0,122	0,33	5,33E-05	0,00E+00	7,21E-06	1,00000	0,00000	0,00285	1,0057	-0,025	1,0057	-0,025	2,0085	-3,029
8	86,19	8,62	0,033	0,11	0	0,00	0,000	0	487,01	48,70	1,141	4,03	1,51E-05	-	5,49E-04	0,28340	-	0,21675	-	-	-	-	-	-
9	86,51	8,65	0,011	0,03	9	0,90	0,316	1	459,01	45,90	0,120	0,48	1,62E-06	1,23E-01	6,85E-06	0,03039	0,01235	0,00270	0,0728	11,377	0,0605	12,183	0,1430	8,448
10	86,40	8,64	0,020	0,06	10	1,00	0,000	1	453,42	45,34	0,044	0,13	5,36E-06	0,00E+00	9,60E-07	0,10062	0,00000	0,00038	0,1014	9,940	0,1014	9,940	0,2024	6,938
11	86,21	8,62	0,009	0,03	0	0,00	0,000	0	471,53	47,15	0,355	1,13	1,03E-06	-	5,67E-05	0,01937	-	0,02238	-	-	-	-	-	-
12	86,47	8,65	0,033	0,11	1	0,10	0,316	1	461,87	46,19	0,358	1,09	1,43E-05	1,00E+01	6,02E-05	0,26817	1,00000	0,02376	3,3157	-5,206	2,3157	-3,647	6,6076	-8,200
13	86,80	8,68	0,026	0,08	0	0,00	0,000	0	486,04	48,60	0,808	2,08	8,85E-06	-	2,76E-04	0,16616	-	0,10903	-	-	-	-	-	-
14	86,35	8,64	0,005	0,01	2	0,20	0,422	1	461,32	46,13	0,326	1,05	3,73E-07	4,44E+00	4,98E-05	0,00700	0,44444	0,01967	1,3797	-1,398	0,9352	0,291	2,7397	-4,377
15	86,21	8,62	0,021	0,07	10	1,00	0,000	1	450,64	45,06	0,031	0,09	6,11E-06	0,00E+00	4,84E-07	0,11482	0,00000	0,00019	0,1152	9,385	0,1152	9,385	0,2302	6,379
16	86,19	8,62	0,059	0,18	6	0,60	0,516	1	457,13	45,71	0,213	0,61	4,74E-05	7,41E-01	2,17E-05	0,89007	0,07407	0,00857	1,1294	-0,529	1,0554	-0,234	2,2503	-3,522
17	86,39	8,64	0,012	0,04	10	1,00	0,000	1	454,24	45,42	0,127	0,42	1,92E-06	0,00E+00	7,83E-06	0,03606	0,00000	0,00309	0,0422	13,742	0,0422	13,742	0,0814	10,894
18	86,18	8,62	0,015	0,04	0	0,00	0,000	0	487,80	48,78	1,162	3,25	3,23E-06	-	5,67E-04	0,06068	-	0,22385	-	-	-	-	-	-
19	86,47	8,65	0,054	0,19	10	1,00	0,000	1	456,72	45,67	0,197	0,70	3,89E-05	0,00E+00	1,87E-05	0,73140	0,00000	0,00738	0,7461	1,272	0,7461	1,272	1,4849	-1,717
20	86,68	8,67	0,041	0,13	10	1,00	0,000	1	454,70	45,47	0,077	0,22	2,27E-05	0,00E+00	2,85E-06	0,42655	0,00000	0,00112	0,4288	3,677	0,4288	3,677	0,8565	0,673
21	86,50	8,65	0,034	0,11	0	0,00	0,000	0	485,00	48,50	1,049	2,96	1,51E-05	-	4,68E-04	0,28444	-	0,18474	-	-	-	-	-	-
22	86,42	8,64	0,036	0,12	10	1,00	0,000	1	451,71	45,17	0,090	0,27	1,75E-05	0,00E+00	3,99E-06	0,32855	0,00000	0,00158	0,3317	4,793	0,3317	4,793	0,6618	1,793
23	86,19	8,62	0,027	0,08	0	0,00	0,000	0	487,20	48,72	0,920	3,21	1,00E-05	-	3,56E-04	0,18790	-	0,14067	-	-	-	-	-	-
24	86,15	8,62	0,008	0,02	0	0,00	0,000	0	468,61	46,86	0,363	1,35	9,73E-07	-	5,99E-05	0,01827	-	0,02366	-	-	-	-	-	-
25	86,77	8,68	0,041	0,12	1	0,10	0,316	1	492,48	49,25	2,479	8,61	2,22E-05	1,00E+01	2,53E-03	0,41597	1,00000	1,00000	5,4160	-7,337	4,4160	-6,450	9,8319	-9,926
26	86,21	8,62	0,033	0,1	1	0,10	0,316	1	462,78	46,28	0,186	0,60	1,45E-05	1,00E+01	1,62E-05	0,27204	1,00000	0,00641	3,2849	-5,165	2,2849	-3,589	6,5633	-8,171
27	86,14	8,61	0,016	0,05	10	1,00	0,000	1	451,88	45,19	0,078	0,26	3,65E-06	0,00E+00	2,98E-06	0,06861	0,00000	0,00118	0,0710	11,490	0,0710	11,490	0,1408	8,515

**Tablo 3:  $w_1=0.5$ ,  $w_2=1.5$  ve  $w_3=1.0$  Ağırlıkları İçin MRSN Değerleri**

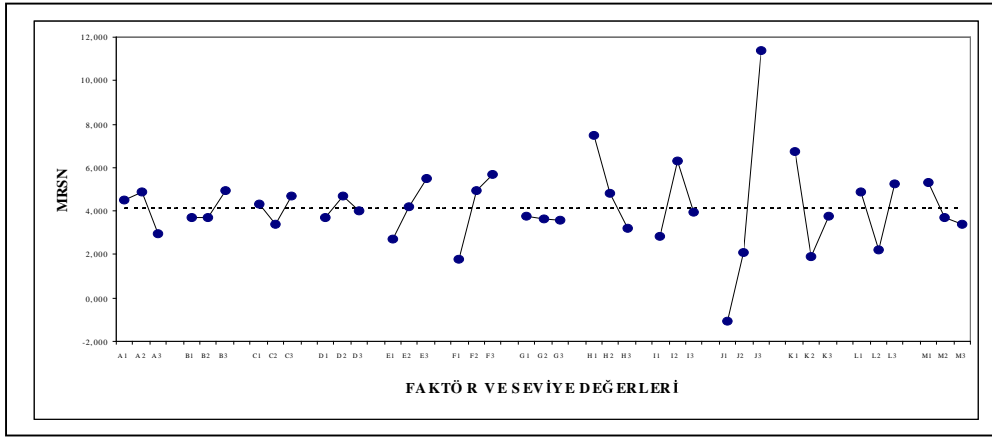
Deney No	FAKTÖRLER													AĞIRLIK		GÖRÜNÜM		BOYUT		0,5:1,5:1 için
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	ORT1	SS1	ORT2	SS2	ORT3	SS3	MRSN <sub>j</sub>
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8.64	0.00	0.10	0.316	46.91	0.749	-2.049
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	8.62	0.01	0.00	0.000	46.35	0.183	-
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	8.60	0.02	1.00	0.000	45.46	0.051	13.623
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	8.63	0.05	0.20	0.422	46.20	0.380	0.174
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	8.64	0.02	1.00	0.000	45.20	0.043	14.677
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	8.65	0.06	0.10	0.316	47.19	0.902	-3.097
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	8.66	0.06	1.00	0.000	45.29	0.122	2.986
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	8.62	0.03	0.00	0.000	48.70	1.141	-
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	8.65	0.01	0.90	0.316	45.90	0.120	14.387
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	8.64	0.02	1.00	0.000	45.34	0.044	12.951
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	8.62	0.01	0.00	0.000	47.15	0.355	-
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	8.65	0.03	0.10	0.316	46.19	0.358	-2.195
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	8.68	0.03	0.00	0.000	48.60	0.808	-
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	8.64	0.01	0.20	0.422	46.13	0.326	1.613
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	8.62	0.02	1.00	0.000	45.06	0.031	12.396
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	8.62	0.06	0.60	0.516	45.71	0.213	2.482
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	8.64	0.01	1.00	0.000	45.42	0.127	16.752
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	8.62	0.02	0.00	0.000	48.78	1.162	-
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	8.65	0.05	1.00	0.000	45.67	0.197	4.282
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	8.67	0.04	1.00	0.000	45.47	0.077	6.688
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	8.65	0.03	0.00	0.000	48.50	1.049	-
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	8.64	0.04	1.00	0.000	45.17	0.090	7.803
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	8.62	0.03	0.00	0.000	48.72	0.920	-
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	8.62	0.01	0.00	0.000	46.86	0.363	-
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	8.68	0.04	0.10	0.316	49.25	2.479	-4.326
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	8.62	0.03	0.10	0.316	46.28	0.186	-2.155
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	8.61	0.02	1.00	0.000	45.19	0.078	14.500

**Tablo 4: Faktörlerin MRSN Oranı Üzerindeki Ana Etkileri**

FAKTÖRLER	MRSN 'de Ana Etkiler				Maks-Min	FAKTÖRLER	MRSN 'de Ana Etkiler (Sıralı)				Maks-Min
	SEVİYELER			Maks-Min			SEVİYELER			Maks-Min	
	S1	S2	S3			S1	S2	S3			
A	4.522	4.889	2.977	1.912	J	-1.052	2.065	11.375	12.428		
B	3.700	3.730	4.958	1.258	K	6.707	1.903	3.778	4.804		
C	4.290	3.392	4.706	1.314	H	7.506	4.839	3.207	4.299		
D	3.710	4.662	3.992	0.952	F	1.761	4.957	5.671	3.910		
E	2.700	4.175	5.513	2.812	I	2.861	6.296	3.952	3.435		
F	1.761	4.957	5.671	3.910	L	4.882	2.233	5.273	3.040		
G	3.775	3.626	3.548	0.228	E	2.700	4.175	5.513	2.812		
H	7.506	4.839	3.207	4.299	A	4.522	4.889	2.977	1.912		
I	2.861	6.296	3.952	3.435	M	5.282	3.692	3.414	1.869		
J	-1.052	2.065	11.375	12.428	C	4.290	3.392	4.706	1.314		
K	6.707	1.903	3.778	4.804	B	3.700	3.730	4.958	1.258		
L	4.882	2.233	5.273	3.040	D	3.710	4.662	3.992	0.952		
M	5.282	3.692	3.414	1.869	G	3.775	3.626	3.548	0.228		



Her faktörün seviyelerindeki değişimler dikkate alındığında problem için en önemli faktörler belirlenebilir. Faktörlerin önem sırası dikkate alınarak bir sıralama yapıldığında faktörler J, K, H, F, I, L, E, A, M, C, B, D ve G şeklinde sıralanırlar. Bunlardan J, K, H, F, I, L ve E faktörlerinin yanıt üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu faktörlerin seviyeleri değiştiğinde yanıtta da önemli bir değişme meydana gelmektedir (Şekil 3). Örneğin J faktörünün S1'deki ortalama etkisi  $-1.052$  dB ile enküçük iken, S3'teki ortalama etkisi  $11.375$  dB ile enbüyük çıkmaktadır. İkisi arasındaki fark  $12.428$  dB'dir. Bu da oldukça büyük bir farktır ve bu durum Şekil 3'te açıkça görülmektedir. Faktör seviyelerine göre hesaplanan enbüyük ile enküçük değerler arasındaki farklara ve p değerlerine göre sıralandığında faktörlerin önem dereceleri ortaya çıkarmaktadır (Tablo 4 ve 5).



**Şekil 3: Faktörlerin MRSN Üzerindeki Etkileri**

MRSN'de çok önemli etkiye sahip olmayan faktörlerin seviye değerleri arasında önemli bir fark yoktur. Örneğin G faktörü için S1, S2 ve S3 seviye değerleri sırasıyla 3.775, 3.626 ve 3.548'dir. Bunlar birbirine oldukça yakın değerlerdir ve Şekil 3'te açıkça görülmektedir. Yani G faktörünün S1, S2 veya S3 seviyesinde bulunması yanıtlar için önemli değildir. Çünkü G faktörünün üç seviyesinde de yanıtlar üzerindeki etkisi hemen hemen aynıdır ve enbüyük ile enküçük değerleri arasındaki fark çok küçüktür ( $3.775-3.548=0.228$ ).

**Tablo 5: Faktörler ve Bunlara Ait p Değerleri (Sıralı)**

J	K	H	F	I	L	E	A	M	B	C	D	G
61,68	8,65	6,95	6,40	4,55	4,04	2,92	1,52	1,50	0,76	0,67	0,35	0,02

Kontrol edilebilen faktörlerinin ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristiklerine (yanıtlarına) ait ortalamalar üzerindeki ana etkiler de benzer şekilde çizilerek, görsel olarak ifade edilebilir ve kalite karakteristiklerinin ortalamaları üzerinde hangi faktörlerin daha büyük etkiye sahip oldukları görülebilir.

Hesaplamalar sonucunda da görülebileceği gibi C faktörünün MRSN, görünüm ve boyut ortalamaları üzerinde küçük bir etkiye sahipken, ağırlık kalite karakteristiğinin ortalaması üzerinde önemli bir etkiye; D faktörü de MRSN, ağırlık ve boyut yanıtlarının ortalamaları üzerinde nispeten küçük bir etkiye sahipken görünüm kalite karakteristiğinin ortalaması üzerinde önemli bir etkiye ve benzer şekilde M faktörü de sadece boyut ortalaması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla C, D ve M faktörleri sırasıyla ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristikleri için ayarlama faktörleri olarak seçilebilirler.

#### 4.3.4 Doğrulama Deneyi

Başlangıç (deney öncesi) faktör/seviye kombinasyonu (üretim koşulları) ve deney verilerinin analizinden elde edilen faktör/seviye kombinasyonuna göre yapılan üretimden yirmişer parça alınmış ve bunların ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristiklerine ait veriler Tablo 6’da verilmektedir. Her iki faktör/seviye kombinasyonuna göre ayrı ayrı elde edilen bu verilerden ağırlık, görünüm ve boyuta ilişkin ortalama, varyans, değişim aralığı (Range) hesaplanmıştır. Ayrıca daha önce yapıldığı gibi söz konusu kalite karakteristiklerine ait kayıp ( $L_{ij}$ ), normalleştirilen kayıp ( $C_{ij}$ ) hesaplandıktan sonra normalleştirilen toplam kalite kaybı (TNQL) ve çok yanıtlı sinyal gürültü (MRSN) oranı bulunmuş; Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir. Verilerden de görülebileceği gibi iki farklı üretim koşulunda üretilen parçaların değerleri arasında çarpıcı bir farklılık vardır. Bu fark hesaplanan parametrelerde de kendisini göstermektedir. Ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristikleri için standard sapma ve değişim aralığı başlangıç üretim koşulları için

**Tablo 6: Doğrulama Deneyi Verileri**

AĞIRLIK																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
*	8.66	8.6	8.6	8.59	8.6	8.6	8.61	8.6	8.6	8.6	8.61	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.59
**	8.56	8.54	8.54	8.54	8.55	8.55	8.58	8.56	8.59	8.57	8.54	8.56	8.56	8.57	8.58	8.57	8.56	8.58	8.55	8.55
GÖRÜNÜM																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
*	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BOYUT																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
*	45.99	46.3	46.7	45.83	46.78	48.05	45.37	50.48	49.3	50.35	51.43	51.20	51.77	51.28	52.14	51.17	51.46	50.87	51.09	51.58
**	44.71	44.73	44.75	44.74	44.76	44.76	44.77	44.79	44.84	44.82	44.76	44.75	44.75	44.78	44.81	44.82	44.80	44.85	44.83	44.80

\* :A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>E<sub>2</sub>F<sub>2</sub>G<sub>2</sub>H<sub>2</sub>I<sub>2</sub>J<sub>2</sub>K<sub>2</sub>L<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (Deneyden önceki faktör-seviye kombinasyonu verileri)

\*\* :A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>D<sub>3</sub>E<sub>3</sub>F<sub>2</sub>G<sub>3</sub>H<sub>2</sub>I<sub>3</sub>J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>L<sub>3</sub>M<sub>1</sub> (Deney sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu verileri)

sırasıyla (0.107, 0.07); (0.308, 1); (2.399, 6.77) ve deney sonucunda belirlenen üretim koşulları söz konusu parametreler için de sırasıyla (0.063, 0.05); (0.000, 0); (0.039, 0.10) olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen faktör/seviye kombinasyonu, üç kalite karakteristiği için de çok daha iyi bir durum ortaya çıkmaktadır (Tablo 10).

**Tablo 7: Normalleştirilen Maliyetlere Göre TNQL ve MRSN Değerleri**

KOMBİNASYON	AĞIRLIK			GÖRÜNÜM			BOYUT			AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	0.5:1.5:1.0 için	
	ORT1	SS1	R1	ORT2	SS2	R2	ORT3	SS3	R3							L1j	L2j
*	8.60	0.107	0.07	0.10	0.308	1	49.46	2.399	6.77	1.547E-04	0.050	2.354E-03	1.00	1.00	1.00	3.000	-4.771
**	8.56	0.063	0.05	1.00	0.000	0	44.78	0.039	0.10	5.417E-05	0.005	7.606E-07	0.35	0.10	0.00	0.325	4.876

\* :A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>E<sub>2</sub>F<sub>2</sub>G<sub>2</sub>H<sub>2</sub>I<sub>2</sub>J<sub>2</sub>K<sub>2</sub>L<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (Deneyden önceki faktör-seviye kombinasyonu)

\*\* :A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>D<sub>3</sub>E<sub>3</sub>F<sub>2</sub>G<sub>3</sub>H<sub>2</sub>I<sub>2</sub>J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>L<sub>3</sub>M<sub>1</sub> (Deney sonucunda elde edilen faktör-seviye kombinasyonu)

Ancak burada önemle belirtilmelidir ki; başlangıç koşullarında üretim yapılırken ürün istenilen toleranslarda çıkana dek üretim parametreleri değiştirilmekte ve bu arada çok sayıda ikinci kalite veya hurda ortaya çıkarmaktaydı. Tablo 6'daki başlangıç üretim koşullarında üretim yapılırken herhangi bir parametre değeri değiştirilmemiştir. Dolayısıyla verilerin pek çoğu müşteriye gönderilemeyecek kadar kalitesizdir ve hurdaya ayrılmaktadır. Resim 2'den de görüldüğü gibi üretilen ürünlerin baş kısımlarında bir deformasyon meydana gelmektedir. Bu da beraberinde bombelik ve parlaklık oluşturmaktadır. Üründe bombelik olmazsa da parlaklık varsa yine ürün müşteriye gönderilememekte; bunlar ikinci kalite olarak ayrılmakta ve iç pazarda satılmaya çalışılmaktadır.



Resim 2 Başlangıç Faktör/Seviye Kombinasyonuna Göre Üretilen Hatalı Ürünler



Resim 3 Başlangıç Faktör/Seviye Kombinasyonuna Göre Üretilen Ürünler

Operatör deneyimine dayanarak, belirli faktörlerin seviyelerini değiştirmekte ve problemi çözmeye çalışılmaktaydı. Bu deneme yanılma yöntemi, kabul edilebilir ürün üretilene kadar devam etmekteydi. Bu esnada çok sayıda hurda veya ikinci kalite ürün üretilmekte ve önemli bir maliyeti de beraberinde getirmekteydi. Onay verilenler de tam istenilen kalite karakteristiklerine sahip değildirlir (Resim 3).

Yapılan çalışma sonucunda belirlenen faktör/seviye kombinasyonuna göre üretilen parçalar ise mükemmel yakındır. Üründe bombelik ve parlaklık tamamen ortadan kaldırılmış ve mat bir görünüm elde edilmiştir. Ayrıca üretilen bütün parçalarda bu kalite sağlanmış ve sayısal olarak da ortaya konmuştur (Tablo 10). Normalleştirilen kayıplar hesaba katılarak başlangıç üretim koşullarına göre gerçekleştirilen iyileştirme  $4.876 - (-4.771) = 9.647$  dB'dir.

**Tablo 8: Kayıplara (Lij) Göre TNQL ve MRSN Değerleri**

KOMBİNASYON	AĞIRLIK			GÖRÜNÜM			BOYUT			AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	0.5:1.5:1.0 için	
	ORT1	SS1	R1	ORT2	SS2	R2	ORT3	SS3	R3				L1j	L2j
*	8.60	0.107	0.07	0.10	0.308	1	49.46	2.399	6.77	1.547E-04	0.050	2.354E-03	0.0774	11.111
**	8.56	0.063	0.05	1.00	0.000	0	44.78	0.039	0.10	5.417E-05	0.005	7.606E-07	0.0075	21.233

\* : A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>E<sub>2</sub>F<sub>2</sub>G<sub>2</sub>H<sub>2</sub>I<sub>2</sub>J<sub>2</sub>K<sub>2</sub>L<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (Deneyden önceki faktör-seviye kombinasyonu)

\*\* : A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>D<sub>3</sub>E<sub>3</sub>F<sub>2</sub>G<sub>3</sub>H<sub>2</sub>I<sub>2</sub>J<sub>3</sub>K<sub>1</sub>L<sub>3</sub>M<sub>1</sub> (Deney sonucunda elde edilen faktör-seviye kombinasyonu)

Normalleştirilen kayıplar hesaba katılmadan başlangıç üretim koşullarına göre  $21.233 - 11.111 = 10.122$  dB'lik bir iyileştirme yapılmıştır. Her iki durumda bulunan iyileştirme miktarı birbirine çok yakındır (9.647 ve 10.122).

**Tablo 9: Ortalama ve Hedef Değer(8.5 gr)e Göre Standard Sapma Hesaplamak İçin Ağırlık Veri Tablosu**

	AĞIRLIK VERİLERİ																				AĞIRLIK		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORT1	SS1	R1
*	8.66	8.6	8.6	8.59	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.61	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.59	8.60	0.0142	0.07	
**	8.56	8.54	8.54	8.54	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.54	8.56	8.56	8.57	8.58	8.57	8.56	8.58	8.55	8.55	8.56	0.0152	0.05
***	0.16	0.1	0.1	0.09	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.107	0.07
****	0.04	0.04	0.04	0.04	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.04	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.06	0.063	0.05

\* : Başlangıç koşullarına göre üretilen parçaların ağırlıkları

\*\* : Deney sonucu elde edilen faktör-seviye kombinasyonunu göre üretilen parçaların ağırlıkları

\*\*\* : Başlangıç koşullarına göre üretilen parçaların ağırlıkları ile hedef değer (8.5 gr) arasındaki fark

\*\*\*\*: Deney sonucu elde edilen faktör-seviye kombinasyonunu göre üretilen parçaların ağırlıkları ile hedef değer (8.5 gr) arasındaki fark

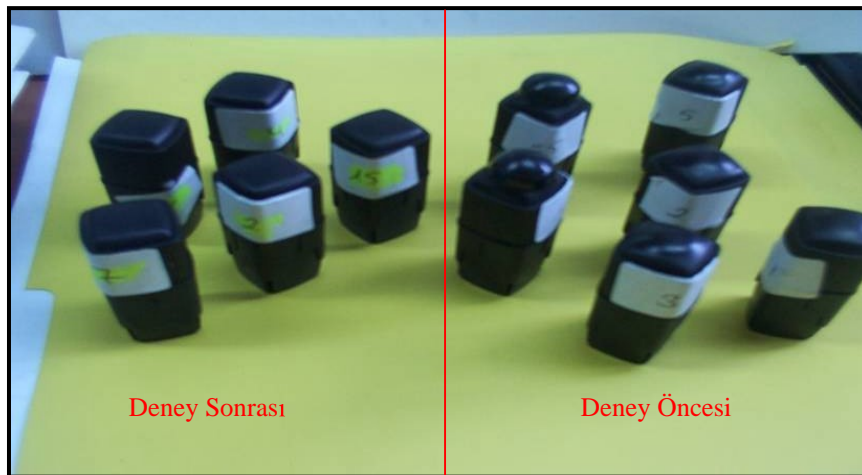
Kalite karakteristikleri düzeyinde de iyileştirmeler hesaplanarak Tablo 10'da özetlenmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi doğrulama deneyinin sonuçları, özellikle görünüm ve boyut kalite karakteristikleri için oldukça çarpıcıdır. Tablodaki sinyal gürültü (SN) oranı aşağıdaki formülle bulunmuştur (Tong et al., 97, 370):

$$SN = - 10 \log_{10}\left(\frac{s^2}{\bar{y}^2}\right) \quad (11)$$

**Tablo 10: Doğrulama Deneyi Sonuçları**

		Başlangıç Kombinasyonu Değerleri	Eniyi Kombinasyon Değerleri	İyileşme (dB)
Ağırlık	SN	38.28	42.63	4.35
	Ortalama	8.60	8.56	
	Varyans	0.011	0.004	
Görünüm	SN	-9.77	60.00	69.77
	Ortalama	0.1	1.0	
	Varyans	0.094864	0.000001	
Boyut	SN	26.28	61.20	34.92
	Ortalama	49.46	44.78	
	Varyans	5.755201	0.001521	

Tablo 6 ve Tablo 9'daki veriler yardımıyla hesaplanmış ortalama ve standard sapma değerleri (11) eşitliğinde yerine konularak üç yanıt için de SN oranları bulunmuş ve iki farklı üretim koşulu için net iyileştirme (varyasyon azaltma) ortaya çıkmıştır. Deney analizinden elde edilen kombinasyona göre yapılan üretim sonucunda, üretilen parçaların ağırlığında 4.35 dB (varyansta %11 iyileştirme), görünümünde 69.77 dB (varyansta %714 iyileştirme) ve boyutunda da 34.92 dB'lik (varyansta %133 iyileştirme) bir iyileştirme sağlanmıştır. Bu durum, özellikle görünüm için, Resim 4'te de açıkça görülmektedir



**Resim 4: Deney Öncesi ve Deney Sonrası Üretilen Ürünlerin Karşılaştırılması**

#### 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney sonucunda önemli iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Bazıları şunlardır:

- Görünümü iyileştirmek amacıyla kalıbın her iki yanına ayrı ayrı kalıp ısıtıcı (thermoregulator) bağlanarak gereksiz ekipman kullanımı ve enerji tüketimine neden olmaktaydı. Deney sonrası ikinci kalıp ısıtıcı devreden çıkarılarak, söz konusu gereksiz ekipman kullanımı ve enerji tüketimi ortadan kaldırılmıştır.
- Sık sık ayar değiştirmek ve buna bağlı olarak ikinci kalite ve hürdanın ortaya çıkması. Deneyden sonra faktörlerin seviye değerlerinin (ayarlarının) değiştirilmesi gereğini ortadan kaldırılmıştır. 1999-2002 tarihleri arasında üretilen yıllık ortalama kırkbin (40000) adet ürünün %39.5'i birinci kalite ve geri kalan %60.5'i de ikinci kalite olarak gerçekleşmiştir. Bu da ikinci kalite ürünün çok önemli bir boyutta olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla yapılan iyileştirme açısından çok önemli bir ölçü oluşturmaktadır.
- Görünüm bozukluğunun nedeni olarak kalıp kirlenmesi görüldüğünden kalıbın sık sık sökülerek temizlenmesi sorunudur. Aslında kalıbın temizlenme periyodu yüzbin (100000) adet ürün iken her beşbin (5000) ürün ürettikten sonra kalıp sökülerek temizlenmekteydi. Deney sonucu elde edilen iyileştirme, bu problemi de ortadan kaldırmış ve makinanın normal periyotta temizlenmesi yolunu açmıştır. Buna göre kalıbın sökülüp temizlenmesi işlemi 20'den 1'e (5000/100000) düşmüş olmaktadır.
- Deney öncesi veriler ve doğrulama deneyi sonunda elde edilen veriler yardımıyla hesaplanmış olan ortalama ve standard sapma değerleri ile üç yanıt için de SN oranları bulunmuş ve iki farklı üretim koşulu için net iyileştirme (varyasyon azaltma) ortaya konmuştur. Deney analizinden elde edilen kombinasyona göre yapılan üretim sonucunda, üretilen parçaların ağırlığında 4.35 dB (varyansta %11 iyileştirme), görünümünde 69.77 dB (varyansta %714 iyileştirme) ve boyutunda da 34.92 dB'lik (varyansta %133 iyileştirme) bir iyileştirme sağlanmıştır.

## SONUÇ

Taguchi Yöntemi proses parametrelerinin ayarlanması suretiyle, performans karakteristiklerini eniyileyebilir ve sistem performansı, varyasyon kaynaklarına karşı duyarlılığını azaltabilir. Sonuç olarak Taguchi Yöntemi, deney tasarımı yöntemlerinde güçlü bir araç olmuştur. Bununla beraber daha çok tekli performans karakteristiklerinin eniyilemesinde Taguchi uygulamaları yayınlanmıştır. Daha çok istenilen, çoklu performans karakteristiklerinin ele alınması ve yürütülmesi hala ilgilenilen bir araştırma problemidir.

Taguchi Yöntemi ile kalitede önemli iyileştirmeler gerçekleştirilebilmektedir. Önemli olan bu ve benzeri yöntemleri bilmek, çalışan elemanlara öğretmek, ürün/proseslerin geliştirilmesinde ve problemlerin çözümünde etkin ve yaygın olarak kullanılmalarını sağlamaktır.

## KAYNAKÇA

1. Antony, J., “Simultaneous Optimisation of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Using Taguchi’s Loss Function”, **Int.J.of Adv.Man. Technology**, 2001,**17**:134-138
2. Baynal, Kasım, “Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi İle Eniyilemesi ve Bir Uygulama”, İÜ Sosyal Bilimler Ens., Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul, 2003
3. Gençyılmaz, E., Kutay, F., “Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım”, Gazi Üniversitesi, Müh.Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt18, No:3, 2003:51-63
4. Hsieh, Kun-Lin, Tong, Lee-Ing, “Optimization of Multiple Quality Responses Involving Qualitative and Quantitative Characteristics in IC Manufacturing Using Neural Networks”, **Computers in Industry**, 46, 2001:1-12,
5. Jayaram, J.S.R., Ibrahim,Y., “Multiple Response Robust Design and Yield Maximization”, **Int. Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.16, No.9, 1999:826-837
6. Jayaram,J.S.R., Ibrahim,Y., “Quality Note: Robustness for Multiple Response Problems Using a Loss Model”, **Int.Journal of Quality Science**”, Vol.2, No.3, 1997:199-205

7. Kao, I., Gong, C., “Robot-Based Computer-Integrated Manufacturing as Applied in Manufacturing Automation”, **Robotics&Computer-Integrated Manufacturing**, Vol13, No.2, 1997:157-167,
8. Ke, C.Y., Chang, C.L., Ju, J.J., Huang, D.R., Huang, R.S., “A Magnetic Design for a Slim Type DVD Actuator”, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 239, 2002:604-606
9. Lin, T.Y., Tseng, C.H., “Optimum Design for Artificial Neural Networks:An Example in a Bicycle Derailleur System”, **Engineering Appl. of Artificial Intelligence**, 13, 2000:3-14
10. Özler,Cenk, “Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacı ile Kullanılması Üzerine Bir Araştırma”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sos. Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 1997
11. Reddy,P.B.S., Nishina,K., Babu, A.Subash, “Taguchi’s Methodology for Multi-Response Optimization: A Case Study in the Indian Plastics Industry”, **Int.Journal of Quality & Reliability Management**, Vol.15,No.6, 1998:646-668
12. Ross,Philip J., Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill Book Co., Singapore,1989
13. Rowlands, H., Antony, J., Knoles, G., “An Application of Experimental Design for Process Optimization”,**The TQM Magazine**, Vol.12, No.2, 2000:78-83
14. Sii,How Sing, Ruxton,Tom, Wang, Jin, “Taguchi Concepts and Their Applications in Marine and Offshore Safety Studies”, **Journal of Engineering Design**, Vol.12, No.4, 2001:331-358
15. Taguchi,G., Clausing,D., Robust Quality, Harvard Business Review,1990:65-76
16. Tong, Lee-Ing, Su, Chao-Ton, Wang, Chung-Ho, “The Optimization Of Multi-Response Problems In The Taguchi Method”, **Int.J. of Quality &Reliability Management**, Vol.14, No.4, 1997: 367-380