

32045

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ÜRETİM ANABİLİM DALI

TAGUCHI METODU
VE
BİR UYGULAMA

Yüksek Lisans Tezi

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Güneş GENÇYILMAZ
Tezi Yapan : M. Emin AYDIN

İstanbul, 1994

SUNUŞ

Kalitenin bir rekabet gücü olarak kendini kabul ettirdiği çağımızda kalite geliştirme faaliyetleri bir hayli önem arz etmektedir. Son bir kaç yıldır kalite geliştirme çalışmalarında tasarımın beliginleştirdiği de gözlenmektedir. Tasarımın kalitenin esası olduğunu iddia ederek ortaya çıkan Taguchi bu konuda bir teknik geliştirmiştir. Gerçekten kalite geliştirme tekniklerinde önemli bir sıçrama gerçekleştiren bu teknik sunacağımız tezin konusunu oluşturmaktadır. Çalışma söz konusu tekniğin bir uygulamasıdır.

Tez asıl itibarıyla iki bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerden ilki Taguchi Metodu'na ait teorik bilgileri diğeri de yapılan uygulama ile ilgili bilgileri içermektedir. Kaynaklara yapılan gönderme işlemi de Kaynak No, İlgili Sayfalar şeklinde yapılmıştır.

Bu çalışmada beni yönlendiren hocam Sayın Prof.Dr. Güneş GENÇYILMAZ beye, pratik çalışmalarında yardımcı olan Goedze Segman ve Gömlek San. T. A. Ş. Sapanca Fabrikası Dökümhane Müdürü Sayın Dr. Savaş İZGİZ beye ve tezimi yazmamda yardımcı olan arkadaşlarım Sayın Abdullah E. AYDIN ve Fatih Naci TAŞ beylere sonsuz şükranlarımı sunarım.

M. Emin AYDIN

Şubat, 1994

Adapazarı

İÇİNDEKİLER

Bölüm I

1.1 Giriş.....	1
1.2 Taguchi Metodunun Kalite Kontroldeki Yeri ve Önemi.....	1

Bölüm II

Taguchi Deneysel Tasarım Metodu.....	4
2.1 Giriş.....	4
2.2 Sistem Tasarımı.....	7
2.3 Parametre Tasarımı.....	8
2.3.1 Problemin Oluşturulması.....	8
2.3.2 Hedefin Belirlenmesi.....	10
2.3.3 Faktörlerin ve Faktör Seviyelerinin Tesbiti.....	10
2.3.4 Uygun Ortogonal Dizin Seçimi.....	13
2.3.5 Deneyin Yapılması.....	17
2.3.6 Verilerin Analizi ve Yorumlanması.....	20
2.3.6.1 Varyans Analizi.....	20
2.3.6.2 Sütun Farkları Metodu.....	23
2.3.6.3 Signal to Noise Oranı.....	25
2.3.7 Parametrelerin Optimal Şartlarının Belirlenmesi ve Değerlerin Tahmini.....	28
2.3.8 Sağlama Deneyinin Yapılması ve Sonuçlandırma.....	29
2.4 Tolerans Tasarımı.....	30
2.4.1 Kalite Kayıp Fonksiyonu.....	32
2.4.2 Tolerans Tasarımına Geçiş.....	36
2.4.2.1 Nominal Değer En İyisidir.....	36
2.4.2.2 Tolerans Değeri Büyüdükçe İyileşme Artar.....	38
2.4.2.3 Tolerans Değeri Küçüldükçe İyileşme Artar.....	39

Bölüm III

Uygulama.....	41
3.1 Problemin Oluşturulması ve Hedef Tesbit Çalışmaları.....	41

3.2 Faktörlerin ve Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi.....	42
3.3 Uygun Ortogonal Dizinin Seçimi.....	47
3.4 Deneyin İcra Edilmesi ve Verilerin Toplanması.....	49
3.5 Verilerin Analizi.....	53
3.5.1 Varyans Analizi.....	53
3.5.2 Signal to Noise Oranı.....	62
3.5.3 Sütun Farkları Metodu.....	66
3.6 Sağlama Deneyi.....	72
3.7 Sonuçlandırma.....	74
3.8 Tolerans Tasarımına Geçiş.....	75
3.8.1 Tolerans Tasarımı.....	75
3.8.2 Kalite Kayıp Fonksiyonunun Çizilmesi.....	78

Bölüm IV

Sonuç.....	81
Kaynaklar.....	88

BÖLÜM 1

1.1 GİRİŞ

Tasarım kalitesinin elde edilmesi çoğu zaman önemsenmemiştir. Hele ülkemiz gibi daha çok yabancı lisanslarla çalışmanın yeğlendiği ve dolayısıyla tasarıma dayalı bir çalışmanın önemsiz görüldüğü ortamlarda bu olay iyice belirginleşmektedir. Piyasalardaki rekabetin acımasızlığının zorlaması sonucunda kalite kontrolde meydana gelen gelişmeler de çoğunlukla tasarımı ihmal etmiştir. Bu eğilime ilk defa Genichi Taguchi bir aykırılık göstermiş ve metodunu geliştirmiştir.

Bu çalışma kalitenin tasarımla elde edilmesi semsiyesi altında kalan bir çalışmadır. Taguchi metodu teorik olarak incelendikten sonra Geodze İstanbul Segman ve Gömlek Sanayii T.A.S.'de yapılan pratik çalışma sunulmuştur. Ancak bundan önce Taguchi metodunun önemini ifade etmek gerekecektir.

1.2 TAGUCHİ METODUNUN KALİTE KONTROLDEKİ YERİ VE ÖNEMİ

Rekabetin kızıştığı piyasalarda tutunabilmek işletmeleri yeni bir takım uğraşlar ve sürekli yenilenmeyi sağlayıcı sıkı faaliyetlerle yüz yüze getirmiştir. Bu faaliyetlerin şüphesiz en önemlilerinden biri yapılan üretimin kalitesidir. Gün geçtikçe daha bir önem kazanan kalite her gün yeni şeyler eklenerek önemli birikimler oluşturmaktadır. Bu birikim özellikle Japonya'da göz kamaştırıcı ekonomik ve itibar gelişmesini sağlamıştır.

Genichi Taguchi'nin dünya kalite sahnesinde vurguladığı şey, uzun araştırmalar sonucunda ortaya çıktı. O'nun kalite sistemi Japonya ve başka yerlerdeki bir çok şirket tarafından başarıyla uygulanmıştır. O, ürün ve proseslerde On-line kalite kontrolün alışılmış araçlarına bağlı olmasından ziyade kalitenin dizayn edilmesinin önemli olduğunu vurgulamıştır. Taguchi'nin

yaklaşımı diğer öncü kalite yöntemlerinden şu noktada farklılaşmaktadır. O kaliteyi sağlamak için yönetim felsefesi veya istatistikten daha çok uygulamada mühendisliği ön plana çıkarmıştır. Yine Dr. Taguchi deneysel tasarımı ilk defa ürünleri güçlü ve dayanımlı yapmak için bir araç olarak kullanmıştır. Bu aynı zamanda bir ürün veya prosesin kalite karakteristikleri üzerindeki sapmaları azaltmak için de kullanılmıştır. Deneysel tasarımın daha önceki uygulamaları sapmaları hiç hesaba katmaksızın ürün performans karakteristiklerinin optimizasyonunda kullanılırdı.

Taguchi'nin felsefesi Kacker [7,20-21] tarafından şu şekilde maddelenmiştir.

1. Üretilen bir ürünün kalitesine ait önemli bir boyut ta o ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır. Bu ilginç görüş sanayi toplumunda ilk defa ortaya atılmış bir görüştür. Batılı kapitalist felsefe ile taban tabana zıt bir anlayışa sahiptir.

2. Rekabetin olduğu bir ekonomide kaliteyi sürekli geliştirmek ve maliyetleri azaltmak işletmenin kalıcılığı için zorunludur. Bu anlayış doğrultusunda Japonların Kaizen anlayışları mevcuttur.

3. Sürekli bir kalite geliştirme programı ürün hedef değerlerinden sapmaları sürekli azaltmayı içerir.

4. Bir ürün performansındaki bir sapmadan dolayı tüketicide meydana gelen kayıp yaklaşık olarak o sapmanın lkaresi ile orantılıdır. Bu anlayış da istatistiki toleranslamaya karşı çıkmış önemli bir anlayıştır. Bu konu Bölüm 2-4-1'de genişçe anlatılmaktadır.

5. Üretilen bir ürünün nihai kalitesi ve maliyeti (geniş bir şekilde) ilgili ürünün tasarım mühendisliği ve üretim süreci tarafından belirlenir. Bu yüzden deneysel tasarımla ürün ve ilgili proses iyi bir şekilde tasarlanmalıdır.

6. Bir ürün performansındaki sapmayı azaltmak için ürünün performans karakteristikleri üzerinde etkili olan parametrelerin non-linear etkilerini kontrol altına almak gerekir. Bu madde parametre tasarımının esasıdır. Bu konudaki geniş bilgi de Bölüm 2-3'de yer almıştır.

7. İstatistikî olarak tasarlanmış deneyler ürün (veya proses)'lere ait performans sapmalarının azaltılmasındaki tarif etmek için kullanılır.

Bu sayılan prensipler kitaplar dolusu açıklama ve uygulamalara sahiptir. Taguchi'nin metodunu Japonlardan sonra ABD firmaları ve diğer bir çok şirket uygulamış ve önemli başarılar sağlamışlardır. Hatta bu gün gerek ABD'de olsun gerek Avrupa ülkelerinde olsun Taguchi enstitüleri kurulmuş, bu prensipler doğrultusunda yeni uygulamalar ve geliştirme faaliyetleri göstermektedirler.

Prensipler tek başlarına kullanılabildikleri gibi bir bütün halinde de uygulanabilirler. Ancak başarı ve kalıcılık açısından bütünlükleri önem arz etmektedir.

BÖLÜM 2

TAGUCHI DENEYSEL TASARIM METODU

2.1 GİRİŞ

Taguchi metodu kalite geliştirme konusunda Genichi Taguchi tarafından deneysel tasarıma dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu düşüncenin temeli kalitenin dizayn aşamasında ürün veya prosese kazandırılmasıdır. Son on yılda literatürde geniş bir şekilde tartışılmış ve tartışılmaktadır.

Bu metod geleneksel istatistiksel metodlara alternatif olarak ortaya çıkmıştır. İstatistiksel metodlar genel olarak belirli toleranslar içinde çalışmayı esas alırlar. Bunun için on-line sistemde alınan numunelerin muayenesi veya daha çok nihai ürün üzerinde yapılan testler bazında çalışılır. Diğer yandan Taguchi nihai ürün üzerinde yapılan çalışmaların maliyet arttırmaktan başka işe yaramadığını iddia etmekte ve kalite tesbit çalışmalarını ürün dizaynında ürün ve/veya proses üzerinde yapılması gerektiğini vurgulamaktadır. Bunun ilerideki safhalarda oluşacak muhtemel hata ve kusurların önceden önlenmesine yardımcı olacağını bildirmektedir. Zira iyi bir ürün on-line kalite kontrol sisteminden ziyade, iyi bir tasarım sonucunda elde edilir [1] Yapılan çeşitli uygulamalar Taguchi'yi haklı çıkarmıştır. Bu nedenle Taguchi metodunun ana prensipleri tartışılarak yaygın kullanımı sağlamak amaçlanmıştır.

Taguchi metodu üç aşamada gerçekleştirilir (Şekil 2-1). Bunlar Sistem Tasarımı, Parametre Tasarımı, Tolerans Tasarımı'dır.

Sistem Tasarımı; metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada Şekil 2-1 de de görüldüğü gibi prototip dizaynının geliştirilmesi için gerekli yatırımlar ve tercihlerle ilgili kararlar verilir. Malzeme, bileşen parça ve alt montajların seçimi, yeni bilimsel ve teknolojik gelişmelerin değerlendirilmesi, makina ve teçhizatlarla ilgili yeni kararlar bu aşamada gerçekleştirilir. Proses üzerinde yapılan çalışmalarda müşteri tatminini sağlayacak spesifikasyonlara sahip ve belirlenen toleranslar içinde bir ürünü üretebilecek en az maliyetli üretim sistemini sağlama ana hedefi etrafında yapılır [2].

Parametre Tasarımı; ürün tasarımının deneysel tasarım kullanılarak yapılması çalışmalarını içerir. İstenen kalitede bir ürünü üretebilmek için yapılan bir dizi çalışma sonucunda hedef değere ulaşma ve/veya hedeften sapmaların minimizasyonu sağlanır. Hedef değerden gerçekleşen sapmalara etki eden faktörlerin tesbiti, değişik şartlarda ve kombinasyonlarda denemeye tabi tutma ve optimal kombinasyonu sağlama başlıca faaliyetlerdir. Sonuçta minimum sapma veya hedef değere ulaşma gerçekleşir.

Tolerans Tasarımı, Parametre Tasarımı çalışmaları sonucunda istenilen hedefe varılamadığı takdirde yapılacak bir takım çalışmalardan ibarettir. Gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur. Geniş tolerans hiç bir zaman tercih edilmez.

Sistem Tasarımı;

- .Pazarın Tanımlanması
- .Buluşların Değerlendirilmesi
- .Gerekli Bilgiler
 - Bilimsel
 - Mühendislik
- .Bazı Tercihlerin Yapılması
 - Malzeme
 - Bileşen Parça, Alt Montaj
 - Parametre Değerleri
 - Proses Faktör Değerleri
 - Üretim Ekipmanları

Parametre Tasarımı;

- .Deneysel Tasarımı Kullanma
- .En İyi Faktör Kombinasyonu Seçimi
- .Maliyeti Yükseltmeden Kaliteyi Geliştirme

Tolerans Tasarımı;

- .Dar Tolerans Kullanma
- .Çıktı Kalitesine Etkiyen Faktörü Belirleme
- .Parametre Dizaynı Yetersiz İse Tolerans Tasarımı'nı Kullanma

Şekil 2.1; Taguchi Metodunun Sistematiği [3]

Bu genel girişten sonra Taguchi metoduna adım adım girelim:

(2.2) SİSTEM TASARIMI

Sistem Tasarımı Taguchi metodunun genel itibarla üç adımından ilkinin oluşturmaktadır. Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denebilir. Kalite dizaynının ürüne ve prosese yönelik olmak üzere iki yönü vardır. Bir karakteristiğin istenen seviyede müşteri tatmini sağlaması için ürünün ve prosesin güçlü bir tasarımdan geçmesi gerekir. Taguchi metoduna göre bu dizaynı sağlayıcı çalışmaların ilkinin sistem tasarımı oluşturur. Sistem tasarımının içeriği Şekil 2-2'de sunulmuştur.

Sistem Tasarımı;

- . Pazarın Tanımlanması
- . Buluşların Değerlendirilmesi
- . Gerekli Bilgilerin Toplanması
 - Bilimsel
 - Mühendislik
- . İçerikle İlgili Tercihler
 - Malzeme Seçimi
 - Parça Seçimi
 - Ürün Parametre Değerleri
 - Üretim Ekipmanları
 - Proses Faktör Değerleri

Şekil 2.2 Sistem Tasarımının İçeriği

Bir ürünün dizaynında yapılacak sistem tasarımı faaliyetleri temel prototip tasarımının geliştirilmesinden ibarettir. Geliştirme işlemleri tam tatmin sağlayacak olan hedef değerden minimum sapma ile yapılmalıdır. Bunu için pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir. Ayrıca bu konuda malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların spesifikasyonlarının iyileştirilmesinde, tezgah ve takımların seçimi ve iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir. Örneğin daha hassas bir tezgah gerekiyorsa bununla ilgili değerlendirmeler ve karar vermeler bu aşamada

gerçekleştirilir.

Herhangi bir ürün için sistem dizaynı prosesde de gerçekleştirilir. Proses ürünü etkileyebilecek faktörlere karşı minimum duyarlı hale getirilir. Burada amaç ürünü en ideal kalitede ve mümkün olduğunca minimum maliyetle belirlenen tolerans limitleri içerisinde üretilebilecek bir üretim sistemini tasarlamaktır.

(2.3) PARAMETRE TASARIMI

Parametre tasarımı proses ve ürünün iyileştirilmesi çalışmalarının ikinci ve en önemli adımudur. Taguchi metodunda tartışmalara ve çoğunlukla başarıya sebep olmuş adım da budur. Belirlenen bir kalite karakteristiğinin beklenen tatmini sağlayabilmesi için yapılan çalışmalar şimdiye kadar çoğunlukla büyük maliyetler almıştır. Halbuki parametre tasarımı yapılarak yapılan geliştirme çalışmaları cüzi maliyetlerle hedefi isabet ettirmeyi başarmıştır. Taguchi parametre dizaynını istatistikteki deneysel tasarıma dayanarak gerçekleştirmiş ve dataları da varyans analizi ile analiz etmiştir. Bu bakımdan metod bütün tartışmalara rağmen istatistiksel bir konudur.

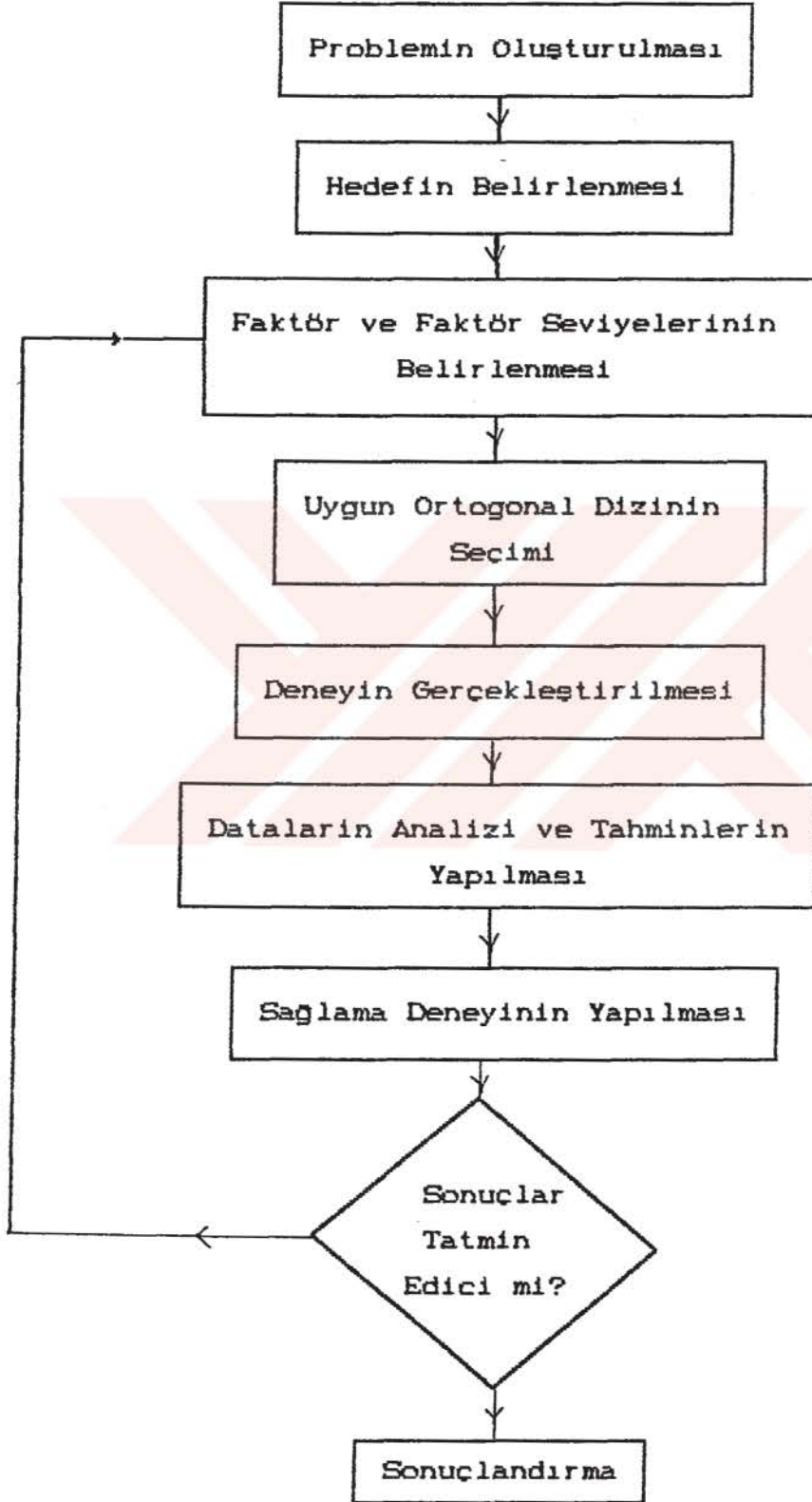
Taguchi'nin sihirli metodunun parametre tasarımı üzerinde yoğunlaştığını daha önce belirtmiştik. Eger metodun bu adımı yeterli sonuç vermezse o zaman diğer adımlara müracaat edilir. Bu bakımdan diğer adımlara takviye adımlar diyebiliriz. Parametre tasarımı metodunu aşağıdaki akış diyagramıyla anlatmak anlaşılma kolaylık sağlayacaktır (Şekil 2-3).

Şemadaki işlemleri şimdi alt başlıklar halinde sunalım:

(2.3.1) Problemin Oluşturulması:

Kalite geliştirme olayı statik ve bir kerede halledilen bir hadise değildir. Rekabet şartlarının acımasızlığına karşı bunu sürekli yapmak zaruri olup zırh görevi yapmaktadır. Gerek hizmet ve gerekse imalat sektöründe problemin yokluğunu kabul etmek gelişmeye kapıları kapatmak demektir. İşletmenin güçlü

olabilmesi açısından daima bir takım problemlerin olabileceğini kabul edip mevcut problemlerin çözümüne bakmak ve her problem elimine edildikçe yenilerini oluşturup devam etmek zaruri bir hal almıştır.



İmalat sanayisinde mevcut belirgin problemler zaten bizi uzun süre daha uğraştıracaktır. Bir probleme çözüm getirmek potansiyel olarak düşünmenin ötesinde somut olarak ele almakla mümkündür. Bir problemin çözümünün mümkün olabilmesi için öncelikle o problemin neleri kastedtiğine bakmak gerekir. Problem ismini kazanmışsa şayet, çözümlenmeye aday olmuş demektir. Artık hedef tesbitine gitmenin vakti gelmiştir.

(2.3.2) Hedefin Belirlenmesi

Aslında hedef belirlemekle problemin tanımlanması içiçe şeylerdir. Potansiyel bir problemin çözüm bekler hale getirilmesi bir bakıma etrafı çizilmiş, soyutluktan kurtarılmış ve hedefi belirlenmiş olması demektir. Hedef belirleme çalışmalarına daha önce belirlenmiş ölçülerle başlanır, eğer mümkünse müşteri görüşleri ve eğilimlerinden faydalanılarak hedef daha hassaslaştırılır. Meydana gelen sapmaların ne gibi kayıplar getirdiği iyice belirlenir. Söz konusu kayıplar itibar kaybı, maliyetlerin yükselmesi, müşteri tatminsizliği vs. olabilir. Bunlar arasından maliyet kaybını ölçmek kolay iken diğerlerini ölçmek gayet zordur, tesirleri uzun dönemde ortaya çıkar. Taguchi'nin üzerinde özellikle durduğu kayıplar da esasen uzun dönemde etkilerini göstermesi beklenen bu tür kayıplardır. Zorlu rekabet şartlarında itirbarda ve dolayısıyla müşteride meydana gelebilecek kayıplar uzun dönemde önemli maliyet kayıpları haline dönmüştür. Dolayısı ile hedefin bu tür kayıpları önleyebilecek hassasiyette olmasına ve de müşteri tatminini azami derecede sağlayabilmesine özen göstermek gerekir [1].

(2.3.3) Faktör ve Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi

Hedefi belirlenmiş bir problemin çözümüne bu adımdan itibaren aktif olarak başlanır. İlk olarak meydana gelen hedeften sapmaların kaynakları araştırılır. Bu kaynaklara faktörler adını veriyoruz. Faktörler sonuç değişkenleri üzerinde belli etkilere sahip olan her hangi bir etken olabilir. Bu bakımdan prosesi çok iyi tetkik etmek gerekir.

Faktörler genel olarak iki türdür. Bunlar kontrol edilebilen faktörler ve kontrol edilemeyen ve/veye bilinmeyen faktörler olarak tanımlanırlar. Kontrol edilebilen faktörlere Kontrol Faktörleri, diğerlerine de Gürültü veya Bozucu faktörler denir.

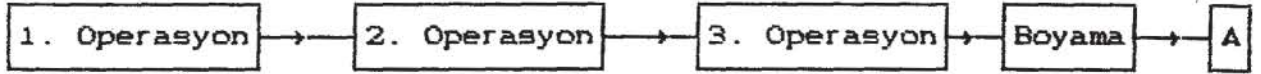
Kontrol faktörleri; prosesin herhangi bir bölümünde sonuç değişkenleri üzerinde nüfuzu olan faktörlerdir. Bir takım ek işlemlerle yada düzeltici çalışmalarla etkileri rahatlıkla kontrol altına alınabilir. Bunlardan etkin oldukları anlaşılan kaç tanesi varsa kontrol altına alınmakla etkileri elimine edilir. Etkin oldukları anlaşılan faktörlerin her biri kontrol altına alındıkları şartlardan en uygun kombinasyon sağlanarak yeni üretim şartları belirlenir. Bu şartlarda üretim yapılarak oluşturulan kombinasyonun sağlanması yapılır ve böylece kontrol altına alma teşebbüsleri sonuçlandırılır. Gürültü faktörlerine gelince; kontrol edilmeleri gayet güçtür. Bu güçlük ya yüksek maliyetli olmalarından yada değiştirilmesi imkansız olan şartlardan kaynaklanmaktadır. Bu tür faktörlerin etkileri de yine diğer faktörlere dayanılarak minimize edilmeye çalışılır.

Faktör seçiminde kontrol ve gürültü faktörler birbirlerinden ayrılırlar. Faktör belirleme işlemleri çeşitli yollarla yapılır. Bunların başlıcaları Beyin fırtınası (Brainstorm), Proses Seması ve Kılçık diyagramı'dır.

Beyin fırtınası; işletme problemlerine çözüm aranırken ilgili personelin bir araya gelip her birinin konu hakkındaki kanaat ve çözüm önerilerini dile getirdiği bir toplantıdan ibarettir. Bu etkin istişari toplantıya her seviyeden işgören katılabilmektedir. Görüşler ifade edildikten sonra oylama usulü ile etkin çözüme doğru yol alınır. Oylamaya her görüş dahil edilir. Metod kullanılarak kalite karakteristiği üzerinde etkili olan faktörler belirlenir. Mevcut metodlar arasında en etkin olanı çoğunlukla bu metod olmaktadır.

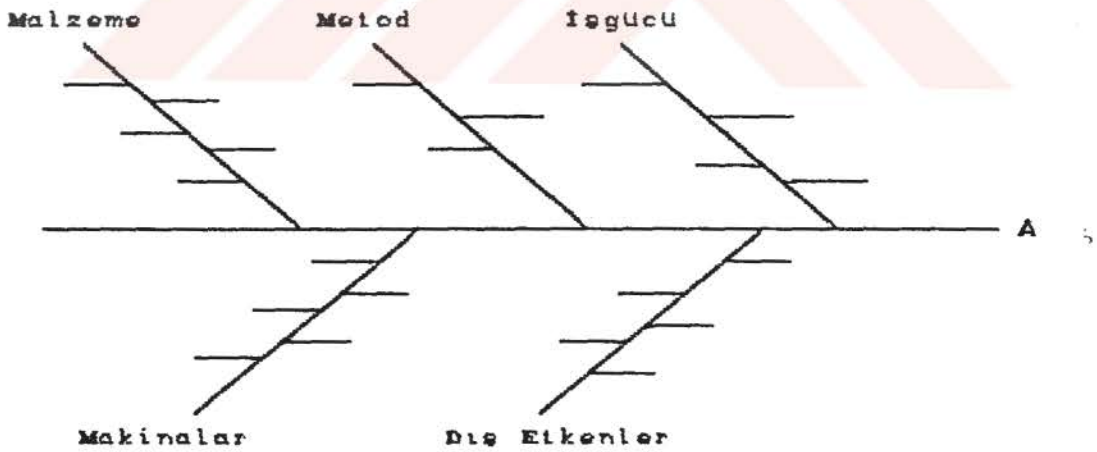
Proses Seması; veya İş Akışı Seması faktör belirlemede kullanılan bir başka yöntemdir. Probleme belirlenen hedefin gerçekleştirilmesinde nihai olarak varılan noktaya kadar proses

baştan başa şematize edilir. Bunun vasıtasıyla her bir işlem adımının etkileri tartışılarak faktörler belirlenmeye çalışılır. Örneğin A ürünü için iş akış şemasını gösterelim.



Sekil 2.4 ; Proses Şeması

İşte her bir operasyon üzerinde tartışılıp ilgili faktörler belirlenir. Kılçık diyagramına gelince; bir hedefin gerçekleştirilmesinde kullanılan malzeme, metod, işgücü, ve üretim prosesi ana başlıkları altında kendisinden faydalanılan tüm unsurların birlikte sunulduğu bir diyagramdır. Balık iskeletine benzediğinden Fishbone anlamında kılçık diyagramı denir. Ayrıca bu diyagrama Sebep-Sonuç diyagramı da denir. Diyagramda hedeflenen şey problemin oluşumunda muhtemel etkileri olabilecek tüm unsurları gösterebilmektir. Zira bu imkan proses şemasında yoktur. Şimdi örnek olsun diye bir A ürünü için bir kılçık diyagram çizelim.



Sekil 2.5; Kılçık Diyagramı

Yukardaki metodlardan biri veya bir kaçını birlikte kullanılarak faktörler belirlenir.

Faktörlerin yanında bir de faktörler arasında olması beklenen

karşılıklı etkileşimler de belirlenir. Bu tür karşılıklı etkileşimlere Interaksiyon denir. Proseste bazan faktörlerin bir arada olması dolayısıyla karşılıklı etkileştikleri ve sapmalara bu şekilde de kaynaklık ettikleri görülebilir. Örnek olarak sıcaklığın bir faktör ve nemin bir faktör olduğu durumlarda sıcaklık ve nem etkileşimi de ayrıca bir faktör olarak etki edebilmektedir. Şayet bu tür faktörler varsa bunlara ait olabilecek etkileşimleri de bir faktör olarak göz önünde bulundurup belirlemek gerekir.

Bu aşamadan sonra belirlenen faktör ve interaksiyonların seviyelerinin tesbitine sıra gelmiştir. Seviye tesbitinde bir faktörün söz konusu karakteristik üzerinde kaç türlü etkiye yapabileceğine bakılacaktır. Zaten seviyeden kasıt da budur. Bir faktörün deneye dahil edilebilmesi için en az iki kademeli olması gerekir. Zira birden fazla kademesi olmayan faktörün alternatif seviyesi yok demektir ve serbestlik derecesi de 0'dır. Alternatif sunamayan bir faktör ancak gürültü faktörü olarak tanımlanır. Bununla beraber faktör kademelerinin fazla yüksek olmamasına özen gösterilir. Taguchi kademeleri çok önemli bir zorunluluk olmadıkça 2 veya en fazla 3 seviyeli olarak belirlemeyi önermektedir. Fazla seviyeli faktörler mevcutsa özel bir takım işlemlerle 2'li veya 3'lü faktörler haline getirilirler. Bu işlemleri yapmanın sebebi kolaylıkla sonuca gitmek ve imkanları geniş olan 2 kademeli deneysel tasarım teorisinden faydalanabilmektir [5,133-149].

Kademeler mümkün olduğunca tüm faktörler için 2'li olarak belirlenmelidir. Zorunluluklar dolayısıyla ancak daha üst kademe sayısına başvurulur. Seviyeler belli olduktan sonra deneyde faktör şartlarını belirleyen Ortogonal Diziyi belirlemeye geçilir..

(2.3.4) Ortogonal Diziler;

Ortogonal diziler deneyin faktör seviyelerine göre icra edilme planından ibarettir. Hangi denemede hangi faktörün hangi seviyesinin kullanılacağını belirler. Değişik yayınlarda

değişik şekillerde anılabilmektedir. Ancak çoğunlukla ortogonal diziler anlamında (Orthogonal Arrays) olarak geçer.

Ortogonal diziler deneysel tasarımın bir parçası ama biraz farklı yapıdadırlar. Normal 2 kademeli bir deneysel dizayn kurulacaksa Full Faktöriyel dizayn gereği 2^k adet denemenin gerçekleştirilmesi beklenir. Kademelerden biri değiştirilip diğerleri sabit tutularak deney yürütülür. Fakat Taguchi uzun çalışmalar sonucu standart deneme planları geliştirdi ve bu planların vereceği sonuçla 2^k denemenin sonuçları arasında bir fark olmayacağını iddia etti. Bu iddiasında haklı olduğunu pratik olarak gösterdi. Sözkonusu standart deneme planlarının esası eşzamanlı olarak bir kaç faktörün kademelerini değiştirerek deneme sayısında çok aşırı bir azaltma yapmasına dayanmaktadır. Örneğin; yedi faktörün tesbit edildiği bir deney için $2^7=128$ adet denemeyi gerçekleştirmek gerekir. Halbuki Taguchi bunun için 8 denemeyi yeterli görmektedir. Bunu şöyle açıklayalım: Şekil 2-6'da 2^k deneme planı görülmektedir. Buna göre 1 ilk seviyeyi, 2 ise ikinci seviyeyi gösterir. İlk 6 faktör sabit iken 7. faktörde seviye değişikliği yapılmaktadır. Bu yolla bütün faktörler teker teker denenmektedir. Sonuçta 128 deneme gerçekleşmiş olmaktadır. Halbuki Taguchi dizaynına göre ilk denemeden ikinciye geçilince 7 faktörden 4'ü değiştirilmektedir. Daha sonraki denemeler için de 4'ü 2. seviyede 3'ü 1.seviyede olmak üzere her seferinde değişiklik yapılmaktadır. Bunda da toplam 8 deneme kafi bilgi verebilmiştir. Sonuçta Taguchi'nin teklifi çok önemli bir maliyet ve zaman tasarrufu getirmektedir.

Bu dizilere ortogonal dizi denmesinin sebebi, her faktörde eşit miktarda farklı kademenin bulunmasıdır. Bunun testi yapmak istediğimizde 1'lere (-1), 2'lere de (1) değerlerini vererek her faktöre ait sütunu toplarsak sonucun 0 olduğunu görürüz. Bu da eşit miktarda farklı kademenin bulunduğuna işarettir. Örnek olarak L8 dizisindeki 6.faktörü ele alalım.

$$\begin{aligned} \text{Toplam} &= (-1)+(1)+(1)+(-1)+(-1)+(1)+(1)+(-1) \\ &= 4(-1)+ 4(1) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	1	2	1
4	1	1	1	1	1	2	2
5	1	1	1	1	2	1	1
6	1	1	1	1	2	1	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
128	2	2	2	2	2	2	2

2^k dizayı

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Taguchi Dizaynı

Sekil 2.6; Teklif Edilen Deneysel Dizaynlar

Bu işlem herhangi bir ortogonal dizinin herhangi bir sütunu için de aynı sonucu verecektir.

Ortogonal diziler 2 kademeli, 3 kademeli ve 2 ve 3 kademeli olmak üzere üç türlü belirlenmişlerdir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi deneysel tasarımının temel taşlarını oluştururlar. Taguchi metodu kullanılarak yapılacak her deney bu standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Sayet başlangıçta faktörlere uygun dizi bulamadıysa faktörlerde bir takım yeni düzenlemeler yapıp tabiri caizse kalemine uydurması gerekmektedir. En çok kullanılan diziler 2 seviyeliler için L4, L8, L12, L16 ve L32 iken 3 seviyeliler için L9, L18, L27 dizileri olmaktadır. Her iki seviyenin karışık olarak kullanıldığı dizilerden bazıları L18, L36, L54 dizileridir. Burada L harfi ortogonal diziyi, bitişindeki rakamsa dizinin ön gördüğü deneme sayısını gösterir.

Dizilerin seçimi kademe sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Kademe sayısı yukarıda açıklandığı gibi dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Bu bakımdan 2 seviyeli bir faktör grubuna 3 kademeli bir diziyi

teklif edemezsiniz. Eğer kademelerde karışıklık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerdeki kademe homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılır. Bir dizinin toplam serbestlik derecesi her bir faktörün ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamına eşittir. Dizide sütunlara atanan faktörler ya tek başına faktör veya iki faktörün interaksiyonu olabilmektedir. Serbestlik dereceleri sırasıyla şöyle hesaplanır:

- ν_A : A faktörünün serbestlik derecesi
 $\nu_{A \times B}$: A ile B interaksiyonunu serbestlik derecesi
 k_A : A faktörünün kademe sayısı

$$\nu_A = k_A - 1 \quad \nu_{A \times B} = (\nu_A)(\nu_B)$$

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise tüm faktör ve interaksiyonların serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Bu aynı zamanda toplam veri sayısından bir çıkarmakla da bulunur.

$$\nu_T = N - 1 \quad \nu_T : \text{Dizinin toplam serbestlik derecesi}$$

$$N : \text{Dizinin toplam veri sayısı}$$

Serbestlik derecesi belli olmuş bir faktörler grubu için ortogonal dizi seçimi rahatlıkla yapılabilir. Serbestlik derecesi hangi birinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilir. Uygun düşme hadisesine gelince toplam serbestlik derecesi en fazla; seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Yoksa eşit olursa o zaman bir üst diziyi seçmek zorunda kalınacaktır. O halde mevcut serbestlik derecesine 1 eklendiğinde eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilir. Şayet hiç birine eşit olmuyor da herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir [5, 74-75]. Daha sonra seçilen dizinin sütunlarına faktörler atanır.

Faktörler arasında gürültü faktörleri bulunuyorsa eğer o takdirde kontrol faktörlerini ayrı gürültü faktörlerini ayrı değerlendirip ayrı ayrı diziler seçmek gerekir. Kontrol

faktörleri için seçilen diziye (Inner Array) İç Dizi, gürültü faktörlerine seçilmiş diziye de (Outer Array) Dış Dizi denmektedir.

(2.3.5) Deneyin Yapılması (Dataları Toplanması)

Deney ortogonal dizinin ön gördüğü denemelerden oluşur. Bu denemelerin her biri faktörlerin değişik şartlarına göre ayarlanmış olup hangi şartın karakteristik üzerinde nasıl bir etki yapacağını belirler. Her deneme sonucunda elimize bir takım veriler geçmiş olur. Bu verilerin niteliği ve niceliği hakkında deneyi yapmadan önce bir takım kararlar verilir. Buların önemli olanlarını şöyle sıralamak mümkündür.

1. Etkin bir ölçüm sistemi
2. Denemelerde yapılması gereken tekrar sayıları.
3. Denemelerin bir randomizasyona göre sıralanması

Ölçüm sistemi verilerin toplanması için çok önemli bir gerektir. Zira faktör etkilerinin ölçümü için mecburen bir ölçüm sistemi gerekecektir. Bir deney yapılmadan önce elde edilmesi beklenen numunelerin ölçülüp veri haline getirilmesi için, ölçümün sistematik ve mümkün olduğunca kolay olması beklenir. Ayrıca deneylerden iyi sonuç alınabilmesi için ölçüm aletlerinin hassas olması sağlanmalıdır. Keza yukarıda ifade ettiğimiz gibi sistemin mümkün olduğunca basit, kolay ve çabuk olması tercih edilir.

Deney boyunca faktör şartları değiştirildikçe yahut denemeler gerçekleştirilirken hatanın minimize edilmesi için denemelerin tekrar edilmesi gerekir. Eğer deneyde gürültü faktörü yada faktörleri varsa bunun için zaten bir dizi seçilmiş ve dizinin ön gördüğü kadar tekrar yapılacaktır. Yok eğer belirlenmiş bir dış dizi yoksa bu durumda tek değerle yetinmek lazım gelir. Tek değer söz konusu olunca hata payının yüksek olması mümkün olduğu gibi bilinmeyen faktörlerin etkilerinin de ölçülmesine fırsat verilmemiş olur. Ancak deneme maliyeti yüksekse o zaman tek değer veya mümkünse iki değerle yetinmek gerekeceği için denemeleri titizlikle yapmak daha bir

önem kazanır. Normal hallerde tekrar sayısı 5 ve 10 arasında değişirse tatmin ediciliği yüksek olur.

Randomizasyon denemelerin yapılış sırasının numara sırasına göre değil de bir rastgelelikle belirlenmesinden ibarettir. Bir deneyi dizinin öngördüğü numara sırasına göre icra etmek bazı bilinmeyen faktörlerin denemeyi etkilemesine sebep olabilir. Bu tür bilinmesi çok zor veya imkansız olan yahut da henüz bilinmeyen faktör etkilerine fırsat vermemek için rastgele bir sıra oluşturmak faydalı olacaktır. Örneğin bir deneyde işçilerin iş görme titizliği hiç hesaba katılmamış olan bir faktör olabilir ve normal seyirde iken deney esnasında daha bir titiz fakat başka vakitlerde daha bir baştan sağma olunabilir. Bu durumda deneyi öyle bir rasgelelikle yapmak gerekir ki; işgörenlerin normal halleri yakalanmış olsun. Bazan da imkansızlıklar yüzünden randomizasyon yapılamayabilir. Örneğin bazı faktörlerin kademelerini sık sık değiştirmek aşırı maliyetler alabilir. Bu zorlayıcılık dolayısıyla faktör şartlarının durumuna uygun bir sıralama yapılabilir.

Randomizasyon için random sayılar tablosu veya sayıların yazılıp atıldığı bir yığından çekme metodu kullanılabilir. Rastgele sıra sağlandıktan sonra sıra denemelerin yapılmasına gelir.

Deneyin yapılması faktör şartlarının sağlanması ile başlar. Faktörler her denemeye tek bir kademelerindeki değerleri ile katılırlar. Her deneme faktörlerin değişik kombinasyonlarının denemesidir. Örneğin 7 faktörlü deneyde 6. deneme faktörlerin $A_2, B_1, C_2, D_2, E_1, F_2, G_1$ kombinasyonundan müteşekkildir. Ön görülen tekrarlar bitirdikten sonra deneyde bir daha bu kombinasyona söz hakkı verilmez. Bir deneyde interaksyon varsa daha önce belirtildiği gibi bir faktör gibi işleme sokulur, ancak interaksyonun kademeleri ana faktörlerin kademeleri değiştirildikçe değişir. Bizzat müdahale ile değiştirmek ana faktörlerden bağımsız olarak mümkün değildir. Deney esnasında sadece ana faktörlerin kademelerine müdahale etmek mümkün olmaktadır.

Deneyden verilerin elde edilmesini bir takım notasyonlarla ve aşağıdaki şekilde göstermek faydalı olacaktır (Şekil 2-7).

- $D = x_{ij}$ -lerden oluşan kontrol faktörleri matrisi $(D_{d \times k})$
 $W = w_{ij}$ -lerden oluşan gürültü faktörleri matrisi $(W_{n_v \times l})$
 $Y = y_{ij}$ -lerden oluşan veri matrisi $(Y_{d \times n_v})$
 $Z(x_i)$: 1. denemenin performans ölçüsü

D				W			
				$w_{11} \dots w_{1l}$ \vdots $w_{i1} \dots w_{il}$ \vdots $w_{n_v 1} \dots w_{n_v l}$			
$x_{i1} \dots x_{i1} \dots x_{ik}$	$y_{i1} \dots y_{i1} \dots y_{in_v}$	$Z(x_i)$					
\vdots \vdots \vdots	\vdots \vdots \vdots	\vdots \vdots \vdots					
$x_{j1} \dots x_{j1} \dots x_{jk}$	$y_{j1} \dots y_{j1} \dots y_{jn_v}$	$Z(x_j)$					
\vdots \vdots \vdots	\vdots \vdots \vdots	\vdots \vdots \vdots					
$x_{d1} \dots x_{d1} \dots x_{dk}$	$y_{d1} \dots y_{d1} \dots y_{dn_v}$	$Z(x_d)$					

Şekil 2.7; Dataların elde edilmesi matrisi [6]

Yukarıdaki Y matrisi deneyden elde edilen verilerin matrisini oluşturmaktadır. Bu veriler analiz edilerek bir sonuca varılır.

(2.3.6) Verilerin Analizi ve Yorumlanması

Elde ettiğimiz gözlem değerleri belirlediğimiz hedefe ulaşabilmemiz için tercih edeceğimiz faktör kombinasyonunu tesbit etmemizi sağlayacaktır. Bunun için faktörlerin hangilerinin etkin olduğunu tesbit etmemiz gerekecektir. Faktörlerin etkinlikleri de sahip olduğumuz verilerin çeşitli metodlarla analiz edilmesi ile tesbit edilebilir. Analizin yapıldığı metodları şöyle sıralayabiliriz.

1. Varyans Analizi
2. Sütun Farkları Metodu
3. Gözleme Metodu
4. Ranking Metodu
5. Grafik Metodu

Bu metodlardan ilk ikisi önemli ve de verimli sonuç verdiklerinden yalnızca ikisi üzerinde durmak yeterli olacaktır.

(2.3.6.1) Varyans Analizi

Deneyssel dizayn esasında varyans analizine dayanmaktadır. Bu metod 1930' larda İngiliz istatistikçisi Fisher tarafından geliştirilmiştir. İsminin baş harfi olan F 'ye dayanılarak yöntem F testi diyenler de vardır. Varyans Analizi tek faktörlü, iki faktörlü, ve çok faktörlü olmak üzere geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Taguchi Ortogonal Dizileri, iki veya üçlü kademeli olduklarından çoğunlukla iki veya üçlü kademe için varyans analizi bu aşamada kullanılır.

Faktör etkilerinin belirlenmesinde kullanılan varyans analizini şöylece sunmak mümkündür. Hesaplama da kullanılan notasyonlar şöylece sunulabilir.

- SS_T : Tüm değerlerin kareleri toplamı
 SS_A : A faktörü için kareler toplamı
 SS_o : Hata kareleri toplamı
 ν_T : Toplam serbestlik derecesi
 ν_A : A'nın serbestlik derecesi
 $\nu_{A \times B}$: A ve B interaksiyonunun serbestlik derecesi
 ν_o : Hatanın serbestlik derecesi
 V_A : A faktörünün varyansı
 V_o : Hata varyansı
 N : Elde edilen toplam veri sayısı
 n_A : A faktörü için veri sayısı
 T : Mevcut tüm verilerin toplamı
 \bar{T} : Mevcut verilerin aritmetik ortalaması
 y_i : Gözlenmiş i. değer
 k_A : A faktörünün kademe sayısı

Şimdi bazı formüller verelim:

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad \text{:Tüm verilerin kareleri toplamını verir.}$$

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad \text{:A faktörünün kareleri toplamını verir.}$$

$$SS_o = \sum_{j=1}^{k_A} \sum_{i=1}^{n_{A_j}} (y_i - A_j)^2 \quad \text{:Hata kareleri toplamını verir.}$$

$$SS_T = SS_A + SS_o \quad \text{:Tüm verilerin kareleri toplamı aynı zamanda faktörlerle hatanın kareleri toplamıdır.}$$

$$\nu_A = k_A - 1$$

A'nın serbestlik derecesi kademe sayısından 1 çıkarmakla bulunur. Bu her faktör için aynıdır.

$$\nu_{A \times B} = (\nu_A)(\nu_B)$$

Her hangi bir interaksiyonun serbestlik derecesi ilgili faktör serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

$$\nu_T = N - 1$$

$$\nu_T = \nu_A + \nu_o$$

$$\nu_o = \nu_T - \nu_A$$

$$V_A = \frac{SS_A}{\nu_A} \quad , \quad V_o = \frac{SS_o}{\nu_o}$$

:Grubun serbestlik derecesi eldeki veri sayısından 1 çıkarmakla bulunur. Ayrıca tüm faktörlerin serbestlik dereceleri ile hata serbestlik derecesinin toplamına da eşittir. Bu bakımdan hata serbestlik derecesini bulmak için toplam serbestlik derecesinden faktörlerin toplam serbestlik derecelerini çıkarmak gerekir.

Varyanslar da genel olarak kareler toplamının serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur.

Yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlarla F testi yapılır. Bu testte önce aşağıdaki formül kullanılarak teorik F hesaplanır.

$$F = \frac{V_A}{V_o}$$

V_A A faktörünün varyansıdır. Sayet dizide başka faktörler de varsa o zaman her faktörün ayrı ayrı F değeri bulunur. Bulunan F değeri tablo değeri olan $F_{\alpha; \nu_A; \nu_o}$ ile karşılaştırılır

$$F_{\alpha; \nu_A; \nu_o} < F_{data} \quad \alpha: \text{risk} \quad 1-\alpha: \text{Güven}$$

Eğer teorik F tablo değerinden büyükse o zaman hipotez $1-\alpha$ güvenle kabul edilir.

Bütün bu hesaplar yapıldıktan sonra faktörlerin katkı yüzdeleri bulunur ve Varyans Analizi (ANOVA) özet tablosu düzenlenir. Etkileri önemsiz olan faktörlerin varyansları hata varyansına eklenir. Bu işlemden sonra elde edilen tabloya havuzlanmış ANOVA tablosu denir. Her iki örneğin de gösterildiği örnek tablo aşağıya alınmıştır (Tablo 2-1).

Tablodaki ifadelerle bakılınca A ve B faktörleri etkin olup %99 güvenle F değerlerini almışlardır. C, D ve E faktörlerinden ilk ikisinin etkinlikleri 0, sonuncusunun ise 0 denecek kadar küçüktür. Bu yüzden bunların etkileri ihmal edilir. Ancak varyanslarını hata varyansına eklemek gerekir. Dikkat edilirse T den önce hata varyansı olmadığı halde T'den sonra e_p şeklinde

Tablo 2.1; Özet ANOVA tablosu [5,117]

İsim	SS	ν	V	F	SS'	P
A	45.00	3	15.00	90.0 [#]	44.50	63.60
B	24.50	1	24.50	147.0 [#]	24.33	34.80
C ⁺	0.0	1	0.0			
D ⁺	0.0	1	0.0			
E ⁺	0.5	1	0.5			
T	70.0	7			70.00	100.00
e _p	0.5	3	0.167		1.17	1.60

+ % 90 güvenle
 + % 95 güvenle
 # % 99 güvenle

bir hata varyansı görülmektedir. Söz konusu hata ihmal edilen faktörlerin varyansları ile oluşturuldu. Hem serbestlik derecesi de diğer üçünün serbestlik dereceleri toplamını verir. Bu hata havuzlanmış hatadır.

Varyans analizi dışında veri analizinde yaygın olarak kullanılan metoda sütun farkları metodu denir.Şimdi bunun anlatımına geçelim

(2.3.6.2) Sütun Farkları Metodu

Aslında bu metod varyans analizinin basitleştirilmiş bir versiyonudur. Sütun farkları metodunda seçilen ortogonal diziye ait cevap değişkenleri tablosu öncelikle oluşturulur. Tablo faktörlerin kaçar adet kademeleri varsa o kadar sütundan oluşturulur.Örneğin L8 kullanılacaksa $7 \times 2 = 14$ tane sütun açmak gerekmektedir. Tablo(2-2) L8 için düzenlenen tabloyu göstermektedir. Tablo çizildikten sonra her bir faktöre ait sütunlara numaralar verilir (2'li ise 1,2; 3'lü ise 1,2,3).Sonra her bir kolonun hangi denemede açık hangi denemede

kapalı olacağını ifade etmek için kapalı olmaları gereken yerleri taranır. Böylece tablo oluşmuş olur, Bundan sonra her bir denemeye ait değeri satır boyunca tüm açık kutucuklara yazılır, yazım bittikten sonra kolonlar teker teker toplanarak toplam bölümüne, ortalamaları alınarak da ortalama bölümüne kaydedilir. Bu işlemden sonra her bir faktöre ait kolonların farkları alınır. Farklar büyüklük sırasına göre dizilir. Varyans analizindeki gibi bunda da en büyük fark değeri en etkin olan faktörü gösterir. Bu değerler daha sonra bir grafik üzerinde gösterilir. Tercihler grafik üzerinde belirlenir.

Sonuç değişkenleri tablosunda elde edilen değerlerin grafik üzerinde gösterimi ise aşağıdaki algoritmaya [7,36] göre yapılır.

- 1.Tablo sonucunda en büyük ve en küçük değerleri belirle,
- 2.Bütün bu ortalamaları içerecek biçimde bir dikey skala çiz,
- 3.Bu dikey skalanın tüm değerler ortalamasına denk olan noktasından yatay bir eksen çiz,
- 4.Her bir faktör için yüksek ve düşük seviye değerlerin noktasını grafikte işaretle (Seviye numaraları noktanın yukarıda veya aşağıda olmasını etkilemez, büyüklük önemlidir),
- 5.Her bir faktöre ait noktaları doğru bir çizgi ile birleştir.

Grafik tekniğinde etkin faktörlerin seviyeleri arasındaki çizgi büyük olur. Eğer problem maksimum hedefli ise büyük değeri veren seviye, eğer minimum ise küçük değeri veren seviye tercih edilmeli.

Bu tekniğin sonucunda birde Normal dağılım grafik kağıdı kullanılarak etkinlik belirlenebilir. Bununla ilgili algoritma [7,52-54] aşağıdadır.

- 1.Tahmini faktör etkilerini küçükten büyüğe doğru sırala,
2. (E_i, P_i) noktalarını normal dağılım kağıdında işaretle, $(i=1, \dots, m)$
m: Tahmini etken sayısı
 E_i : i.tahmini faktör değerinin en küçük değeri

$$P_i = \frac{100(1-0.5)}{m}$$

E_i değeri yatayda P_i değeri ise dikey ekseninde yer alır. 2 seviyeli deneylerde skala 7 veya 15 üzerinde alınabilir. Skala daima kağıdın yanında yer alır.

3. Doğru bir çizgiyi noktaların yoğunluk kazandığı bölgeden geçirin. Çok büyük E_i 'lerle çok küçük E_i 'leri ihmal ediniz. Diğer noktalar gerçek etkiye sahipler.

(2.3.6.3) Signal To Noise Oranı

Taguchi metodunda iki önemli amaç vardır.

1. Ürün karakteristik değerini hedefe mümkün olduğunca yaklaştırmak.
2. Minimum sapmayı sağlamak.

Maddelerden ilkinin Taguchi şimdiye kadar açıklanan metodlarla gerçekleştirmişti. İkinci madde ise bir değişim ölçüsü gerektirmektedir. Veri noktaları arasındaki farklılığı minimize etmek için Signal To Noise Oranı Taguchi tarafından geliştirilmiştir. S/N oranı kalitenin karakteristikğine göre hesaplama biçiminde değişiklik gösterebilmektedir.

Kalite karakteristikği üç türlü olabilmektedir:

1. Ölçüm değeri küçüldükçe iyileşmenin arttığı karakteristik tipidir. LB ile gösterilir. İdeal değer 0'dır ve negatif tolerans da yoktur. Sapma varsa eğer pozitif yöndedir. Bu karakteristikğin hesaplama formülü;

$$S/N_{LB} = -10 \log \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \quad \begin{array}{l} r : \text{Bir denemede ki test sayısı} \\ y_i : \text{Gözlem Değeri} \end{array}$$

2. Nominal değere ne kadar yaklaşırsa iyileşme o kadar gerçekleşir. İdeal değer nominal değer olduğu durumdur. Sapma sağda veya solda gerçekleşebilir. Varyans analizi kullanılarak S/N oranı şöyle saptanır:

$$S/N_{NB1} = -10 \log V_e \quad (\text{Sadece varyans göz önüne alınınca})$$

$$S/N_{NB2} = -10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{r V_e} \right) \quad (\text{Hem varyans hemde ortalama ile})$$

V_e ;Hata varyansı, V_m ;Ortalamanın varyansı [5,172-175]

Bu karakteristik tipinin başka bir hesaplanma yolu da vardır.

$$S/N_{NB} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right)$$

\bar{y} :Veri gruunu ortalaması

s : grubunun st.sapması

[7,137]

3.Ölçüm değeri büyüdükçe iyileşmenin arttığı karakteristik tipidir.İyileşme için üst sınır yoktur. Ne kadar artma olursa iyileşme o oranda olur. Hesapalma aşağıdaki formülle yapılır.

$$S/N_{HB} = -10 \log \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^{-2} \right)$$

S/N oranı aynen varyans analizi veya sütun farkları metoduna tabi tutulur. Yapılan işlem sonucunda etkin faktörler belirlenir.Çoğunlukla ortalamayı optimize eden faktörler değişkenliği de minimize ederler. Yukarıda bahsedilen analizler S/N için de yapılmış ortaya bir tablo çıkar.Bu tablodan optimal tercihler yapılır.

(2.3.7) Parametrelerin Optimal Şartlarının Belirlenmesi ve Değerlerin Tahmini

Gerek varyans analizi ve gerekse sütun şartlarının farkları metodu bize deneyde varmak istediğimiz sonuca yöneltir. Etkin faktörleri bu işlemlerin sonucunda belirleriz.Özet tablolardan aldığımız bilgilerden etkin faktörün optimizasyon için hangi kademenin tercih edilmesinin gerektiğini ve hangi faktörlerin etkin olmadığını, hangi seviyede olursa olsunlar karektiristikimizi etkilemeyeceğini sonuç olarak çıkarırız.Bu sonuçlar bizim için tahmini optimal parametlerdir.Tercih edilen seviyelerin şartlarında ortalama değeri ve güven aralığını

tahmin ederiz.

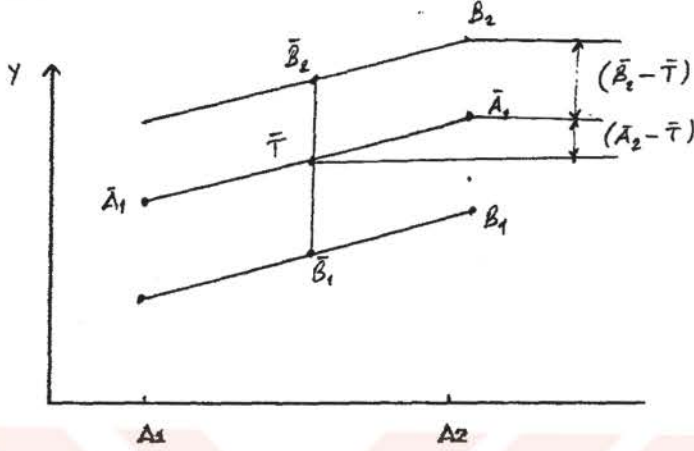
$$\mu_{A_2B_2} = T + (A_2 - T) + (B_2 - T) = A_2 + B_2 - T$$

T : Gözlem değerleri ortalaması

A₂ : A faktörünün 2. seviyesinin ortalama değeri

B₂ : B faktörünün 2. seviyesinin ortalama değeri

$\mu_{A_2B_2}$: A₂ ve B₂ şartlarında tahmin edilmiş ortalama değer



Sekil 2.8; Interaksiyonun olmadığı faktörlerin grafiği.

Yukarıdaki grafikte formülümüzün şekilsel ifadesi sunulmuştur. A faktörüne göre 3 faktör değerlendirilmiş ve aralarında interaksiyon görülmemiştir. En üstteki parçasının orta noktası B₂'yi verir. En alttakinin orta noktası da A₂'yi verir. İki orta noktayı birleştiren dikey doğru parçasının orta noktası ise T'yi verir. Bu T noktasından geçip diğer iki doğru parçasına paralel olan doğru parçasında A₁ ve A₂'yi sırasıyla uç noktaları verir. Bu noktalar arasındaki dikeyde kalan fark ise faktörlerin katkı paylarını verir.

Tahmin edilen ortalama değerlerin bir de güven aralığına bakılması gerekmektedir. Çünkü tahmini bir değer tutarlılığı zaten pratik gözlem değerle %100 aynı olmadığından pratik değerlerin de içerisinde bulunması beklenen bir güven aralığı ile sağlanır. Güven aralığı ortalamanın altında ve üstünde seyredip kabul görecektir. Tahmini değerler içinde tek nokta gibi keskinlik söz konusu olamaz. Bu yüzden güven aralığı hesaplanır.

Uc türlü güven aralığı hesaplanabilmektedir.

1. Deneyde mevcut her hangi bir faktör şartına ait güven aralığıdır. Örneğin A_1 için güven aralığı araştıralım. Bunun için notasyonlarımızı ifade edelim.

CI_1 : Güven aralığı

$F_{\alpha; 1; v_2}$: Gerekli F oranı

α : Risk $1-\alpha$: Güven

$$CI_1 = \sqrt{(F_{\alpha; 1; v_2} v_o / n)}$$

$v_1 = 1$

$v_2 = v_o$

v_o : Hata varyansı

n : İlgili test sayısı

$$\mu_{A_1} = A_1 \pm CI_1$$

$$A_1 - CI_1 \leq \mu_{A_1} \leq A_1 + CI_1$$

N : Yığının hacmi

r : Örnek hacmi

2. Deneyde bulunan optimal şartlara göre tahmin edilen değer için güven aralığıdır. Bunun için yukarıdaki notasyonları aynen kullanabiliriz.

$$CI_2 = \sqrt{\left[F_{\alpha; 1; v_2} v_o / n_{off} \right]} \quad n_{off} = N/n_1$$

n_1 : μ 'ün tahmin edilmesinde kullanılan toplam serbestlik derecesi

Örneğin

$$\mu_{A_2 B_2 C_1 D_2} = A_2 B_2 + C_1 + D_2 - 2T \quad \text{olsun}$$

Güven aralığı ile beraber

$$\mu_{A_2 B_2 C_1 D_2} = (A_2 B_2 + C_1 + D_2 - 2T) \pm CI_2$$

3. Sağlama deneyi için güven aralığıdır. CI_2 den farkı CI_2 tüm yığının güven aralığı iken CI_2 'ün sadece sağlama deneyi örneği için güven aralığı olmasıdır. Burada yine aynı notasyonu kullanabiliriz.

$$CI_s = \sqrt{\left[F_{\alpha; 1; v_2} V_o (1/n_{eff}) + (1/r) \right]}$$

(2.3.8) Sağlama Deneyinin Yapılması ve Sonuçlandırma

Tahmini değerler güven aralıklarıyla beraber belirlendikten sonra işlemlerin sağlanması mahiyetinde optimal şartlarda bir deney gerçekleştirilir. Bu işlem parametre tasarımı sürecinin son ve önemli adımı olmaktadır. Deney seçilen optimal şartlar altında bir kaç tekrar halinde yapılır. Tekrarların sayısı daha önceki deneylerdekinin aynısı olabilir.

Bu deneyden elde edilen verilerin ortalaması ve standart sapmaları bulunur. Hatta S/N oranları bulunur. Eğer gözlenen değerler daha önceki çalışmalardan elde edilen tahmini değerlere yakınsa daha doğrusu sağlama deneyi için öngörülen güven aralığının içinde ise deney realitelere oldukça yaklaşmış demektir. Böylece biz bulduğumuz optimum değerleri bu çalışmanın uygun ve optimum sonuçları olarak kabul eder ve çalışmayı sona erdiririz. Sayet gözlenen değerler daha önce öngörmüş olduğumuz değerlerden uzaksa o zaman modelde bir başarısızlık, bir hata var demektir. Başarısızlık söz konusu olunca geri besleme mekanizmasını devreye sokmak gerekmektedir. Geri beslemenin varlığı, metodun sürekli kendini yenileyebilirliliğini ve sürekli gelişmeye imkan veriyor anlamını verir. Geri besleme en başa değilde modelin kuruluşunun başı sayılan faktör seçimi ve seviye tespitinin yapıldığı 3. adıma gidiyor. Buraya gelince prosesi tekrar yeni baştan inceleyip daha isabetli bir model kurma çalışmasına yeniden başlanır.

Yapılacak çalışmalar öncelikle hatanın ne olabileceği ve kaynağının neresi olduğunu belirleme çalışması olacaktır. Başarısızlığın kaynakları şunlar olabilir; hedef fonksiyonunun yanlış seçimi, yanlış faktörlerin seçilmiş olması, karakteristiğinin yapısına uygun olmayan S/N oranının seçilmiş olması, ortogonal dizinin seçiminde hata yapılmış olması gibi bütün bu sebeplerden biri veya bir kaçının neticenin başarısızlığına etki

etmiş olabilir. Hatanın farkına varılınca hemen düzeltme yoluna bakılıp çalışmalara tekrar başlanıp sonuca gidilir [8,90].

Sonuçlandırma safhasına gelince çalışmalarımız başarılı olmuş demektir. Bu durumda yapılacak çok önemli bir şey yoktur. Yapılacak şey sadece optimal olarak ortaya çıkmış faktör kombinasyonunu üretimimizin ayarlanması gereken durum olarak benimsenmesidir. Ve yapılacak üretim bundan sonra bu şartlara göre ayarlanmalıdır.

Sonuca varılınca şayet hedef değere isabet ettirilebilmişse bu takdirde mesele kalmamıştır. Sadece kaliteyi sürekli geliştirme felsefesi gereği yeni daha çok nitelikli ve daha bir üst hedef tayin edilip bu yeni belirlenen hedefe varma çalışmaları yapılır. Ancak yapılan çalışmada hedefe varmak mümkün olmamış ise bu takdirde tolerans tasarımı çalışmaları yapılır. Ve mümkün olduğunca üretim aralığı (tolerans aralığı) dar tutulur. Bu durumda da yine geliştirme çalışmalarına devam edilir. Zira bu işletmenin sürekli faaliyetleri arasına alınması gerekliliğine haiz değerdedir.

(2.4) TOLERANS TASARIMI

Tolerans tasarımı Taguchi metodunun son adımını teşkil eder. Metodu bu konudaki faaliyetleri gerçekleştirdikten sonra nihayettlendirmiş oluruz. Ancak "her zaman bu adımı atarmıyız?" sorusuna kaynaklardan biraz farklı cevaplar gelmektedir. Zira kimileri bu adımı doğal olarak her problemin çözümünde atılması gerekir derken [2,4-9] kimiside bazen parametre tasarımıyla varılan noktanın daha ilerisine gitmek gerektiğinde ekonomik denge bakımından atılması gerekir [5,20], [8,33-34] demektedirler. Hatta Taguchi [1]’de hepten toleranslarla çalışmanın zararlarından bahsetmektedir. Öyleki "şayet toleranslarla çalışırsanız montajınızda sapmalar birikip ciddi bir başarısızlık ortaya çıkabileceği halde onu toleranslar içinde diye kabul etmiş olacaksınız " demektedir. Şimdi bunlar esasen iki durum arzederler.

1 - Tolerans dizaynı; şayet parametrelerin optimal değeri

sonucunda vardığımız nokta daha da ileriye götürülebilecekse o zaman ekonomik kayıpları azaltmak amacıyla bir maliyet dengelemesi gerekir ki bu da tolerans tasarımı ile yapılır.

2 - Her ne kadar sapmaları azaltsak da sonuçta hedef değeri tutturmak yani çıkan mamüllerin istatistikî dağılımı tek bir noktaya hatta bir noktadan ibaret olma imkanı çok zor gerçekleştiği için pratikmen normal dağılıma uyum gösterecekleri kuvvetli ihtimaldir. Böyle olunca pratik bir zaruret dolayısıyla mamül üretiminde ekonomik dengeyi sağlayacak toleransları dizayn etmek mutlaka gerekir.

Yukardaki görüşlerin ilki Taguchi felsefesine en uygun olanıdır. Bu bakımdan biz onu daha çok benimsemiş olacağız. Ancak her halukarda dar tolerans daima tercih edileceklerdir. Zira sapmalar arasındaki fark ne kadar büyükse ürün spesifik hedef değerden o kadar çok sapsın olacak ve bu da stratejik anlamda işletmenin büyük bir kaybıdır. Uzun dönemde müşteri bazında itibar kaybı genellikle geniş toleranslarla çalışma sonucunda doğar. Bu yüzden kısa dönemdeki maliyet artışlarını uzun dönemde itibar kazanmak için katlanılacak bir maliyet olarak kabul etmek isabetli olacaktır.

İlk görüşün hatırlattığı bir başka olayda şudur : Esasen tolerans tasarımı kalite geliştirme sürecinin bir adımı olmaktan çok kalite değerlendirme faaliyetidir. Nitekim bazı yayınlarda kalite çalışmalarını çerçevesini iki parça halinde sunarlar, Taguchi perspektifiyle bakınca Bu iki parça;

1 - Kaliteyi nasıl geliştirelim ?

2 - Kaliteyi nasıl değerleyelim ?

Sorulardan ilki sistem ve parametre tasarımıyla ve daha bazı yan çalışmalarla cevaplanır. İkincisi ise zaten tolerans dizaynı ile cevaplanır. Zira ürünlerimize tolerans belirtirken ileride varmamızı bekleyen kalite seviyelerine varmak için bir seans sonu bekleme olarak düşünürüz. Geliştirme çalışmalarını süreklilik kazandığında şu andaki seviyemizle zaten

yetinmeyeceğiz. Bu bakımdan tolerans tasarımı kısa süreli bir çalışma olmaktadır ve sahip olduğumuz kaliteyi değerlemeye tabi tutacaktır.

Şimdi tolerans tasarımı faaliyetlerine geçelim. Tolerans tasarımını gerçekletirebilmek için bir takım adımları atmak gerekir. Bunlardan en önemlisi kalite kayıp fonksiyonudur. Tolerans dizaynı yapılırken bu fonksiyondan geniş ölçüde faydalanılır.

(2.4.1) Kalite Kayıp Fonsiyonu

Kalite kayıp fonksiyonu Taguchi felsefesinin önemli bir uygulamasıdır. Taguchi'ye göre hedef değerden meydana gelen sapmalar miktarı ne olursa olsun mutlaka bir kayıp getirir. Onun için kaybın hiç olmadığı ancak bir tek nokta vardır. Bu noktanın sağında ve solunda meydana gelecek herhangi bir sapma, belirlenmiş toleransların içinde de olsa mutlak surette bir kayıp oluşturmaktadır [2,12]. Halbuki daha önceki kalite kontrol anlayışında kayıplar sayet ürün tolerans limitleri dışına taşmışsa ortaya çıkar. Bu anlayışın matematiksel ifadesini aşağıya yazarsak ;

$$L(y) = \begin{cases} 0 & |y-m| \\ \Delta_0 & \text{Diğer durumlar} \end{cases}$$

Burada ;

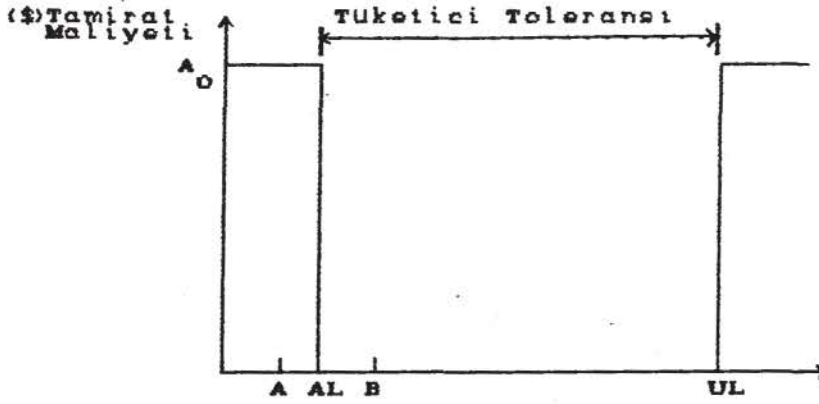
Δ_0 : Kabul edilebilir sapma miktarı ($2\Delta_0$: Tolerans)

y : Gözlem değeri $L(y)$: Kayıp fonksiyonu

Δ_0 : Limitler aşılinca doğacak maliyet

m : Hedef değer [8,17]

Sayet gözlenen y karakteristik değerinin ■ hedef değerden farkı belirlenmiş limit olan Δ_0 sapma miktarından küçük veya eşit ise kaybımız 0 dir. Yok eğer fark (sapma) Δ_0 'dan büyük ise o zaman kaybımız Δ_0 olmaktadır. Bu ifadeyi birde grafiksel olarak gösterelim.



Sekil 2-9; Geleneksel Toleranslama Grafiği [5,4]

Yukarıda anlatılan mantık grafikte bir az daha iyi belirginleşmiştir. Toleranslar içindeki değerler kabul edilir, dışındakiler reddedilir.

Örneğin A ve B noktalarını düşünelim. Aralarında çok fazla bir fark yok ancak biri limitin içinde diğeri dışında kalıyor. A noktası limit dışında olduğu için A_0 kaybını (maliyetini) getirdiği halde B'nin kaybı 0 olmaktadır. Halbuki hedef değerimizin etrafında eşit tolerans belirlenmişse hedef değer orta noktadır ve dolayısıyla A ile B'nin bu noktaya uzaklıkları çok farklı değildir. Buna rağmen verdikleri kayıp A'nın A_0 , B'nin ise 0'dır. İşte Taguchi'nin kabul etmediği nokta burasıdır. Bunun için Taguchi kalite kayıp fonksiyonunu geliştirmiştir.

Kalite Kayıp Fonksiyonu; sapmaların meydana getirdiği kaybı yaklaşık bir hesapla ölçebilmektedir. Fonksiyon şudur;

$$L(y) = k (y - m)^2$$

y : Kalite karakteristiği gözlem değeri

L(y): Kayıp fonksiyonu

k : Orantı sabiti

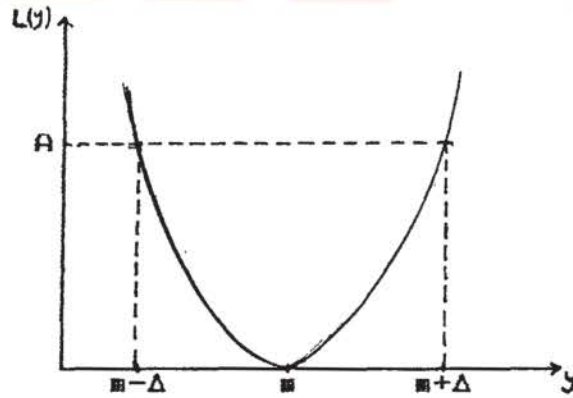
m : Hedef değer

Buradaki notasyonda daha öncekinden farklı olarak 'k' mevcuttur. Buna sabit kalite kayıp katsayısı denir. k katsayısı her bir karakteristik için farklı değerler almaktadır. Hesaplanışına gelince; daha önceki notasyonları aynen kullanacak olursak şöyle bir formül sunabiliriz. Yalnız $A_0 \rightarrow A$, $\Delta_0 \rightarrow \Delta$ olsun.

$$k = \frac{A}{\Delta^2}$$

k esasen $L(y)$ fonksiyonun başlangıç değerlerinden hesaplanır. Yani bir ürün karakteristiği için belli bir sapmanın verdiği kayıp belli ise o takdirde bu değerler başlangıç değerleri olur ve k bunlarla hesaplanır. Bu başlangıç değerleri genellikle dizayn aşamasında öngörülen tolerans değeri olan Δ_0 ve bunun verdiği kayıp olan A'nın ekonomik analizler sonucu belirlenmiş değeridir. Bu da demektir ki sapmaların verdiği kabul edilebilir kayıp sınırı A'dır ve A kaybının gözlem değer eksenindeki iz düşümü Δ , tolerans sınırimızdır. Bu iki değerle k değeri hesaplanır ve sonra kayıp hesabına geçilir. Bu durumda formülümüz aşağıdaki halı alır.

$$L(y) = \frac{A}{\Delta^2} (y - m)^2$$



Sekil 2-10; Kayıp Fonksiyonunun Grafiği

Yukarıda görüldüğü gibi kayıp fonksiyonu grafiği bir parabol olmaktadır Taguchi felsefesine uygun olarak nominal (hedef) değer gerçekleşince kayıp 0 olmaktadır. Diğer durumlarda mutlak surette bir kayıp söz konusudur. Örneğin y_1 noktasının kaybı

$L(y_1)$, y_2 noktasının kaybı ise $L(y_2)$ olmaktadır. Daha önceki grafikte olduğu gibi bunda da toleranslar mevcuttur. Ancak toleranslar kaybın kabul sınırları için vardır; sapma tolerans içinde de olsa dışında da olsa bir kayıp oluşturur. Sapma ne kadar çoksa kayıp o kadar fazla olur.

Ortalama Kalite Kaybı

Proseste üretilen mamüllerin çeşitli faktörler dolayısıyla eşit ölçülü olmadıkları bir realitedir. Ancak parametre tasarımı yapılarak proses duyarsız ve esneksiz bir hale getirilmişse bu durumda ölçüler birbirine çok yaklaşmış demektir. Hatta çoğunlukla hiç sapma olmaz. Böyle bir dengeleme henüz yaygınlaşmış olmadığından her bir mamüle ait karakteristik değeri farklı bir kayıp getirecektir. Tüm örnekler için temsil edecek bir değer bulunmalıdır ki buna ortalama kalite kaybı denir. Şimdi y_1, y_2, \dots, y_n gibi n adet gözlem değeri olsun. Ortalama kayıp o zaman şöyle hesaplanır.

$$\begin{aligned} Q &= 1/n \left[L(y_1) + L(y_2) + \dots + L(y_n) \right] \\ &= k/n \left[(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2 \right] \\ &= k \left[(\mu - m)^2 + (n-1)/n \sigma^2 \right] \end{aligned}$$

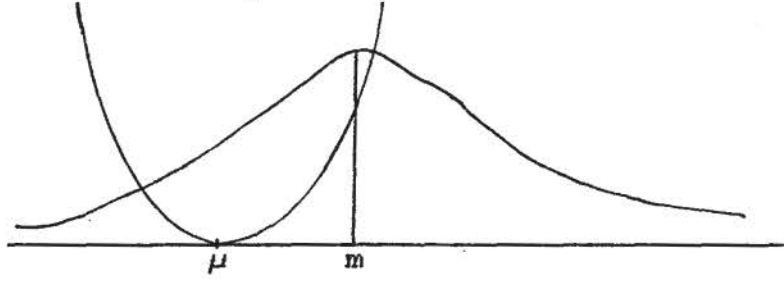
Burada μ : örnek ortalaması σ : örnek standart sapması olsun

$$\mu = 1/n \sum_{i=1}^n y_i \quad \sigma^2 = 1/(n-1) \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

Örnek hacmi büyük olduğu zaman

$$Q = k \left((\mu - m)^2 + \sigma^2 \right) \text{ olur}$$

Q ifadesini birde grafik üzerinde gösterirsek daha iyi anlaşılacaktır.



Sekil 2-11; Hedef Değer ile Örnek Ortalamasının Farkı

Grafikte hedef değer m ile normal dağılmış y 'lerin ortalaması μ arasındaki farkın ürünlerin çoğunluğunun hedeften kaydığını göstermektedir. İdeal olan, $m = \mu = y_i$ olmaktır. Ancak hiç olmazsa normal dağılmış yığının ortalaması ile hedef değer çakışık olmalıdır.

Kayıp fonksiyonu bir çok kullanım alanına sahiptir. Bunlardan bir tanesi de kalite değerlemede tolerans tasarımıdır. Tolerans tasarımı önemli ölçüde karakteristik değerinin ekonomik boyutuyla ilgili olduğundan bu fonksiyon gayet kullanışlı olmaktadır.

(2-4-2) Tolerans Tasarımına Geçiş

Tolerans dizaynı yapılırken daha önce de ifade ettiğimiz gibi kalite kayıp fonksiyonundan geniş ölçüde faydalanırız. Çünkü tolerans tasarımı nihayetinde ekonomik analizler sonucunda ortaya çıkar. Bu bakımdan kalite kayıpları önemli bir ölçüttür. Tolerans tasarımına başlamadan önce karakteristik tipini de belirlememiz gerekmektedir. Üç tip karakteristik mevcuttur.

- 1- Nominal değer en iyisidir.
- 2- Büyüdükçe iyileşme artar.
- 3- Küçüldükçe iyileşme artar.

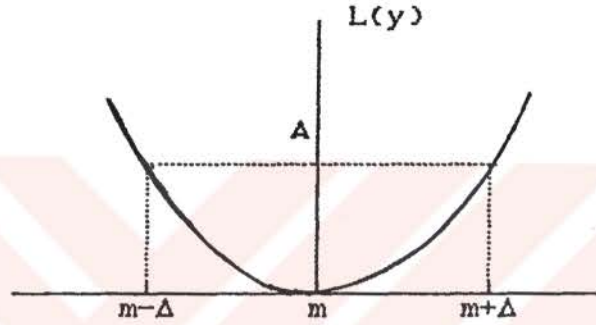
(2-4-2-1) Nominal Değer En İyisidir.

Bu karakteristik tipinde sapmalar sağlı ve sollu olarak gerçekleşebilmektedir. Dolayısıyla iki taraflı toleransa

sahiptir. Bu karakteristik tipine örnek olarak boyut, viskozite ve parlaklık karakteristiklerini verebiliriz. Temel bir ölçü ve sağında, solunda yer alan (+) ve (-) değerli toleranslardan oluşan bir ölçüyle ifade edilirler. Bu tipinde iki ayrı inceleme vardır.

- i- (+) ve (-) tolerans değerleri eşit olunca
- ii- (+) ve (-) tolerans değerleri farklı olunca

(i) deki özelliğe sahip bir karakteristik daha önce ifade edildiği gibi bir kayıp fonksiyonuna sahiptir.



Sekil 2-12; Tolerans Limitleri Eşitken Kayıp Fonksiyonunun Grafiği

$m \pm \Delta$ şeklinde gösterilir Δ toleransı sağda ve soldaki her iki değeriyle de birbirine eşittir. Bu fonksiyon da

$$L(y) = k(y-m)^2 \quad \text{veya} \quad L(y) = A/\Delta^2 (y-m)^2$$

olarak ifade edilir.

Tolerans da şu formülle elde edilir.

Δ : Yeni tolerans

$$\Delta = \Delta_0 / \phi$$

Δ_0 : Eski tolerans (fonksiyonel tolerans)

ϕ : Güven faktörü

$$\phi = \sqrt{(A_0 / A)}$$

A_0 : Hatalı bir ürünün kaybı

(ii) durumu söz konusu olunca kayıp fonksiyonun ifadesi farklılaşır. Bu durum da toleranslar eşit olmadığından farklı

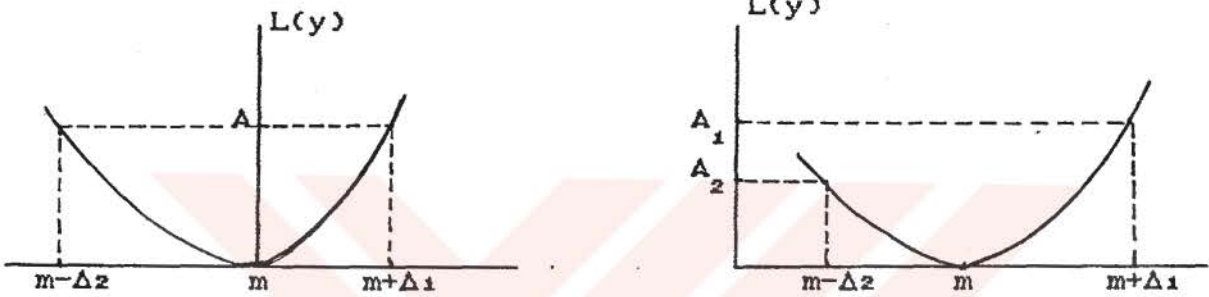
iki değer bulmak gerekecektir. Karakteristik ölçüştü aştğıdaki şekilde ifade edilir.

$$\begin{matrix} m+\Delta_1 \\ m-\Delta_2 \end{matrix}$$

Kayıp fonksiyonu ise

$$L(y) = \begin{cases} \Delta_1 / \Delta_1^2 & y > m \\ \Delta_2 / \Delta_2^2 & y \leq m \end{cases}$$

Fonksiyonun grafiğine gelince



Sekil 2-13; Tolerans Limitleri Farklı İken Kayıp Fonksiyonunun Grafiği

Grafikler birbirlerinden farklı durumlarda. A'nın durumuna göre değişiklik göstermektedir. $A_1 = A_2$ ise soldaki $A_1 \neq A_2$ ise sağdaki grafik çizilir.

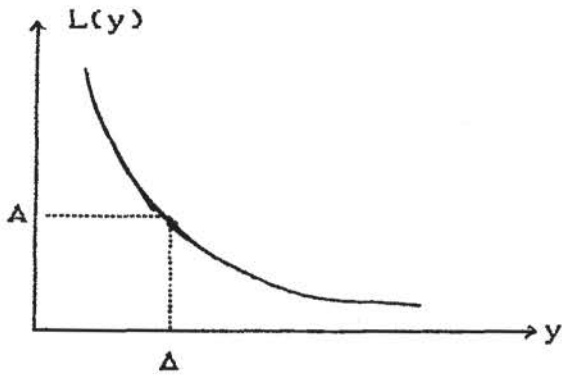
(2-4-2-2) Tolerans Değeri Büyüdükçe İyileşme Artar

Bu tip tolerans çalışmalarında karakteristiğin durumu gereği bir üst sınır yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçüyü büyütebildikçe büyütmek verimliliği gittikçe arttıracaktır. Buna örnek olarak malzemelerin mukavemeti ,yakıtın etkinliği verilebilir. Yani karakteristik gözlem değeri $Y \geq 0$ alt tolerans limiti Δ ve ideal değer $m = +\infty$ olur. A değeri ise Δ 'nın altına düşüldükçe meydana gelen kayıp olarak belirlenir.

Kayıp fonksiyonu ;

$$L(y) = A\Delta^2 / y^2 \quad \text{veya} \quad v = 1/n(1/y_1^2 + \dots + 1/y_n^2) \quad \text{ise} \quad L(y) = A\Delta^2 v^2$$

Karakteristiğın kayıp fonksiyonu aşağıdaki gibi bir grafik verir.



Burada yeni bir tolerans tasarımı yapılacaksa şu form llerle yapılır

$$\Delta = \bar{\Delta}_0$$

$$= \sqrt{(A_0 / A) \Delta_0}$$

olur

Sekil 2-14; Üst Tolerans Limiti yokken Kayıp Fonksiyonu

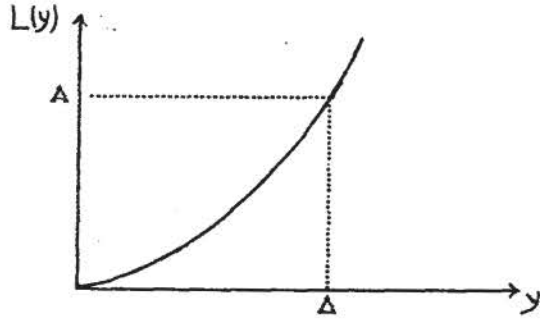
(2-4-2-3) Küçülme Arttıkça İyileşme Artar

Bu karakteristik tipi negatif yönden bir sapma göstermez. Daima alt sınır ideal değerdedir, tolerans azaldıkça durumda iyileşme daha bir belirginleşir. Bu tipe örnek olarak pas ,gürültü gösterilebilir. Karakteristik değeri $y \geq 0$ hedef değer $m = 0$ ve alt tolerans olmadığı için ve sadece üst tolerans olduğu için üst tolerans limiti de Δ 'dır. Bu noktanın kaybı ise A 'dır. $m=0$ olduğundan $L(y)$

$$L(y) = A / \Delta^2 (y-0)^2$$

$$L(y) = A / \Delta^2 y^2 \quad \text{olur}$$

Grafik de aşağıdaki gibi olur;



Eğer tolerans tasarımı gerçekleştirilecekse yeni değerler de şöyle bulunur.

$$\Delta = \Delta_0 \phi_0 / \phi \text{ veya}$$

$$\Delta = \sqrt{(A / A_0) \Delta_0} \text{ dan bulunur.}$$

Sekil 2-15; Alt Tolerans Limiti Yokken Kayıp Fonksiyonu

Tolerans tasarımı böylece değişik şekillerde yapılmaktadır.

BÖLÜM 3

UYGULAMA

Bu uygulama Taguchi metodunun özellikle yoğunluk kazandığı parametre tasarımı'nın bir uygulamasıdır. İçeriği metodun pratik bir probleme uygulanmasından ibarettir. Bu çalışma Goedze İstanbul Segman ve Gömlek Sanayi T.A.Ş ' nin Sapanca Kırkpınar Köyündeki fabrikasında gerçekleştirildi. Şimdi çalışmaya geçelim.

(3-1) Problemin Tanımlanması ve Hedef Tesbiti Çalışmaları

Problemimiz gömlek üretiminde kullanılan ve uzun borular halinde üretilen tüplerin yeterli düzgünlüğe sahip olmamasından ibarettir. Gömlekler değişik makina ve metodlarda dökülmektedir. Bunlardan bir tanesi de 8 gömlek olabilecek uzunlukta bir boru şeklinde dökülmekte ve sonra kesilme işlemine tabi tutulup diğer işleme geçilmektedir. Bu yolla yapılan üretim, zaman ve iş gücü açısından büyük kazanç sağlamaktadır. İşte bu tür dökülmüş ürünlerde istenmeyen bir durum olarak eğilme meydana gelmektedir.

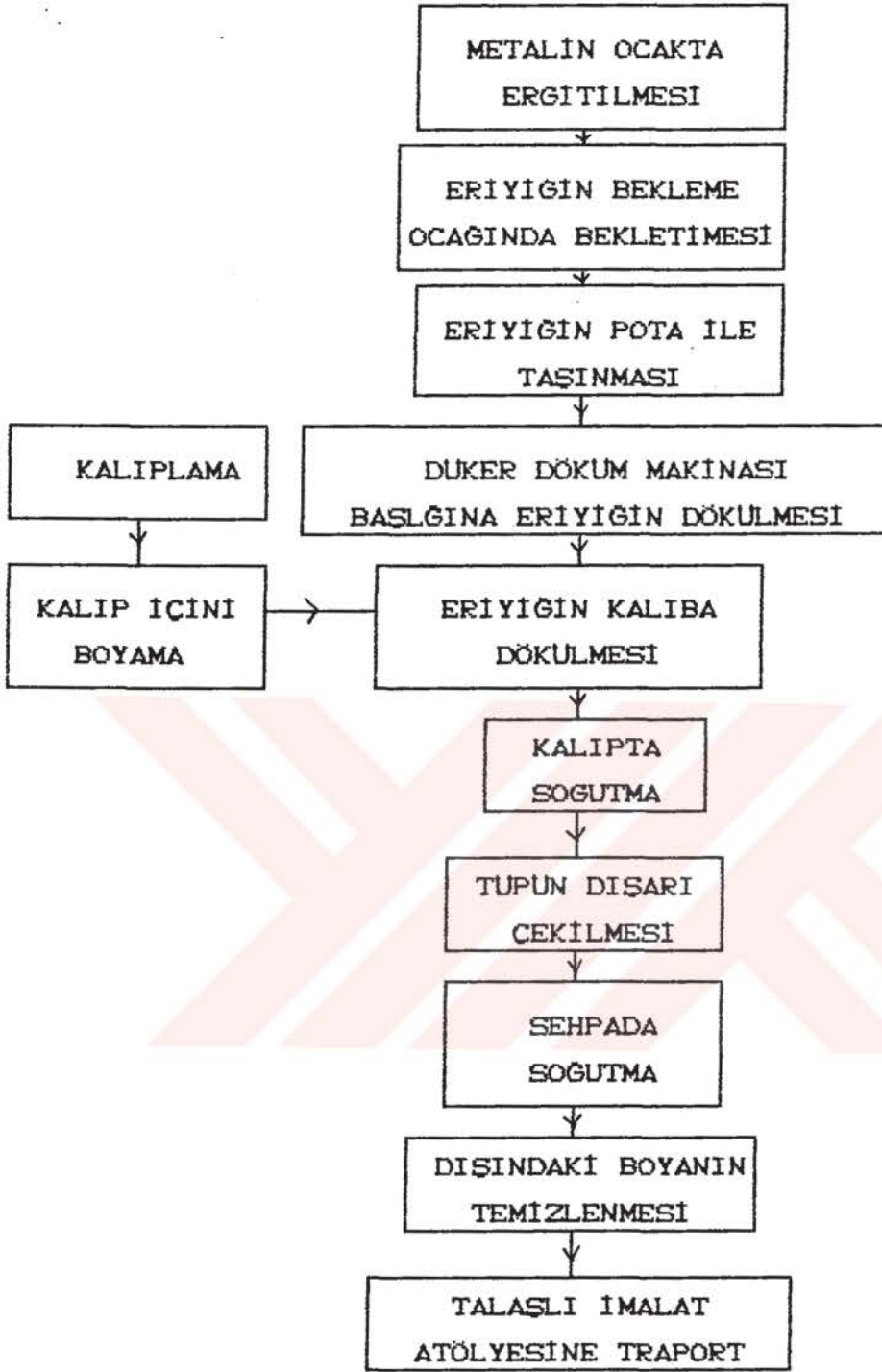
Eğilmenin olduğu bir boru daha sonraki işlemlerin yapılmasında problemler meydana getirdiğinden, sahip olduğu düzgünlüğü önleyecek bir çözüm beklemektedir. Bu bakımdan öncelikle problemin kaynakları araştırılmalı ve çözüme öyle gidilmeye çalışılmalıdır. Biz bu eğilme problemine çözüm olarak Taguchi'nin parametre tasarımı metodunu önerdik ve bunu uyguladık.

Problemimiz tıp boruların eğilmeleri ve belli bir sehimle üretimden çıkmalarıdır. Hedefimiz ise bu gerçekleşen sehimi tamamen yok etmek olacaktır. Yani sehim değerinin 0 olmasını sağlamaktır.

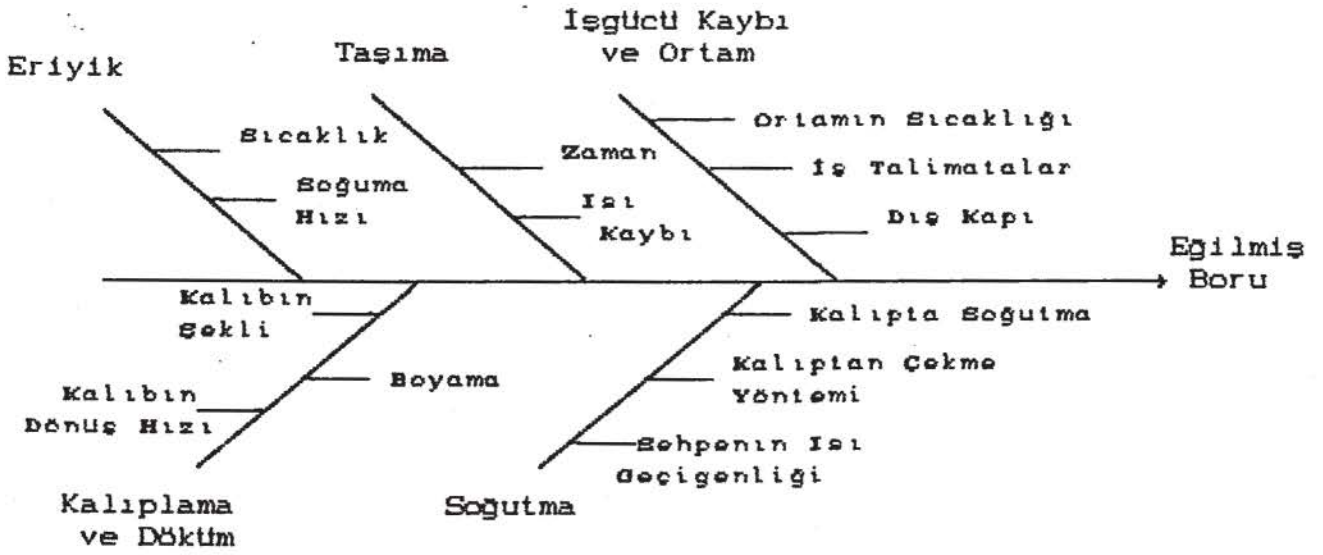
(3-2) Faktörlerin ve Faktör Seviyelerinin Tesbiti

Faktör tesbitinin yapılabilmesi için öncelikle üretim prosesinin bilinmesi gerekmektedir. Üretim prosesi tipik bir boru üretimi olarak düşünülebilir. İşlemleri global olarak bir döküm faaliyeti şeklinde düşünebiliriz. Bu döküm faaliyetinin proses şeması aşağıda verilmiştir. Proses şeması problemin oluşumunda, etkin faktörlerin tesbitinde verimli bir şekilde kullanılabilir.

Üretim prosesine gelince; öncelikle metal ocakta ergitilir, metalin ergitilmesi sonucunda oluşan eriyik bekletme ocağı denilen ocakta istenilen sıcaklıkta bekletilir. Burada bekleyen eriyik bir çok farklı prosesleri de beslemektedir. Daha sonra eriyik bekletme ocağından bir pota vasıtasıyla Düker döküm makinasına taşınır ve makinanın başlığına dökülür. Bu vakte kadar geçen sürede makinede kalıp hazırlanmış ve prosesin bir parçası olan kalıp içi boyamada bitmiştir. Kalıp içi ısı geçirmeyen bir boya ile boyanır ve dolayısıyla boya tüplerin dış yüzeylerine de bulaşır ki; üniform bir soğuma gerçekleştirilebilsin. Düker döküm makinası aldığı eriyiği savurma tekniği ile dökmektedir. Döküm işlemi bittikten sonra parça kalıp içerisinde bir süre soğumaya bırakılır. Daha sonra bir malafa ile kavranarak kalıbın dışına çekilir. Çekilen parça soğuma sehpasında soğumaya terkedilir. Soğumuş tüpler daha sonra temizleme makinasına taşınarak burada temizlenir. Ve sonrasında imalat atölyesine sevk edilir.



Sekil 3-1 İş Akışı Şeması



Sekil 3-2 ; Problemin Kılçık Diyagramı

Poblemle ilgili kılçık diyagramı ve iş akışı şeması yukarıda görülmektedir. Sonuçta eğilmiş bir tüp oluşumuna etki edebilecek potansiyel faktörler ve bizzat etki eden faktörler aşağı yukarı görülebilmektedir. Bu iki diyagramdan faktörlerin seçimini yaptık ve sonunda etkin olarak 7 faktör belirledik. Belirlediğimiz faktörlere geçmeden önce kılçık diyagramını bir az değerlendirelim.

İlk olarak eriyik ve ilgili etkileri göz önüne alalım. Eriyik dökümümüzün esas hammaddesi olduğundan sonucu etkilemesi de muhtemeldir. Bir kez eriyiğin sıcaklığı soğumada ve tanelerin oluşumunda etkin bir faktör olmalıdır; aynı zamanda kontrol edilebilmesi de büyük problemler teşkil etmez. Soğuma hızına gelince etki etmesi potansiyel olarak mümkündür, ancak sıcaklık kontrol altına alınınca onun etkisi bir bakıma yok denecek kadar zayıflatılır. Ayrıca bu hızla ilgili bir değişiklik yapmak ta çok zor olmaktadır. Demekki eriyik sıcaklığı bizim bir faktörümüz olabilir. Zira kademeleri de ayarlanabilmektedir.

Kalıplama ve döküm ise daha çok döküm metodu ile ilgilidir. Metod üzerinde bir değişiklik yapmamız teknolojik kısıtlar dolayısıyla mümkün değildir. O halde bu etki grubunun problemimiz üzerinde bir etkisi yok gibidir.

Soğutma; problemimiz açısından oldukça önemlidir. Çünkü mamül dökümden çıkar çıkmaz dış etkilerin tesirlerinde kalmaya başlar. Soğuma suretiyle gerekli mukavemetini kazanamamışsa her an şekli üzerinde bir değişim olabilir. Soğutmanın alt birimlerine gelince; kalıpta soğutma oldukça önemli bir faktördür. Mamül kalıpta ne kadar uzun süre kalırsa o kadar uygun ortamda mukavemetini kazanır. Ancak üretim prosesinin kapasitesi burada karşımıza bir kapasite kısıtı dikmektedir. Ve böylece bu etkinin kontrolünü bir az sınırlamaktadır. Fakat etki gücünü buna rağmen elinde bulundurmaktadır. Kalıptan çekme metodu da soğuma açısından önemli bir faktördür. Zira kalıptan çekme esnasında zaman zaman yarım veya tam çekme gibi iki farklı yol takip edilebilmektedir. Bu da soğumanın tüp boyunca farklı bir dağılım arzemesine sebep olduğundan sehım oluşmasına etkisi önemli ölçüde olabilir. Sehpa faktörüne gelince etkisinin iki türlü olabileceği düşünülür . İlki sehpanın ısı geçirgenliği ki; iki dayanma noktasından tüplere temas etmekte ve bu iki noktada soğuma daha bir hızlanmaktadır. O halde bu eğilmeye etki edebilir. Bu etkini ikinci bir kademesi de, ısı geçirgenliğini belli ölçüde engelleyen bir boyama yapılabilmesidir. Sehpanın ikinci muhtemel etkisi ise dayanım noktaları arasındaki mesafe olabilir. Fakat çıkan mamül belli bir dayanım kazandığından bu etkiye karşı koyabileceğini düşünülüyoruz.

Taşıma faaliyetine ait iki etki söz konusu, ancak taşımanın yapılan fikir alış verişı sonucunda herhangi bir etki etmeyeceği kanaatine varılmıştır.

Ortamın durumu ile iş gücünün kalitesi de önemli etkenler olabilir. Bunlardan ortamın sıcaklığı üniform dağılacığından mamülü her tarafında aynı derecede etkiler. İş talimatlarına uygunluğa gelince; ustaların deneyimleri dolayısıyla ciddi manada bir problemin çıkmayacağı kanaati oluşmaktadır. Yanlızca ortamdaki ısıyı etkileyebilmesi mutemel unsur dökümhanenin dış kapısının durumu olabilir. Düker döküm makinası atölyenin konumu itibarıyla dış kapıya yakın hatta hemen yanındadır. Bu yüzden kapının kapalı ve açık olmasına bağlı olarak hava

şirkülasyonu değişmekte ve yeni kalıptan çıkmış mamülün soğumasının homojenliğini etkilemektedir. O halde bunu da bir etken olarak alabiliriz. Şimdi belirlediğimiz faktörleri sıralayalım.

- 1- Kalıpta soğuma süresi
- 2- Borunun kalıptan çekilme usulü
- 3- Borunun tırnakla kavranması
- 4- Sehpanın ısı iletimi
- 5- Dökümhane giriş kapısı
- 6- Kalıbı boyama süresi
- 7- Eriyik sıcaklığı

Yukarıda belirlemiş olduğumuz faktörler için kademe belirlemesi genelde mevcutla yeni bir alternatifini kullanma çalışmasından ibaret oldu. Bu bakımdan faktörlerimiz 2 kademelidirler. Şimdi faktörlerin kademelerini tekrar ele alalım.

1- Kalıpta soğutma süresi hali hazırda 70 sn dir. Biz bunun bir de 85 sn'liğini deneyeceğiz. Sürenin fazla uzun olmaması kapasite açısından zorunludur.

2- Boruyu kalıptan çekme 2 türlü gerçekleştirilmektedir. Biri önce bir kısmını çekip bir kısmını kalıpta bekletmek ve sonra bekletilen kısmı çekmek, diğeri de tümünü bir kerede çekmektir.

3- Malafanın ayarlanması ve ayarsız olması ki çekme işi bu malafa ile kavranarak yapılmaktadır.

4- Çıkan borunun üzerinde soğumaya bırakıldığı sehpanın durumudur. Sehpa dokunma noktalarında ısı iletimi yaptığı için boruda bu noktalarda soğuma hızla gerçekleşir. Diğeri kısımlarda daha bir gecikir. Bu durumun yanında birde ısı geçirmez bir boya ile bu ısı iletimini engelleme düşünüldü.

5- Düker savurma döküm makinası konum itibariyle dökümhane kapısının yanında bulunmaktadır. Çıkan ürünlerin soğuma

sehpa da tam kapıya bakmaktadır. Soğuma esnasında kapının açıklığı ve kapalılığının eğilmeye etki edip etmediğini ölçmek istedik.

6- Kalıp boyama süresi halihazırda 50 sn bu süreyi azaltırsak (40 sn gibi) nasıl etki eder ?

7- Eriyik sıcaklığında da 20°C 'lık bir arttırma yapmak ne kadar etkin olacaktır ? Bu ölçülmek istenmiştir.

Şimdi bu faktörleri bir tablo halinde gösterelim.

Faktör	1.Kademe	2.Kademe
A Kalıpta Soğuma Süresi	70 sn	85 sn
B Tüpün Kalıptan Çekilmesi	2 kerede	1 kerede
C Malafa Tırnağı ile Kavrama	Ayarsız	Ayarlı
D Sehpa	Boyasız	Boyalı
E Dökümhane Giriş Kapısı	Açık	Kapalı
F Kalıp Boyama Süresi	50 sn	40 sn
G Eriyik Sıcaklığı	1450°C	1430°C

Tablo 3-1; Denenecek Faktörler

Faktörlerin etkileşimleri (interaksiyonları) de mevcut değildir. Zira her biri bağımsız faktörlerdir. Bunlardan hiç biri sıcaklık-nem ilişkisi göstermez. Dolayısıyla interaksiyon nitelikli faktörümüz bulunmamaktadır. Bundan sonra yapılması gereken şey faktörlere uygun bir ortogonal diziyi seçmek olacaktır.

(3-3) Uygun Ortogonal Dizinin Seçimi

Dizilerin seçiminde öncelik sırasına göre şu sorulara cevap verilir. Cevaplama sonucunda uygun dizi bulunur.

- 1- Her faktör eşit seviyeli mi ?
- 2- Eğer eşit seviyeli ise 2 seviyeli mi 3 seviyeli mi ?
- 3- Karışık seviyeli ise dağılım nasıl ?

4- Dizinin toplam serbestlik derecesi nedir ?

Şimdi bu sorulara cevaplarımızı verelim.

1- Faktörlerimiz eşit seviyelidir.

2- Her faktör 2 seviyelidir.

3- Faktörlerimiz karışık seviyeli değildir.

4- Grubun toplam serbestlik derecesi ise

$$\begin{array}{ll} \text{A faktörü } k_A - 1 = 2 - 1 = 1 & \text{D faktörü } k_D - 1 = 2 - 1 = 1 \\ \text{B faktörü } k_B - 1 = 2 - 1 = 1 & \text{E faktörü } k_E - 1 = 2 - 1 = 1 \\ \text{C faktörü } k_C - 1 = 2 - 1 = 1 & \text{F faktörü } k_F - 1 = 2 - 1 = 1 \\ & \text{G faktörü } k_G - 1 = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

Toplam serbestlik derecesi = 1+1+1+1+1+1+1=7 dir

Bu şartlarda 2 seviyeli ve 7 serbestlik derecesini kaldırabilecek dizi L8 dizisidir. O halde deneyimizin deneme planını L8'e uygun olarak yapmamız gerekmektedir. L8 dizisi aşağıda görülmektedir.

Faktörlerimiz numaralanmış sütunlara bu aşamadan itibaren atanır. Atama işlemleri inter aksiyonların varlığına göre önem kazanır. Eğer interaksiyonlar bulunmuş olsaydı aralarında etkileşim bulunan faktörleri ilk sütunlara aktardık ki değişimleri interaksiyonların durumunu etkilemesin. Ancak bu örneğimizde faktörler arasında böyle bir durum söz konusu olmadığından atama işlemi A=>1, B=>2, C=>3, D=>4, E=>5, F=>6, G=>7 şeklinde olur. Bu duruma yapacak olduğumuz deney planını aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

Belirlemiş olduğumuz faktörler arasında kontrol edilemeyecek nitelikte (gürültü) faktör bulunmadığından yukarıdaki ortogonal diziyi kontrol faktörleri için tercih etmiş olduk. İkinci bir diziyeye gürültü faktörleri bulunmadığından gerek duyulmamaktadır. Bu aşamadan bir sonra yapılacak faaliyet deneyin icra edilip verilerin toplanmasıdır.

Deneme No	Faktörler						
	A	B	C	D	E	F	G
1	70 _{sn}	Yarı _m	Ayarsız	Boyasız	Açık	50 _{sn}	1450°C
2	70 _{sn}	Yarı _m	Ayarsız	Boyalı	Kapalı	40 _{sn}	1430°C
3	70 _{sn}	Tam	Ayarlı	Boyasız	Açık	40 _{sn}	1430°C
4	70 _{sn}	Tam	Ayarlı	Boyalı	Kapalı	50 _{sn}	1450°C
5	85 _{sn}	Yarı _m	Ayarlı	Boyasız	Kapalı	50 _{sn}	1430°C
6	85 _{sn}	Yarı _m	Ayarlı	Boyalı	Açık	40 _{sn}	1450°C
7	85 _{sn}	Tam	Ayarsız	Boyasız	Kapalı	40 _{sn}	1450°C
8	85 _{sn}	Tam	Ayarsız	Boyalı	Açık	50 _{sn}	1430°C

Tablo 3-3; L8 Dizisine Göre Deney Şartları

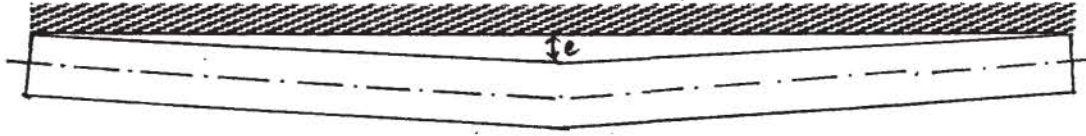
(3-4) Deneyin İcra Edilmesi ve Verilerin Toplanması

Şimdiye kadar yapılan çalışmalar bir bakıma bu aşamanın hazırlık çalışmaları niteliğinde idi. Şimdi ise icra safhası başlamaktadır. Bu icra başlamadan hemen önce bazı kararların verilmesi gerekmektedir. Bunlar, daha önce belirttiğimiz gibi ölçüm sistemi, tekrarlama sayısı ve denemelerin icrasında randomizasyonun yapılması idi.

Ölçüm sisteminde kolaylık sağlamak esastır. Yapacağımız ölçümler bir borunun sehimini ölçmek olduğundan birimler için bir ölçümle yetinmemek gerektir. Bu yüzden boruyu her seferinde 90° döndürerek 4 ölçüm yaptık. Ölçümleri de borunun yanına düz bir eleman koyup sehimin en yüksek olduğu noktada bir derinlik kumpası ile yaptık. Bu işlemi her bir boru için 4 kez yaptıktan sonra en büyük olan sehimi veri olarak aldık. Sehim bazen 1 bazen 2 boyutta gerçekleştirilmektedir. Ölçümümüzün anlaşılabilmesi için aşağıdaki Şekil 3-4'e bakılabilir.

Tekrar sayısına gelince, her hangi bir gürültü faktörü tesbit edilemediğinden belli bir tekrara ihtiyaç vardır. Zira

bilinemeyen gürültü faktörleri muhtemelen etki edebilirler. Bu bakımdan her deneme için 5'er tekrar öngördük. Seri üretim olduğu için bir ayarlama da bir çok ürün elde etmek mümkündür. Bu kolaylığı söz konusu sayıyı belirlemede göz önünde bulundurduk.



Sekil 3-4; Sehım Ölçümü Sistemi

Denemelerin randomize bir sıraya göre sıralanmaları şartlarımız açısından mümkün olmadı. Prosesin bazı şartlarını değiştirmek zor ve maliyetli olduğundan mevcut şartları zorlayamadık. Ancak, sıramız yine numara sırasına uygun olmadı. Değiştirilmeleri zor ve zaman alan şartlara göre bir sıralama yaptık. Değiştirilmesi en zor olan faktör eriyiğin ocak sıcaklığı olan G faktörüdür. Normalinde 1450°C'nin 1430°C'ye düşürülmesi zaman almaktadır bu yüzden öncelikle G₁ şartlarının olduğu denemeleri yaptık. G'den sonra ikinci önemli zorlayıcı faktör sehpa durumunu ifade eden D faktörüdür. Sehpayı öncelikle boyasız haliyle denemeye soktuk ve sonrada bayayıp soktuk. Üçüncü zorlayıcı ise dökümhane giriş kapısı idi. Kocaman kapının her seferinde açılıp kapanması zorluklar arzietmekte idi. Bu yüzden önce E₁ ve sonrada E₂ denemelerine soktuk. Diğer faktörler çok önemli olmadığından bu faktörleri sırasına göre bir ayarlama yaptık.

Buna göre yeni sıramız 1, 7, 4, 6, 8, 2, 5, 3 idi. Buna göre ortogonal dizimizi yazalım.

Deneme No	Faktörler						G
	A	B	C	D	E	F	
1	70sn	Yarım	Ayarsız	Boyasız	Açık	50sn	1450°C
7	85sn	Tam	Ayarsız	Boyasız	Kapalı	40sn	1450°C
4	70sn	Tam	Ayarlı	Boyalı	Kapalı	50sn	1450°C
6	85sn	Yarım	Ayarlı	Boyalı	Açık	40sn	1450°C
8	85sn	Tam	Ayarsız	Boyalı	Açık	50sn	1430°C
2	70sn	Yarım	Ayarsız	Boyalı	Kapalı	40sn	1430°C
5	85sn	Yarım	Ayarlı	Boyasız	Kapalı	50sn	1430°C
3	70sn	Tam	Ayarlı	Boyasız	Açık	40sn	1430°C

Tablo 3-5; Pratikte Uyulan Deneme Sırası

Yukarıdaki şartlarda yaptığımız deneylerden elde ettiğimiz veriler ise her bir tüp için 4'er tane olmak şartıyla aşağıya alınmıştır. Bunlar matris halinde verilmiştir. Satır sayısı deneme sayısını, sütun sayısı da her bir tüpe ait ölçü sayısını gösterebilir.

1. DENEME

$$\begin{bmatrix} 0.9 & 0.0 & 0.0 & 0.9 \\ 0.0 & 2.0 & 2.5 & 0.5 \\ 0.0 & 1.8 & 1.5 & 0.0 \\ 0.0 & 1.5 & 1.5 & 0.8 \\ 1.8 & 0.0 & 0.8 & 1.2 \end{bmatrix}$$

7. DENEME

$$\begin{bmatrix} 0.85 & 0.85 & 0.0 & 0.4 \\ 1.8 & 0.0 & 0.0 & 1.5 \\ 0.0 & 0.0 & 1.8 & 0.6 \\ 0.7 & 0.0 & 0.65 & 0.0 \\ 0.95 & 0.0 & 0.85 & 0.0 \end{bmatrix}$$

4. DENEME

$$\begin{bmatrix} 0.0 & 0.4 & 0.6 & 1.2 \\ 0.0 & 1.2 & 1.0 & 1.2 \\ 0.5 & 0.0 & 1.2 & 1.6 \\ 0.65 & 1.5 & 1.7 & 1.5 \\ 0.85 & 1.0 & 1.5 & 1.2 \end{bmatrix}$$

6. DENEME

$$\begin{bmatrix} 1.5 & 1.2 & 1.0 & 1.2 \\ 0.7 & 0.7 & 0.0 & 1.6 \\ 0.0 & 0.3 & 1.8 & 2.0 \\ 0.0 & 0.9 & 0.7 & 0.0 \\ 1.7 & 0.0 & 0.75 & 0.65 \end{bmatrix}$$

8.DENEME	2.DENEME
$\begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 1.8 & 0.0 \\ 0.0 & 1.5 & 0.0 & 0.0 \\ 1.5 & 0.0 & 0.0 & 0.95 \\ 0.4 & 2.2 & 1.8 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.85 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.5 & 1.3 & 0.85 & 1.3 \\ 2.2 & 1.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.4 & 0.55 & 2.0 & 0.4 \\ 1.8 & 0.0 & 0.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.2 & 1.5 & 0.8 \end{bmatrix}$

5.DENEME	3.DENEME
$\begin{bmatrix} 1.5 & 0.8 & 0.4 & 1.6 \\ 1.2 & 1.5 & 0.6 & 0.85 \\ 1.2 & 0.5 & 0.65 & 1.6 \\ 1.0 & 1.2 & 0.95 & 1.5 \\ 1.2 & 1.3 & 0.7 & 0.8 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.85 & 1.5 & 1.5 & 0.95 \\ 1.2 & 0.5 & 0.65 & 0.4 \\ 0.0 & 0.6 & 1.7 & 1.2 \\ 0.0 & 1.8 & 1.5 & 0.6 \\ 0.0 & 0.7 & 1.5 & 1.8 \end{bmatrix}$

Elde ettiğimiz bu verilerden her satırın en büyük değeri esas değer olarak aldık. Bu 4 değerden en büyüğü mevcut problemi daha iyi yansıtmakta olduğundan işlem yapacağımız değer olarak bunu seçtik. Şimdi her satırın en büyük değerini alarak her matristen 5'er değer alalım. Bu değerleri L8 tablosu ile beraber ortalama ve standart sapmalarını beraberce gösterelim. Şimdiki sıramız ise normal daha önce öngördüğümüz numara sırası olacaktır.

De. No	Faktörler							Datalar					μ	s	$\sum y_i$
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5			
1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	2.5	1.8	1.5	1.8	1.70	0.58	8.5
2	1	1	1	2	2	2	2	1.5	2.2	2.0	2.0	1.5	1.84	0.32	9.2
3	1	2	2	1	1	2	2	1.5	1.2	1.7	1.8	1.8	1.60	0.25	8.0
4	1	2	2	2	2	1	1	1.2	1.2	1.6	1.7	1.5	1.44	0.23	7.2
5	2	1	2	1	2	1	2	1.6	1.5	1.2	1.5	1.3	1.42	0.16	7.1
6	2	1	2	2	1	2	1	1.5	1.6	2.0	0.9	1.7	1.54	0.40	7.7
7	2	2	1	1	2	2	1	0.85	1.8	1.8	0.7	0.95	1.22	0.54	6.1
8	2	2	1	2	1	1	2	1.8	1.5	1.5	2.2	0.85	1.57	0.49	7.85

T=61.45

Tablo 3-6; L8 Dizisi, Veriler ve Bazı Ölçüler

(3-5) Verilerin Analizi

Verilerin analizinde bir çok teknik kullanılabilir. Yukarıda verilen verilerin varyans analizi yapıldı. Ayrıca sütun farkları metoduyla da analiz yapıldı. Önce varyans analizi metoduyla analiz edelim.

(3-5-1) Varyans Analizi

Varyans analizi tüm veri noktaları ayrı ayrı düştürülerek yapılabileceği gibi bu noktaların ortalamaları alınarak ayrıca yapılabilir. Öncelikle tüp veri noktalarını göz önüne alarak işlemlerimizi yapalım.

Toplam olarak 40 adet verimiz bulunmaktadır. Bunlardan faktörlere göre hesaplama yaparsak, her bir faktörün her bir kademesinin değerini bulmuş oluruz.

Faktör		A	B	C	D	E	F	G	T
Kademe	1	32.90	32.50	31.65	29.70	32.05	30.65	29.50	61.65
	2	28.75	29.15	30.00	31.95	29.60	31.00	32.15	

Tablo 3-7; Toplam Olarak Faktör Kademe Değerleri

Kademelere göre faktörleri aldığı değerleri yukarıdaki tablo bize sunmaktadır. Şimdi bu veriler yardımıyla her bir faktöre ait kareler toplamını ayrı ayrı hesaplayabiliriz.

$$SS_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} = \frac{(32.90 - 28.75)^2}{40} = 0.431 \quad \begin{array}{l} \nu_A = k_A - 1 \\ \nu_A = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_B = \frac{(B_1 - B_2)^2}{N} = \frac{(32.50 - 29.50)^2}{40} = 0.281 \quad \begin{array}{l} \nu_B = k_B - 1 \\ \nu_B = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_C = \frac{(C_1 - C_2)^2}{N} = \frac{(31.65 - 30.00)^2}{40} = 0.068 \quad \begin{array}{l} \nu_C = k_C - 1 \\ \nu_C = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_D = \frac{(D_1 - D_2)^2}{N} = \frac{(29.70 - 31.95)^2}{40} = 0.127 \quad \begin{array}{l} \nu_D = k_D - 1 \\ \nu_D = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_E = \frac{(E_1 - E_2)^2}{N} = \frac{(32.05 - 29.60)^2}{40} = 0.150 \quad \begin{array}{l} \nu_E = k_E - 1 \\ \nu_E = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_F = \frac{(F_1 - F_2)^2}{N} = \frac{(30.65 - 31.00)^2}{40} = 0.011 \quad \begin{array}{l} \nu_F = k_F - 1 \\ \nu_F = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_G = \frac{(G_1 - G_2)^2}{N} = \frac{(29.50 - 32.15)^2}{40} = 0.176 \quad \begin{array}{l} \nu_G = k_G - 1 \\ \nu_G = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{40} y_i^2 - (T^2/N) = 98.478 - (61.65^2/40) = 3.459$$

$$\nu_T = N - 1 = 40 - 1 = 39$$

$$SS_o = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F + SS_G)$$

$$SS_o = 3.459 - (.431 + .281 + .068 + .127 + .150 + .011 + .176)$$

$$SS_o = 3.459 - 1.244$$

$$SS_o = 2.215$$

$$v_e = v_T - (v_A + v_B + v_C + v_D + v_E + v_F + v_G) = 32$$

Yukarıdaki işlemler şimdi daha derli toplu ve diğer hesaplama sonuçları ile ilgili bilgileri de içerir bir tablo ile aşağıda sunulmuştur. Bu tabloda genel sonuçlar vardır. Sonuçlar üzerindeki yorumları ise F testini yaptıktan sonra göreceğiz. F testi sonucunda etkin olan faktörler belirlenebilecektir. Bu etkin faktörleri daha sonra yapacağımız diğer işlemlerle de araştıracağız.

Sonuçları şimdi aşağıdaki tabloda sunalım.

İsim	SS	v	V	F
A	0.431	1	0.431	6.246
B	0.281	1	0.281	4.073
C	0.068	1	0.068	
D	0.127	1	0.127	
E	0.150	1	0.150	2.174
F	0.011	1	0.011	
G	0.176	1	0.176	2.551
e	2.215	32	0.069	
T	3.459	39		

Tablo 3-8; Varyans Analizi Sonuçları

Yukarıdaki tabloda C, D ve F faktörleri ihmal edilecek derecede etkilere sahip oldukları görülmektedir. Bu yüzden bu faktörlerin varyanslarını hata varyansına ekleyerek havuzlama yaparsak faktör etkilerinin sağlıklı hesaplanmasında birşey kaybetmiş olmayız. Şimdi havuzlanmış tabloyu sunalım.

Havuzlanmış Tablo 3-9'de SS' ve P kolonları görülmektedir. SS kolonu faktörlerin teorik kareleri toplamını verir. SS şu formülden hesaplanır.

$$SS_A = SS_A - (V_e)(v_A)$$

SS' kolonundaki değerler her faktörün yüzde katkılarını ifade eden P sütununun hesaplanmasında kullanılır.P ise aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$P = (SS'_A / SS_T) 100$$

İsim	SS	v	V	F	SS'	P
A	0.431	1	0.431	6.246	0.362	10.46
B	0.281	1	0.281	4.073	0.212	6.13
E	0.150	1	0.150	2.174	0.081	2.34
G	0.176	1	0.176	2.551	0.107	3.09
(e _p)	0.206	3	0.069)			
e _p	2.421	35	0.069			77.98
T	3.459	39				100.00

Tablo 3-9; Varyans Analizi Özet Tablosu

Yukarıdaki hesaplamalarla ilgili yoruma geçmeden önce verilerin varyans analizini bir de örnek ortalamaları üzerinden yapalım. Şimdi ilgili verileri aşağıdaki tabloda görelim.

Faktör		A	B	C	D	E	F	G	T
Kademe	1	6.58	6.50	6.33	5.94	6.41	6.13	5.90	12.33
	2	5.75	5.83	6.00	6.39	5.92	6.20	6.43	

Tablo 3-10; Faktörlerin Kademelere Göre Değerleri

$$SS_T = \sum_{i=1}^8 y_i^2 - (T / N) = 19.25 - (12.33^2 / 8) = 0.247$$

$$v_T = N - 1 = 8 - 1 = 7$$

$$SS_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} = \frac{(6.58 - 5.75)^2}{8} = 0.086 \quad \begin{array}{l} \nu_A = k_A - 1 \\ \nu_A = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_B = \frac{(B_1 - B_2)^2}{N} = \frac{(6.50 - 5.83)^2}{8} = 0.056 \quad \begin{array}{l} \nu_B = k_B - 1 \\ \nu_B = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_C = \frac{(C_1 - C_2)^2}{N} = \frac{(6.33 - 6.00)^2}{8} = 0.014 \quad \begin{array}{l} \nu_C = k_C - 1 \\ \nu_C = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_D = \frac{(D_1 - D_2)^2}{N} = \frac{(5.94 - 6.39)^2}{8} = 0.025 \quad \begin{array}{l} \nu_D = k_D - 1 \\ \nu_D = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_E = \frac{(E_1 - E_2)^2}{N} = \frac{(6.41 - 5.92)^2}{8} = 0.030 \quad \begin{array}{l} \nu_E = k_E - 1 \\ \nu_E = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_F = \frac{(F_1 - F_2)^2}{N} = \frac{(6.13 - 6.20)^2}{8} = 0.001 \quad \begin{array}{l} \nu_F = k_F - 1 \\ \nu_F = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_G = \frac{(G_1 - G_2)^2}{N} = \frac{(5.90 - 6.43)^2}{8} = 0.035 \quad \begin{array}{l} \nu_G = k_G - 1 \\ \nu_G = 2 - 1 = 1 \end{array}$$

$$SS_e = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_E + SS_F + SS_G)$$

$$SS_e = 0.247 - (.086 + .056 + .014 + .025 + .030 + .001 + .035)$$

$$SS_e = 0.247 - 0.247$$

$$SS_e = 0$$

$$\nu_e = \nu_T - (\nu_A + \nu_B + \nu_C + \nu_D + \nu_E + \nu_F + \nu_G)$$

$$\nu_e = 7 - (1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1)$$

$$\nu_e = 7 - 7 = 0$$

Bu işlemlerimizi şimdi bir tablo halinde gösterelim. Tablomuz tıpkı bir önceki işlemde yapmış olduğumuz analizin özet tablosu gibi olacaktır.

İsim	SS	v	V	F	SS'	P
A	0.086	1	0.086	6.615	0.073	29.56
B	0.056	1	0.056	4.308	0.043	17.41
C	0.014	1	0.014			
D	0.025	1	0.025			
E	0.030	1	0.030	2.308	0.017	6.88
F	0.001	1	0.001			
G	0.035	1	0.035	2.692	0.022	8.91
T	0.247	7			0.247	100.00
e _p	0.040	3	0.013		0.092	37.24

Tablo 3-11; Örnek Ortalamaları ANOVA tablosu

Tablo 3-11 de faktörlerin varyans analizi özeti ile birlikte F, SS' ve P değerleri sunulmuştur. Bir önceki analizde olduğu gibi burada da hem F testi sonucunda hemde P oranı sonucunda etken faktörlerin A, B, E ve G olduğu gözlenmektedir. Geri kalan C, D ve F faktörleri ihmal edilebilecek bir etkiye yapmaktadır. Bunun için işlemler sonucunda aldığımız verilerle A, B, E ve G faktörlerini kontrol altına almamız ve C, D ve F faktörlerini de serbest bırakmamız yeterlidir. Kontrol altına almak istediğimiz faktörlerin etkilerini minimize veya elimine edebilmek amacıyla optimal kademelerin seçimini yapmamız da ayrıca gerekmektedir. Şimdi sıra ilgili işlemi yapmaya gelmiştir.

Hedefimiz mevcut olan sehimi yok etmek olduğu için etkin olan faktörlerin küçük değerlerini göz önünde bulundurmak ve tercihi küçük değerde kullanmak gerekir. Çünkü etkisi yüksek olan faktörün daha az etkiyen kademesini tercih etmek optimizasyonu sağlayacaktır.. Yani

$$A_{opt} = \min (A_1, A_2)$$

şeklinde formülize edebiliriz. O halde etkin olan faktörlerin değerlerini Tablo 3-12'den okuyup tercihimizi yapalım.

Etkin Faktörler	Tablo 3-6	Tablo 3-10	Tercih
A ₁	32.90	6.58	
A ₂	28.75	5.75	*
B ₁	31.65	6.50	
B ₂	29.15	5.83	*
E ₁	32.05	6.41	
E ₂	29.60	5.92	*
G ₁	29.50	5.90	*
G ₂	32.15	6.43	

Tablo 3-12; Etkin Faktörlerin ANOVA Sonucundaki Değerleri

Tablo 3-12'deki bilgiler ışığında tercihlerimizi sıralarsak A₂, B₂, E₂, G₁. Şimdi bu şartlarda üretim yapacağımız ürünün parti hacmi ortalamasının beklenen değerini tahmin edelim. Beklenen değeri hesaplama metodu daha önce Bölüm 2-2-7 'de açıklanmıştı. Formülümüz.

$$\mu_{A_2B_2E_2G_1} = \frac{A_2 + B_2 + E_2 + G_1}{4} - 3T \text{ dir.}$$

Bu formülle hesaplama yapabilmek için önce her bir faktörün ortalama değerlerini bilmemiz gereklidir. Söz konusu değerler, her bir faktörün aritmetik ortalamasından ibaret olup aşağıda sunulmuştur. Tablo 3-13'den okuduğumuz değerleri hem Tablo 3-6 hemde Tablo 3-10'dan hesaplaya bilmekteyiz. Sayet Tablo 3-6'nın değerlerini alırsak her birini 20'ye bölmemiz gerekir. Tablo 3-10'un değerlerini kullanacak olursak 4'e bölmek kafi gelecektir. Her iki işlemin sonucunda da aynı değer bulunabilecektir. Şimdi bu ortalamaları yukarıdaki formülümüzde yerlerine koyalım

Faktör	Ortalama
A ₂	1.438
B ₂	1.458
E ₂	1.480
G ₁	1.475
T	1.541

Tablo 3-13 ; Etkin Faktörlerin Ortalama Değerleri

$$\mu_{A_2B_2E_2G_1} = 1.438 + 1.458 + 1.480 + 1.475 - 3 (1.541)$$

$$\mu_{A_2B_2E_2G_1} = 1.228$$

Bulduğumuz bu değer bir nokta tahmininden ibarettir. Oysa üretimden elde edeceğimiz ürünlerin karakteristiklerine ait değerler belli bir aralığa yığılır. O halde bir aralığın da bulunması gerekecektir. Bu aralığa güven aralığı denmektedir. Güven aralığını daha önce de açıklandığı gibi üç türlü hesaplayabilmek mümkündür. Bunlar

- Tek bir faktör için
- Yığın için
- Sağlama deneyi için

Önce en etkin faktör olan A faktörü için bu hesaplamayı yapalım.

$$CI_A = \sqrt{(F_{1;1;9} V_e)/n} = \sqrt{(5.54 \times 0.069)/4} = 0.309$$

$F_{1;1;9} = 5.54$ A₂'nin %90 güvenle ve 1 serbestlik derecesi ile 3 serbestlik dereceli ve 0.069 varyanslı hataya rağmen sahip düştüğü olduğu aralık faktörün her iki kademesi için de geçerlidir.

$$A_1 \text{ in g ven aralığı}$$

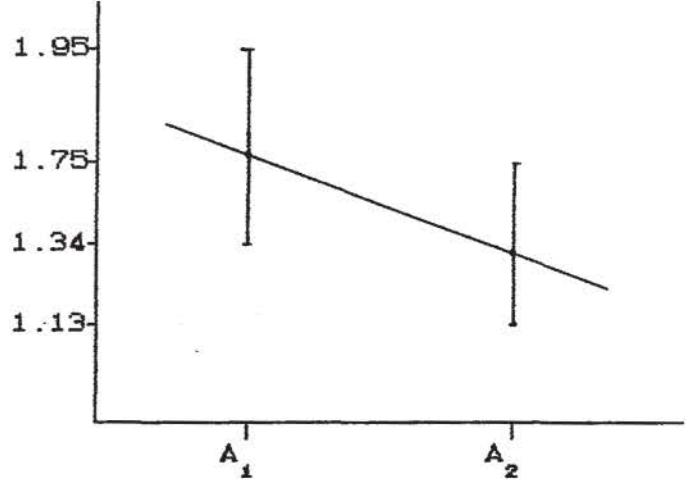
$$A_1 \pm CI_A = 1.645 \pm 0.309$$

$$1.336 < \mu_{A1} < 1.954$$

$$A_2 \text{ in g ven aralığı}$$

$$A_2 \pm CI_A = 1.438 \pm 0.309$$

$$1.129 < \mu_{A2} < 1.747$$



Sekil 3-3; A'nın Güven Aralığı

Sekil 3-3 'deki grafik A faktörünün güven aralığını ifade etmektedir.

İkinci olarak üretim yapacağımız ürünlere ait parti hacmi için güven aralığıdır. Bu aralık ise yukarıdakinden az farklı olarak hesap edilir. İlk hesaplamada n değeri sadece A faktörüne ait olduğundan 4 kabul edilmiştir. Fakat bu sefer n değeri tüm faktörler gözönüne alınarak hesaplanır. Görelim;

$$CI_{pop} = \sqrt{(F_{1;1;9} \cdot V_e) / n_{eff}} \quad F_{1;1;9} = 5.54 \quad n_{eff} = \frac{8}{1+1+1+1} = \frac{8}{5}$$

$$CI_{pop} = \sqrt{(5.54 \times 0.069) / (8/5)} = 0.098$$

Yukarıda bulmuş olduğumuz $\mu_{A_2 B_2 E_2 G_1}$ değeri için bulunan güven aralığı çok büyük bir esneklik göstermektedir.

$$\mu_{A_2 B_2 E_2 G_1} \pm CI_{pop} = 1.228 \pm 0.098$$

$$1.13 < \mu_{A_2 B_2 E_2 G_1} < 1.326$$

Yığının güven aralığından başka birde sağlama deneyi için bulunan güven aralığı vardır. İlerde yapacağımız sağlama deneyi bize haklı olup olmadığını söyleyecektir. Bunun için bu

deneydeki sonuçların oluşturduğu örneğin elemanlarının içinde olmasını beklediğimiz bir güven aralığı hesaplanır. Bu hesaplamayı ileride yapacağımız deneyin sonuçlarını yorumlarken yapacağız.

(3-5-2) Signal to Noise Oranı :

Taguchi metodunun önemli bir katkısı da üretimde meydana gelen sapmaları minimize etmektir. Sapmaların minimizasyonunda özellikle S/N oranı kullanılmaktadır. Daha öncede belirttiğimiz gibi karakteristiğin tipine göre (N,S,L) S/N oranı hesaplanır. Bizim uygulamamızda sehim problemi için 0 sehim hedeflendiğinden ve karakteristiğin negatifi de olamayacağı için S tipli bir karakteristik mevcuttur. Yani hedefimiz 0 sapmayı yakalamaktır. Bu bakımdan hesaplayacağımız S/N oranı da her bir deneme için ayrı ayrı hesaplanacağından aşağıdaki formülü kullanacağız.

$$S/N = -10 \log (1/r \sum_{i=1}^r y_i^2)$$

Denemelerimizde 5'er tekrar mevcut olduğundan r değerimiz 5 olacaktır. Şimdi değerlerimizi bir tabloda gösterelim. Ayrıca Şekil 4-1 de veriler grafiğe dökülmüştür.

Deneme No	Datalar					S/N
	1	2	3	4	5	
1	0.9	2.5	1.8	1.5	1.8	- 4.99
2	1.5	2.2	2.0	2.0	1.5	- 5.40
3	1.5	1.2	1.7	1.8	1.8	- 4.17
4	1.2	1.2	1.6	1.7	1.5	- 3.26
5	1.6	1.5	1.2	1.5	1.3	- 3.09
6	1.5	1.6	2.0	0.9	1.7	- 3.98
7	0.85	1.8	1.8	0.7	0.95	- 2.35
8	1.8	1.5	1.5	2.2	0.85	- 4.25

Tablo 3-14; Veriler ve S/N oranları

Bulduğumuz S/N oranlarını deneysel dizayna uygun varyans analizine tabi tutup sapmada etkin olan faktörleri belirleriz. Bunun için her bir faktör ve kademelere göre S/N oranı değerleri aşağıdaki Tablo 3-15 de görülebilmektedir. Burada değerlerle işlem yapabilmek için başlarındaki (-) değerini (+) yapmaktayız

Faktör		A	B	C	D	E	F	G	T
Kademe	1	17.82	17.46	14.50	14.60	17.39	15.59	14.58	31.49
	2	13.67	14.03	16.99	16.89	14.10	15.90	16.91	

Tablo 3-15; Faktör Kademelerine Ait S/N Oranlar

Bu değerlerin analizinde yine daha önceki formülleri kullanacağız.

$$SS_A = \frac{(17.82 - 13.67)^2}{4} = 4.31 \quad \nu_A = 1 \quad V_A = 4.31$$

$$SS_B = \frac{(17.46 - 14.03)^2}{4} = 2.94 \quad \nu_B = 1 \quad V_B = 2.94$$

$$SS_C = \frac{(14.50 - 16.99)^2}{4} = 1.55 \quad \nu_C = 1 \quad V_C = 1.55$$

$$SS_D = \frac{(14.60 - 16.89)^2}{4} = 1.31 \quad \nu_D = 1 \quad V_D = 1.31$$

$$SS_E = \frac{(17.39 - 14.10)^2}{4} = 2.71 \quad \nu_E = 1 \quad V_E = 2.71$$

$$SS_F = \frac{(15.59 - 15.90)^2}{4} = 0.02 \quad \nu_F = 1 \quad V_F = 0.02$$

$$SS_d = \frac{(14.58 - 16.91)^2}{4} = 1.36 \quad \nu_d = 1 \quad V_d = 1.36$$

Şimdi sonuçları bir tablo halinde özetleyelim.

İsim	SS	ν	V	F
A	4.31	1	4.31	4.66
B	2.94	1	2.94	2.774
C	1.55	1	1.55	
D	1.31	1	1.31	
E	2.71	1	2.71	2.55
F	0.02	1	0.02	
G	1.36	1	1.36	
T	14.20	7		

Tablo 3-16 S/N ANOVA Sonuçları Tablosu

Tablo 3-16'de görüldüğü gibi A, B ve E faktörleri etkin, diğerleri çok az etkindirler. Bu bakımdan tablomuzu hata varyansını kabartarak havuzlama yapalım. Bu durumda Tablo 3-17 elde edilir.

İsim	SS	ν	V	F	SS'	P
A	4.31	1	4.31	4.066	3.25	22.89
B	2.94	1	2.94	2.774	1.88	13.24
E	2.71	1	2.71	2.557	1.65	11.62
e_p	4.24	4			7.42	52.25
T	14.20	7			14.20	100.00

Tablo 3-17; S/N ANOVA Özet Tablosu

Bu etkin faktörlere göre S/N oranının yığın açısından beklenen değerini tahmin edelim. Bu tahminde A, B ve E faktörleri etkin faktörlerdir. Ancak henüz hangi kademelerinin tercih edileceği belirlenmemiştir. Belirleme işlemi ise S/N oranının minimizasyonu yönünde gerçekleştirilir. Yani hedefimiz sapmaları yok etmek olduğundan elimizden geldiğince oranı küçültmeye uğraşmamız gerekmektedir. Bunun için Tablo 3-15'ü

göz önüne alarak faktör kademelerinden daha küçük değerli olanları tercih ederiz. Değerleri bir kez daha aşağıya yazarsak;

Faktörler		A	B	E
Kademelerin Değerleri	1	17.82	17.46	17.39
	2	13.67*	14.03*	14.10*

Tablo 3-18; Etkin Faktör Değerleri

Tercih ettiğimiz değerlere * işareti koyduk. Bu değerler A için $A_2 = 13.67$
B için $B_2 = 14.03$
E için $E_2 = 14.10$ değerleridir.

Kademeler de belirlendikten sonra yığının ortalamasını tahmin etmeye engel kalmamıştır. Ancak faktörlerin katkılarını şu andaki değerlerin kümülatif olması dolayısıyla değerleri 4'e bölerek elde ederiz. O halde katkı miktarlarını.

$$\bar{A}_2 = A_2 / 4 = 13.67 / 4 = 3.42$$

$$\bar{B}_2 = B_2 / 4 = 14.03 / 4 = 3.51$$

$$\bar{E}_2 = E_2 / 4 = 14.10 / 4 = 3.53$$

$$\bar{T} = T / 8 = 31.49 / 8 = 3.94$$

$$\mu_{A_2 B_2 E_2} = \bar{A}_2 + \bar{B}_2 + \bar{E}_2 - 2 \bar{T}$$

$$\mu_{A_2 B_2 E_2} = 3.42 + 3.51 + 3.53 - 2 \times 3.94 = 2.58 \text{ db}$$

Şimdi de bulunduğumuz tahmini ortalamanın %90 güven aralığını bulalım. Gerekli değerler ;

$$F_{1;1;4} = 4.54$$

$$V_o = 1.06$$

$$n_{of} = 8/4 = 2$$

$$CI_{pop} = \sqrt{(F_{1;1;2} V_o) / n_{of}} = \sqrt{(4.54 \times 1.06) / 2} = 1.55$$

Demekki

$$\mu_{pop} = 2.58 \pm 1.55$$

$$1.03 < \mu_{pop} < 4.13$$

Probleminin iki yönü mevcuttu. Bunlardan biri yığının ortalamasını mümkün olduğunca hedef değere doğru çekmek diğeri de yığındaki sapmaları minimize etmektir. Yığının ortalamasını hedef değere çekmek için aldığımız veri değerlerinin varyans analizi sonucunda faktörlerin optimal şartlarını seçerek yapmaya çalıştık. Sapmaların minimizasyonu ise her bir denemede tekrarlardan alınan verilerin değişkenlik ölçüsü olan S/N oranları bulunarak varyans analizi yapıldı ve bunların da ayrıca optimal şartları belirlenip tercih edildi. Şimdi de bu her iki yönü gerçekleştirmek için bir tercih yapmamız gerekecektir. Bunun için aşağıdaki Tablo 3-19'e bakalım.

Faktör	Ortalamaya Etki Edenler	Değişkenliğe Etki Edenler
A	(2)	(2)
B	(2)	(2)
C	(2)	(2)
D	(1)	

Tablo 3-19; Etkin Faktör Kademeleri

A, B ve F faktörleri her ikisine de etki etmekte .Ve her ikisi için de 2. kademe kontrol açısından tercih edilmiştir. Tercih edilmişliği ifade etmek için kademe numaralarını parantez içine aldık. G faktörü ise sadece ortalamaya etki edebilmektedir. Değişkenliğe önemli etkisi olmadığı için etkisini ihmal ettik. Yani kontrol altına almaya gerek duymadık.

Belirlemiş olduğumuz optimal değerlerin şartlarında hakiki bir deney yapmak gerekmektedir. Bu deney bizim tahminlerimizin geçerliliğini test edecektir. Ancak şimdi ikinci methodumuza geçelim.

(3-5-3) Sütun Farkları Metodu

Sütun farkları metodunu daha önce Bölüm 2'de anlatmıştık. Şimdi verilerimizi bu metoda uygulayalım.

Den No	Faktörler							Datalar					s	S/N (-)	μ
	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	4	5			
1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	2.5	1.8	1.5	1.8	.58	4.99	1.70
2	1	1	1	2	2	2	2	1.5	2.2	2.0	2.0	1.5	.32	5.40	1.84
3	1	2	2	1	1	2	2	1.5	1.2	1.7	1.8	1.8	.25	4.17	1.60
4	1	2	2	2	2	1	1	1.2	1.2	1.6	1.7	1.5	.23	3.26	1.44
5	2	1	2	1	2	1	2	1.6	1.5	1.2	1.5	1.3	.16	3.09	1.42
6	2	1	2	2	1	2	1	1.5	1.6	2.0	0.9	1.7	.40	3.98	1.54
7	2	2	1	1	2	2	1	0.85	1.8	1.8	0.7	0.95	.54	2.35	1.22
8	2	2	1	2	1	1	2	1.8	1.5	1.5	2.2	0.85	.49	4.25	1.57

Tablo 3-20; Dizi, Veriler ve Bazı Sonuçlar

Yukarıdaki değerlerden μ ve S/N değerlerini ayrı ayrı sütun farkları tablosunda işleme sokacağız. Bunların sonucunda ortaya çıkan farklar ortalamaya etkinlik ve değişkenliğe etkinlik konusunda bize fikir verecektir. μ lerin işlem tablosu Tablo 3-21 de ve S/N işlem tablosun da Tablo 3-22 de görülmektedir. Bu tablolardan sonra faktörlerin etkileri birer grafik ile gösterilebilmektedir. İlgili grafikler de Şekil 3-4 Şekil 3-5 da sırasıyla gösterilmiştir.

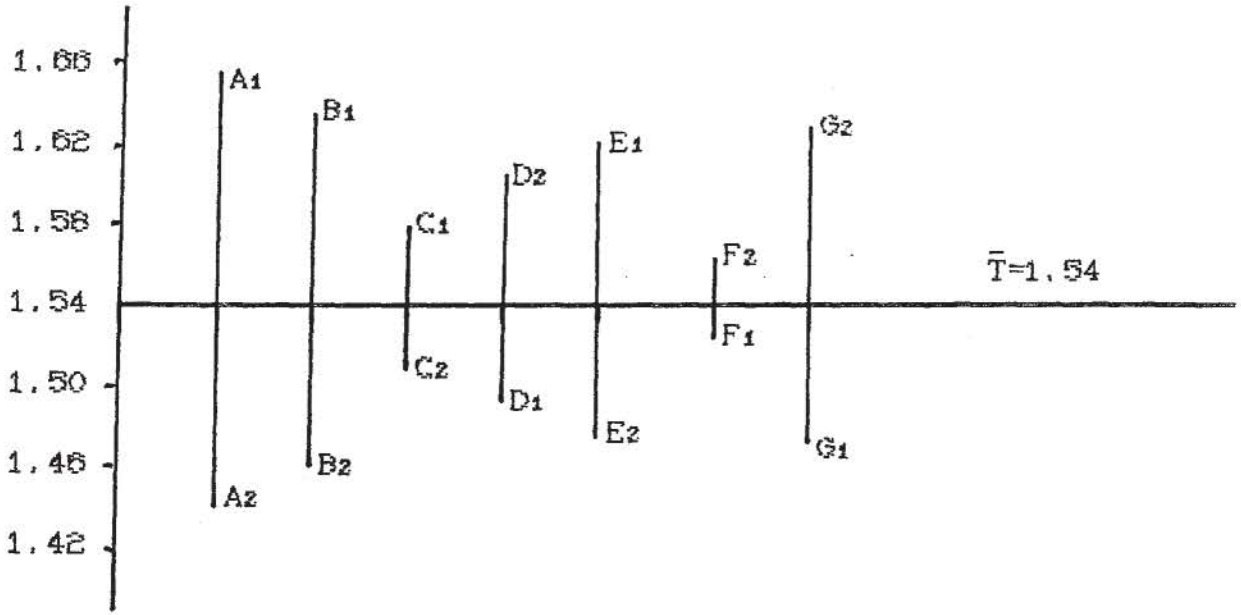
Tablo 3-21'de A faktörünün fark satırında 0.21, B'ninkinde 0.27 değerleri okunmaktadır. Bu iki faktör demekki en etkin faktörlerdir. Geri kalanlar da $F=-0.02$, $C=0.08$ değerleriyle etkinlik bakımından en zayıflarıdır. D, E ve G faktörleri mutlak değer itibarıyla ve sırasıyla 0.11, 0.12 ve 0.13 değerlerine haizdirler. Son ifade ettiğimiz bu faktörlerin etkileri orta halli bir niteliğe sahiptirler. Şekil 3-4 her bir faktörün etkilerine birer ölçek gibi bize ışık tutmaktadır. Burada da A ve B faktörleri en önemli faktörlerdir. C ve F de en az uzunluğa sahip birer grafik oluşturmuşlardır. Geri kalan 3 faktör yine birbirlerine yakın etkinliktedirler. Şimdi Şekil 3-4'den faydalanarak karakteristiğinin beklenen en yüksek ve en düşük değerlerini tahmin edelim. Önce tüm faktörleri hesaba

R a n d o m	S i r a	N o r m a l	S i r a	A		B		C		D		E		F		G	
				y													
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1.7	1.7		1.7		1.7		1.7		1.7		1.7		1.7		1.7
7	2	1.84	1.84		1.84		1.84		1.84		1.84		1.84		1.84		1.84
4	3	1.6	1.6		1.6		1.6	1.6	1.6		1.6		1.6		1.6		1.6
6	4	1.44	1.44		1.44		1.44		1.44		1.44	1.44		1.44		1.44	
8	5	1.42		1.42	1.42		1.42	1.42	1.42		1.42	1.42		1.42		1.42	
2	6	1.54		1.54	1.54		1.54		1.54	1.54		1.54		1.54	1.54		1.54
5	7	1.22		1.22		1.22	1.22		1.22		1.22		1.22		1.22	1.22	
3	8	1.57		1.57		1.57	1.57		1.57	1.57		1.57		1.57		1.57	
Toplam		12.33	6.58	5.75	6.5	5.83	6.33	6	5.94	6.39	6.41	5.92	6.13	6.20	5.9	6.43	
Değer Sa.		8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Ortalama		1.54	1.65	1.44	1.63	1.46	1.58	1.5	1.49	1.60	1.6	1.48	1.53	1.55	1.48	1.61	
Fark			0.21		0.17		0.08		-0.11		0.12		-0.02		-0.13		

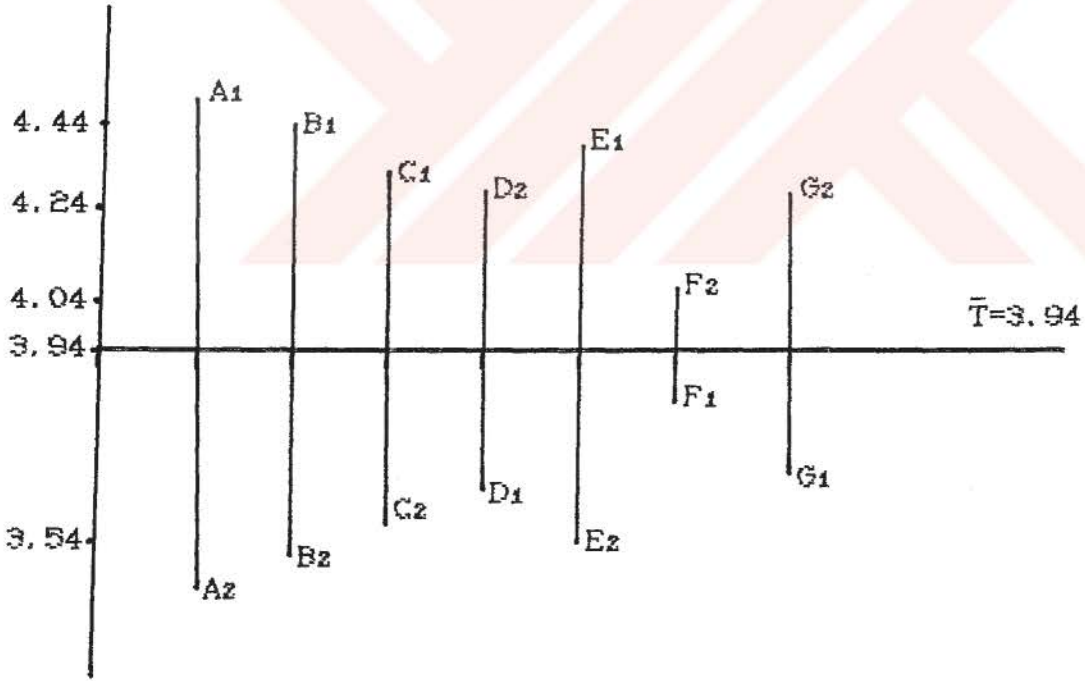
Şekil 3-21; Verilerin Sütun Farkları Metoduna Göre Analiz Tablosu

R a n d o m	N o r m a l S i r a	S i r a	A		B		C		D		E		F		G	
			y													
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	4.99	4.99		4.99		4.99		4.99		4.99		4.99		4.99	
7	2	5.4	5.4		5.4		5.4		5.4		5.4		5.4		5.4	
4	3	4.17	4.17		4.17		4.17		4.17		4.17		4.17		4.17	
6	4	3.26	3.26		3.26		3.26		3.26		3.26		3.26		3.26	
8	5	3.09		3.09	3.09			3.09	3.09			3.09	3.09			3.09
2	6	3.98		3.98	3.98			3.98	3.98			3.98	3.98			3.98
5	7	2.35		2.35		2.35	2.35			2.35			2.35		2.35	
3	8	4.25		4.25		4.25	4.25			4.25	4.25			4.25		4.25
Toplam		31.49	17.82	13.67	17.46	14.03	16.99	14.5	14.6	16.89	17.39	14.1	15.59	15.9	14.58	16.91
Değer Sa.		8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ortalama		3.94	4.46	3.42	4.37	3.51	4.25	3.63	3.65	4.22	4.35	3.53	3.9	3.98	3.65	4.23
Fark			1.04		0.86		0.62		-0.57		0.82		-0.08		-0.58	

Şekil 3-22; S/N Oranlarının Sütun Farkları Metoduna Göre Analiz Tablosu



Sekil 3-4; Faktörlerin Yığın Ortalamasına Etkileri



Sekil 3-5; Faktör Değişkenliğe Etkinlikleri

katalım. Sonra C ve F'yi hesaba katmadan yapalım. En son olarak da sadece A ve B faktörlerini göz önüne alarak tahmini yapalım. Bunun için grafiğin üstünde kalan değerler maksimum altında kalanlarsa minimumdurlar.

$$\begin{aligned}
 y_{\max} &= \bar{y} + (A_1 - \bar{y}) + (B_1 - \bar{y}) + (C_1 - \bar{y}) + (D_2 - \bar{y}) + (E_1 - \bar{y}) + (F_2 - \bar{y}) + (G_2 - \bar{y}) \\
 &= 1.54 + 0.11 + 0.09 + 0.04 + 0.06 + 0.06 + 0.01 + 0.07 \\
 &= 1.98
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_{\min} &= \bar{y} + (A_2 - \bar{y}) + (B_2 - \bar{y}) + (C_2 - \bar{y}) + (D_1 - \bar{y}) + (E_2 - \bar{y}) + (F_1 - \bar{y}) + (G_1 - \bar{y}) \\
 &= 1.54 + (-0.1) + (-0.08) + (-0.04) + (-0.05) + (-0.06) + (-0.01) + (-0.06) \\
 &= 1.14
 \end{aligned}$$

Şimdi C ve F faktörleri olmadan hesaplama yaparsak.

$$\begin{aligned}
 y_{\max} &= \bar{y} + (A_1 - \bar{y}) + (B_1 - \bar{y}) + (D_2 - \bar{y}) + (E_1 - \bar{y}) + (G_2 - \bar{y}) \\
 &= 1.93
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_{\min} &= \bar{y} + (A_1 - \bar{y}) + (B_1 - \bar{y}) + (D_2 - \bar{y}) + (E_1 - \bar{y}) + (G_2 - \bar{y}) \\
 &= 1.19
 \end{aligned}$$

Şimdi de sadece D faktörünü alalım. Çünkü kalanlar arasında en az etkiyen D faktörüdür.

$$y_{\max} = 1.87 \quad y_{\min} = 1.24$$

Eğer sadece ilk iki faktörü hesaba katarsak; (A ve B)

$$y_{\max} = 1.74 \quad y_{\min} = 1.36$$

Probleminiz bir minimizasyon problemi olduğundan y_{\min} değerleri bizim için önem arz etmektedir. Elde ettiğimiz beklenen değerlere bakılacak olursa C ve F faktörlerini kontrol etmenin dışı dokunan bir faydası olmadığından kontrol etmemiz gereken faktörler A, B, D, E ve G faktörleridir. Aslında D faktörünün de çok ciddi bir etkisi yoktur. 0.05 mm lik bir etkisi gözükmemektedir. Bu da kontrol altında tutulmada

zorunluluk arz etmez. Ancak yine de kontrolümüzde bulunmasında fayda vardır.

Tablo 3-22'de S/N oranlarının analizi sunulmaktadır. Bu tabloda $A=1.04$ $B=0.086$ ve $G=0.82$ değerleri ile en etkin faktörlerdir. Geri kalan faktörlerden C en yakın etkinliğe haizdir. Şekil 3-6'da da ilgili faktörlerin grafikleri sunulmuştur. Bunlara göre S/N'ler için beklenen değer tahmininde bulunulursa;

Tüm faktör Şartlarında	A,B ve E Şartlarında	A,B,C ve E Şartlarında
$y_{max} = 6.22$ $y_{min} = 1.65$	$y_{max} = 5.3$ $y_{min} = 2.58$	$y_{max} = 5.61$ $y_{min} = 2.27$

Şekil 3-23; Faktörlere Göre Beklenen Değerler

Yukarıdaki şartlara göre yine optimal olabilecek şartlar minimizasyon açısından A, B ve E şartlarıdır. Bu faktör şartlarında çalışmakla bir yeterlilik kazanmış oluruz.

(3-6) Sağlama Deneyi

Yukarıda belirlemiş olduğumuz şartlar yaptığımız işlemlerin sonucunda belirleyebildiğimiz optimal şartlardır. Bu şartlar A_2 , B_2 , E_2 ve G_1 şeklinde temsil edilebilir. Söz konusu faktörleri ifadelendirirsek;

- Kalıpta soğutma süresinin 70 sn yerine 85 sn olarak alınması
- Tüpün kalıptan çekilmesi işleminin bir kerede yapılması
- Dökümhane dış kapısının kapalı olması
- Dökülmek üzere gelen eriyiğin 1430°C yerine 1450°C de dökülmesi

Bu şartları sağladıktan sonra yaptığımız deneyden aldığımız veriler şunlardır.

İşlem No	Veri	İşlem No	Veri	İşlem No	Veri
1	1.5	6	0.85	11	1.5
2	1.5	7	0.8	12	1.5
3	1.2	8	0.8	13	1.3
4	1.5	9	1.5	14	0.65
5	0.7	10	1.2	15	0.8

Tablo 3-24 ;Sağlama Deneyi Verileri

$S/N = -1.67$ Değerler güven aralığının içindedirler. Deneyin güven aralığına gelince ortalama ve değişkenlik açısından iki türlü hesaplamak gerekir.

Ortalama İçin

$$\begin{aligned}
 F_{1;1;9} &= 5.54 \\
 V_o &= 0.069 \\
 n_o &= 8/5 \\
 r &= 15
 \end{aligned}
 \quad
 CI = \sqrt{(5.54)(0.069)(8/5+1/15)} = 0.514$$

Değişkenlik İçin

$$\begin{aligned}
 F_{1;1;4} &= 4.54 \\
 V_o &= 1.06 \\
 n_o &= 2 \\
 r &= 15
 \end{aligned}
 \quad
 CI = \sqrt{(4.54)(1.06)(1/2+1/15)} = 1.65$$

Verileri aritmetik ortalaması ise $\bar{x}=1.15\text{mm}$ standart sapması da $s=0.112\text{mm}$ olarak bulunmuştur. Ancak verilere baktığımızda değerler özellikle iki noktada odaklanmışlardır. Bunlardan bir tanesi 0.8 diğeri de 1.5 değeridir. Veri noktalarının ilk 4 tanesi 1.5 ikinci dört tanesi 0.8 değerinde 8 noktadan sonraki 5 nokta 1.5 değerinde son iki noktada 0.8 de odaklanmıştır. Böyle gruplar halinde meydana gelen odaklaşmalar deneyin bilinmeyen bir faktörün etkisinde olduğunu gösterir. Bu durum Şekil 4-2'de açıkça görülmektedir.

Sanırım bu bilinmeyen faktör şartlarına dikkat edilmediğine bir işaret niteliğinde olabilir. Kanaatimin yoğunlaştığı nokta ise dökümhane dış kapısının etkisidir. Bu faktörü biz kontrol faktörü olarak ele aldık ancak kapının kontrol edilmesi gayet zor bir durumdur. Zira kapının kullanılması üretim esnasında bir zorunluluktur. Bu zorunluluk bu faktörün bir gürültü faktörü olarak alınması noktasında önem kazanır. Nitekim şartlarımızı optimize ettiğimiz halde kapının kontrol edilmemiş olması odak noktasını 0.8'den 1.5'a sıçratmıştır. Aradaki 0.7 mm'lik fark gerçekten önemli bir farktır.

(3-7) Sonuçlandırma

Yaptığımız deney 7 faktörlü bir deneydi. Bu deneyde L8 dizisini kullandığımızdan dolayı 8 deneme yapmış olduk. Ancak her denemede 5'er tekrar yapıldığından toplam işlem sayısı $8 \times 5 = 40$ adettir. Her bir işlemde L8 dizisinin öngördüğü şartlara uygunluk göstererek yapıldı. Faktörleri bu deneyin sonuçlarını yorumlayarak optimize ettik. Bu durumda optimal şartlar şöyle gerçekleşti;

- Kalıpta soğuma süresi 85 sn olmalı
- Boru, kalıptan çekilince tamamen bir kerede çekilmeli
- Dökümhane dış kapısı kapalı tutulmaya özen gösterilmeli
- Eriyik sıcaklığı 1450°C da tutmalıdır

Şartlardan ilk üçü hem değişkenliği hemde ortalamanın hedefe yaklaştırılmasını optimize ederken sonuncusu sadece ortalama üzerinde etkin olabilecektir.

Yaptığımız sağlama deneyinden elde ettiğimiz değerler iki noktada odaklaşmaktadır. Bunlardan biri 0.77 ortalamsı diğeri de 14.11 ortalamsı etrafında odaklanmaktadır. Hatta birincisine 0.8 ikincisine 1.5 diyebiliriz. Çünkü bu iki grubun mod değerleri bu iki değerdir. Halbuki hedefimiz karakteristik gereği değerlerin ortalamsının 0 olması idi. Ancak yaptığımız deney sonucunda aldığımız sonuç iki türlü sağlama sonucuyla

karşı karşıya kaldı. Bu sonuçları etkileyen bir gürültü faktörünün olduğu düşünüldü ve büyük ihtimalle dökümhane dış kapısının etkisinin olabileceğine karar verildi. Zira bu faktörün kontrol altında tutulması çok zor bir durum olur. O halde dökümhane dış kapısını kapalı tutulması mümkün olduğunca gerçekleştirilmelidir.

Yaptığımız bu çalışmanın verimliliği konusunda da bir değerlendirme yapmak gerekir. Verimliliğin şartların değişimi sonucunda elde edilen değerlerle eski değerler arasındaki oran olarak düşünebiliriz. Bu deneyi yapmadan önceki şartları L8 dizisinin ilk denemesinden ibaretti. Ve böylece elde edilen değerleri deney öncesi veriler olarak kullanabiliriz. Bu verilerin ortalaması $\bar{x}=1.7$ $s=0.58$ $S/N=-4.99$ idi. Sonuç olarak bulduğumuz değerler ise $\bar{x}=1.23$ $S/N=2.58$ tahmini değerleri idi. Sağlama deneyinin ise $\bar{x}=1.15$ $S/N=-1.67$ olarak bulundu. Bu gerçek değerlerden oranlama sonucunda;

$$\text{Verim}_1 = \frac{1.70 - 1.15}{1.15} = 0.48 \quad \text{Verim}_2 = \frac{4.99 - 1.67}{1.67} = 1.9$$

sağlanan verimlilik ortaya çıkacaktır. Verim₁ yığın ortalaması için Verim₂ de değişkenlik için hesaplanmıştır.

(3-8) Tolerans Tasarımına Geçiş

Paremetre dizaynı sonucunda %100 gibi bir verim sağlanamadı. Zaten bu verimin sağlanabilmesi de oldukça zordur. Sağlanmış olan verim sağlama deneyi baz alınarak %48 civarında gerçekleşti. Sayet verilerimizin bir gürültü faktöründen etkilendiğini hesaba katarsak o zaman gayet yüksek bir değer elde ederiz. Bu şartlarda bir tolerans tasarımına ihtiyaç vardır.

(3-8-1) Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı için bizim ihtiyaç duyduğumuz bir takım

parametreler mevcuttur. Bunlar fonksiyonel limit, fonksiyonel limitten doğan kayıp ve bunların sonucu olarak da kayıp katsayısıdır. Kayıp katsayısı, kaybın fonksiyonel limitin karesine bölünmesiyle elde edilir. Yani;

$$k = A / \Delta^2$$

Problemimizde A tamamen belirlenememiştir. Çünkü işletme sehinden dolayı bir kaybının olduğundan habersizdir. Böyle olunca maliyet kayıtlarında bu tür bir bilgiye rastlanamamıştır. Fakat bildiğimiz önemli bir ip ucu var ki; sehmi 1.5 mm'nin üzerinde olan tüplerin dış yüzeylerinin temizleme tezgahında temizlenemedikleridir. Temizlenmeye çalışıldığı zaman da dönel fırçayı çalıştıran motor termik atmaktadır. Bu durumda iki seçenek karşımıza çıkmaktadır. Ya motorun termiğini güçlendirerek fazla akım çekip fazla enerji harcanmasına razı olunacak yada tüpün temizlenemeyen kısmıyla beraber talaşlı imalat departmanına sevk edilmesine razı olunacaktır. Her iki durumda da ekstradan bir harcama yapmak zorunludur. Pratik olarak gerçekleşen uygulama ise temizlikle ilgili bir değişiklik yapmadan ve dolayısıyla temizlemeksizin talaşlı imalat departmanına sevk etme şeklindedir.

Sevkedilen tüpler CNC tezgahlarında işlenmektedir. Bu bölümde de iki alternatif karşımıza çıkmaktadır. Ya bir temizleme el makinası ile temizleme yapılarak tezgahlara gönderme gerçekleşecektir yada doğrudan işlenmek üzere tezgahlara gönderilecektir. Birinci durumda ekstra bir iş gücü ve belli bir enerji harcaması gerekiyorken ikinci durumda tozdan etkilenecek olan tezgahların daha sık periyotlarla bakıma alınması gereği söz konusu olması beklenir. Her iki durumda da ekstra bir harcama mutlaka gerekmektedir. Ancak elde yeterli done olmadığından ilgili maliyetler bulunamadı. Dolayısıyla A sabiti bizim için bir değişken durumunda kullanılma zorunluğu doğurmaktadır. Şimdi buradan k katsayısını hesaplarsak; fonksiyonel toleransımız 1.5 mm olarak belirli olup A belirsizdir. Dolayısıyla k katsayısı A parametresine bağlı olarak belirlenebilmektedir.

$$k=A / (1.5)^2 = A / 2.25 = 0.44 \text{ A dir}$$

Fonksiyonel limitimiz 1.5 mm olduğundan mümkün olduğunca daha alt değerlerde üretimin gerçekleşmesi gerekmektedir. Yaptığımız çalışma sonucunda tahmini ortalama değerimiz 1.23 mm iken sağlama deneyi sonuçları genel ortalaması 1.15 mm'dir. Bunun yanında sonuç değişkeni değerlerinin yığıldığı odakların ayrı ayrı ortalamaları ise 0.8 ve 1.5 olarak gerçekleşti. Her halukarda bu sınırı kurtarmaktayız. Ancak yine de ideal değerimizden uzakta bulunmaktayız. Bunun için sağlama değerlerimizin ortalama kaybını hesaplırsak;

$m = 0$ ve

$$(1) L(y) = k/n ((y_1)^2 + (y_2)^2 + \dots + (y_n)^2) \text{ veya}$$

$$(2) L(y) = k(s^2 + (\mu - m)^2) \text{ den yola çıkarsak}$$

$$L(y) = 0.44 \text{ A}/15 ((15)^2 + (15)^2 + \dots + (0.8)^2) = 0.44 \text{ A}/15 (21.625)$$

$$(1) L_{\text{ort}} = 0.634 \text{ A TL olur} \quad (2) L_{\text{ort}} = 0.587 \text{ A TL olur}$$

Edindiğimiz verilerin iki odakta yığıldığını görmüştük. Her ikisini ayrı ayrı değerlendirirsek;

$$L_1 = 0.44 \text{ A}/6 (0.65^2 + 0.7^2 + 0.8^2 + 0.8^2 + 0.85^2 + 0.8^2)$$

$$L_1 = 0.26 \text{ A TL dir.}$$

$$L_2 = 0.44 \text{ A}/9 (1.5^2 + 1.5^2 + 1.2^2 + 1.5^2 + 1.5^2 + 1.2^2 + 1.5^2 + 1.3^2 + 1.5^2)$$

$$L_2 = 0.883 \text{ A TL olur}$$

Yukarıda sebebini açıklayarak sunduğumuz gerekçeye göre L_1 'i çalışma sonucunda meydana gelen kayıp olarak kabul ediyoruz. Bir de bu çalışma yapılmadan önceki şartlarda meydana gelen üretimin kaybını hesaplayarak ikisini karşılaştıralım. Deneyde ki ilk deneme bizim deney öncesi şartlarımızı yansıtmaktadır. Ortalam 1.7 mm ve standart sapması 0.58 mm olan bu şartları (2) formülünden kaybını hesaplırsak.

$$L_{ilk} = 0.44 A (0.58^2 + (1.7-0)^2) = 1.42 A \text{ TL elde edilir.}$$

L_{ilk} ile L_1 'i oranlarsak $(1.42A) / (0.26A) = 5.46$ sonucuna ulaşırız. Bu da önemli bir gelişme demektir. Bu kötümser ihtimalle kaybımız çalışma sonucunda L_2 de olsa yine L_{ilk} L_2 'nin 1.6 katı durumundadır.

Sağlama deneyini bir bütün kabul ettiğimizde de önemli bir mesafe kat ettiğimiz görülmür. $L_{ort} = 0.63 A$, $L_{ilk} = 1.42 A$ oranlarsak.

$$L_{ilk} = 2.25 L_{ort} \text{ elde edilir.}$$

Demekki çalışmada verimlilik açısından da ciddi bir ilerleme kaydedilmiştir.

(3-8-2) Kayıp Fonksiyonu Grafiğinin Çizilmesi

Kayıp fonksiyonu için grafiğin çizilebilmesi için k sabitinin bilinmesi gerekir. Burada k sabiti A parametresine bağlı olarak tesbit edildi. Bu yüzden k A 'nın bir fonksiyonu durumundadır. Ancak grafiğin bize bir fikir vermesi bakımından bir A_0 noktasındaki k değerini hesaplayıp buna göre çizebiliriz. Örneğin $A=50$ TL noktasını gözönüne alırsak; ki sanırım bu değer isabetli olabilir.

$$A=50 \text{ iken } k = A/2.25 = 50/2.25 = 22.22 \text{ olur}$$

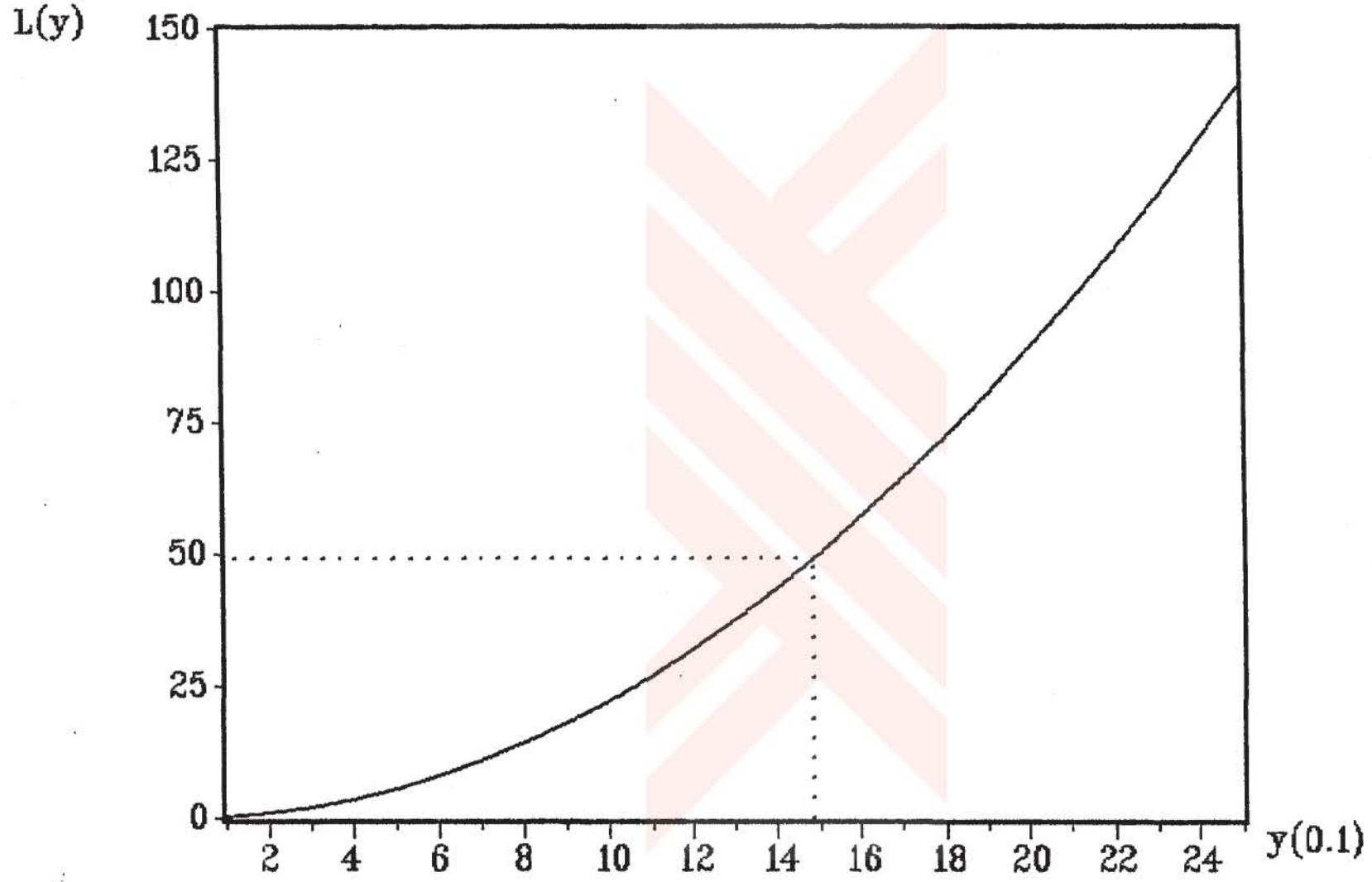
Buna göre bazı noktaları ve kayıplarını hesaplarsak;

y	L(y)	y	L(y)	y	L(y)
0.1	0.22	1.1	26.89	2.2	107.55
0.2	0.89	1.2	32.00	2.5	138.88
0.3	2.00	1.3	37.55		
0.4	3.56	1.4	43.55		
0.5	5.56	1.5	50.00		
0.6	8.00	1.6	56.88		
0.7	10.89	1.7	64.22		
0.8	14.22	1.8	71.99		
0.9	18.00	1.9	80.21		
1.0	22.22	2.0	88.88		

Tablo 3.25; A=50 için Kayıp Değerleri

Tablo 3-25'deki $L(y)$ değerlerine baktığımızda fonksiyon gereği parabolik olarak yükselmektedir. $L(y)$ değerleri arttıkça birbirlerinden uzaklaşmaktadırlar. Bunun grafiği Şekil 3-7'de bir S tipi karakteristik grafiği gibidir. Sapmalar tek yönlü olmaktadır. k katsayısının durumuna göre ordinata veya apsise yaklaşır. Ordinata yaklaştıkça hata maliyetleri yüksek bir trendle artar. Aksi halde düşük bir trendle yükselir.

Şekil 3.7; Eğilmeden Doğan Kaybın Grafiği



— Y

BÖLÜM 4

SONUC

Bu çalışma kalitenin tasarımıla elde edilmesi konusunda geliştirilmiş olan Taguchi Tekniği üzerine yapılmıştır. Teorik kısmın yanında pratik uygulama da yer almaktadır. Tekniğin uygulaması Geodze İstanbul Segman ve Gömlek Sanayii T.A.S.'nin Sapanca Kırkpınar köyündeki fabrikasında gerçekleştirildi.

Uygulamaya dökümhane departmanında bulunan Düker savurma döküm makinasında dökülen ve kalınlığı maksimum 10mm olan gömleklilik tüplerin döküm sonrası eğilmeleri konu oldu. Eğilme probleminin oluşmasına etki edebilecek faktörler tesbit edildikten sonra Taguchi deneysel tasarım tekniği uygulandı.

Yapılan deney 7 faktörlü bir deneydi. Bu deneyde L8 dizisi kullanıldığından dolayı 8 deneme yapılmış oldu. Ancak her denemede de 5'er tekrar yapıldığından toplam işlem sayısı $8 \times 5 = 40$ adettir. Her bir işlemde L8 dizisinin öngördüğü şartlara uygunluk göstererek yapıldı. Faktörler bu deneyin sonuçları yorumlanarak optimize edildi. Bu durumda optimal şartlar şöyle gerçekleşti;

- Kalıpta soğuma süresi 85 sn olmalı
- Boru kalıptan çekilince tamamı bir kerede çekilmeli
- Dökümhane dış kapısı kapalı tutulmaya özen gösterilmeli
- Eriyik sıcaklığı 1450°C da tutmalıdır

Varılan optimal noktanın sahip olduğu şartlarda bir de sağlama deneyi yapıldı. Yapılan sağlama deneyinden elde edilen değerler iki noktada odaklaşmaktadır. Bunlardan biri 0.77 ortalaması diğeri de 14.11 ortalaması etrafında odaklanmaktadır. Hatta birincisine 0.8 ikincisine 1.5 diyebiliriz. Çünkü her iki grubun mod değerleri olan bu iki değer verileri daha iyi temsil etmektedir. Halbuki hedef karakteristik gereği verilerin ortalamasının 0 olması gerekirdi. Ancak yapılan deney sonucunda alınan sonuç iki türlü sağlama sonucuyla karşı karşıya kaldı.

Bu sonuçları etkileyen bir gürültü faktörünün olduğu düşünülüyor ve büyük ihtimalle dökümhane dış kapısının etkisinin olabileceğine karar verildi. Zira bu faktörün kontrol altında tutulması çok zor bir durumdur. O halde dökümhane dış kapısının mümkün olduğunca kapalı tutulması gerekir. Şekil 4-1; çalışma öncesi şartlarda elde edilen gözlem değerlerinin oluşturduğu diyagram gösteriyorken Şekil 4-2 çakışma sonrası sağlama deneyi gözlem değerlerini sunmaktadır. Arada ne gibi bir farkın olduğu ve sağlama deneyi sonuçlarının da iki noktada odaklandıkları görülebilmektedir.

Yapılan çalışmanın verimliliği konusunda da bir değerlendirme yapmak gerekir. Verimliliğin şartların değişimi sonucunda elde edilen değerlerle eski değerler arasındaki farkın yeni değere oranı olarak düşünülebilir. Bu deneyi yapmadan önceki şartlar L8 dizisinin ilk denemesinden ibaretti. Ve böylece elde edilen değerleri deney öncesi veriler olarak kullanılabilir. Bu verilerin ortalaması $\bar{x}=1.7$ $s=0.58$ $S/N=-4.99$ idi. Sonuç olarak bulduğumuz değerler ise $\bar{x}=1.23$ $S/N=2.58$ tahmini değerleri idi. Sağlama deneyinin ise $\bar{x}=1.15$ $S/N=-1.67$ olarak bulundu. Bu gerçek değerlerden oranlama sonucunda;

$$\text{Verim}_1 = \frac{1.70 - 1.15}{1.15} = 0.48 \quad \text{Verim}_2 = \frac{4.99 - 1.67}{1.67} = 1.9$$

sağlanan verimlilik ortaya çıkacaktır. Verim_1 yığın ortalaması için Verim_2 de değişkenlik için hesaplanmıştır.

Deney öncesi ve sonrası gözlem değerlerinden yola çıkarak her bir durumda yapılan üretimlerin ne kadarlık bir sosyal kayıp getireceklerine bakılacak olursa; daha önce bulunan kayıp değerlerine baş vurmamak gerekecektir. Kayıp değerleri A parametresi belli olmadığından A'ya bağlı olarak hesaplanabilirdi. L_{ilk} deney öncesi şartların, L_{ort} da deney sonrası ortalama kaybı ifade etmekte idi. Ayrıca edindiğimiz verilerin iki odakta yığıldığını görmüştük. Her ikisi ayrı ayrı değerlendirilirse

L	A=?	A=100	Uretim	
			40.000ad/yıl	Verim
L_{ort1}	0.26 A	26 TL	1.040.000 TL	4.48
L_{ort2}	0.883 A	88.3 TL	3.532.000 TL	0.61
L_{ort}	0.63 A	63 TL	2.520.000 TL	1.25
L_{ilk}	1.42 A	142 TL	5.680.000 TL	

Tablo 4-1; Sonuç Tablosu

Tablo 4-1'de görülen değerler yapılan çalışma ile kaliteyi geliştirme yönünde önemli bir yol katedildiğini göstermektedir. Tabloda görülen farklı L tipleri deney şartlarının farklılığını göstermektedir. L_{ilk} çalışma öncesi şartlarda yapılan üretimin sebep olduğu kaybı, L_{ort} çalışma sonrasında bulunan optimal şartlarda yapılan sağlama deneyinin sonuçları tasnife tabi tutulmadan sebep oldukları kaybı, L_{ort1} ve L_{ort2} de sağlama deneyi sonuçlarında görülen iki odaklaşma dolayısıyla yapılan tasnifin sonucunda her bir sınıfın oluşturduğu kaybı göstermektedir. Meydana gelen kaybın tam olarak hesaplanamaması dolayısıyla yapılan yaklaşık hesaba göre işletmeye şu tavsiyelerde bulunulabilir.

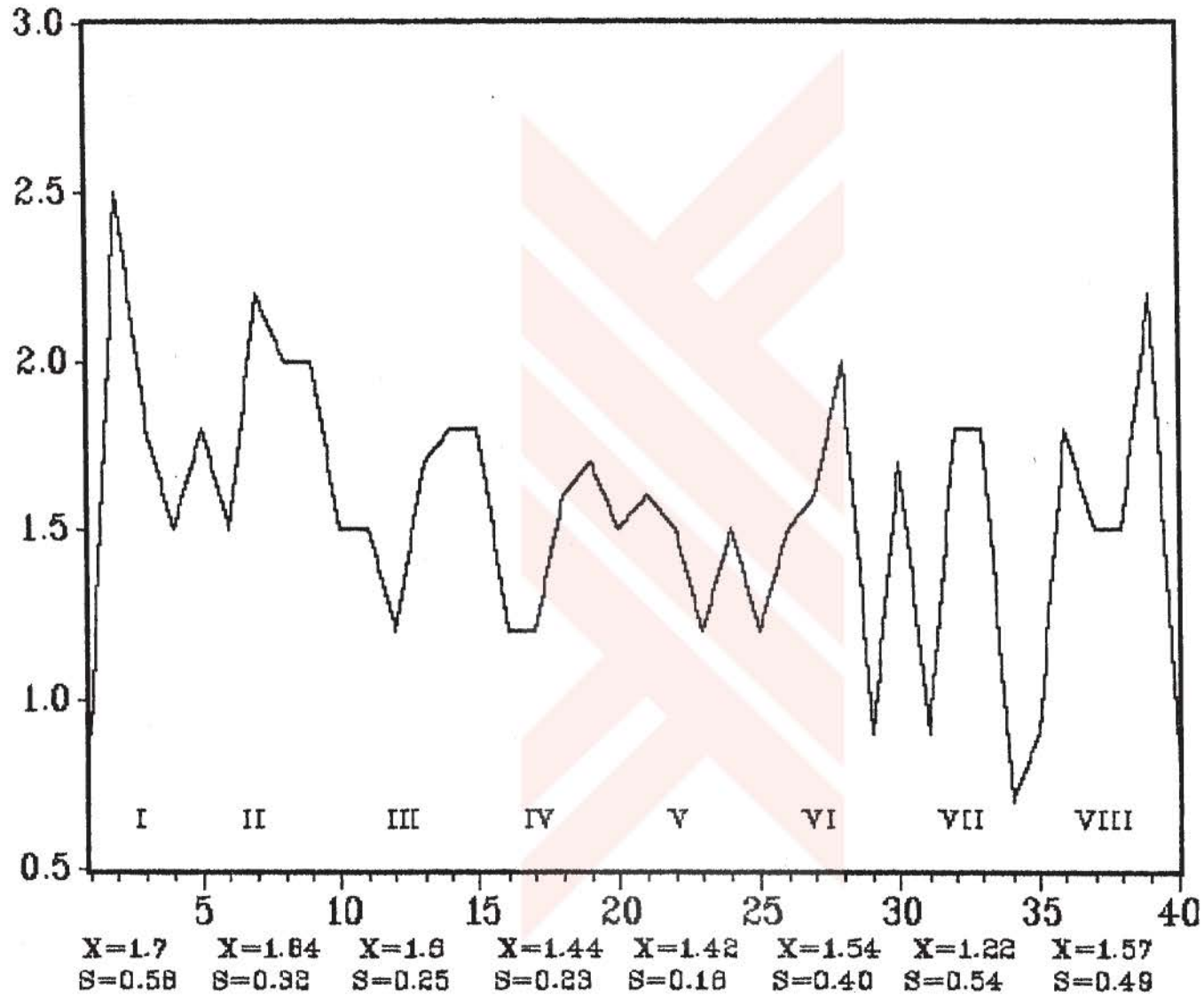
1. İşletme Taguchi metodunu her türlü problemlerine uygulamalıdır. Bunun sonucunda kalite kaybının işletmeye ve topluma ne kadar kayıp getirdiğini hesabedip yeni bir takım stratejiler uygulayabilmelidir.

2. Yapılan bu çalışma sonucunda yukarıda saydığımız optimal şartlara riayet edildiği takdirde yine yukarıda bulunan verim elde edilebilecektir. Ancak veri yetersizliği dolayısıyla kesin kayıp değeri tesbit edilemedi. Bu şartlarda yaklaşık bir sonuca varılabildi. Tablo 4-1'deki kayıp değerlerine göre işletme dökümhane dış kapısının açıklığını önemsemese bulunan optimal şartlarda yapacağı üretimden yılda 3.160.000 TL kazanç sağlayacaktır. Bu durumun gerçekleşmesi kuvvetli bir ihtimale sahiptir. Zira dış kapının daima kapalı tutulması mümkün değildir. Daima kapalı kalması halinde ise bu kazanç 4.640.000 TL olacaktır.

3. Bu üçüncü tesbitimiz de Taguchi tekniği hakkında olacaktır. Bu teknik kalite geliştirme çalışmalarında her işletmeye başvurulması için tavsiye edilir. Hatta bu metodla yapılan optimizasyon çalışması sonucunda istatistiksel kalite kontrol metodlarını uygulamaya gerek kalmayabilir. Zira bu teknik Off-line sistemde yoğunlaşarak potansiyel faktörlere karşı bile bir duyarsızlık oluşturur. Sağlanan bu duyarsızlık sayesinde üretim hattı çok aksi bir durum oluşmadığı müddetçe hedef değere çok yakın üretimde bulunacaktır. Hatta gözlemek için de tekniğin bir takım faaliyet önerileri vardır. Ancak Toplam Kalite Yönetimi felsefesi veya Kaizen felsefesi çerçevesinde uygulanması daha bir önemle tavsiye edilir.

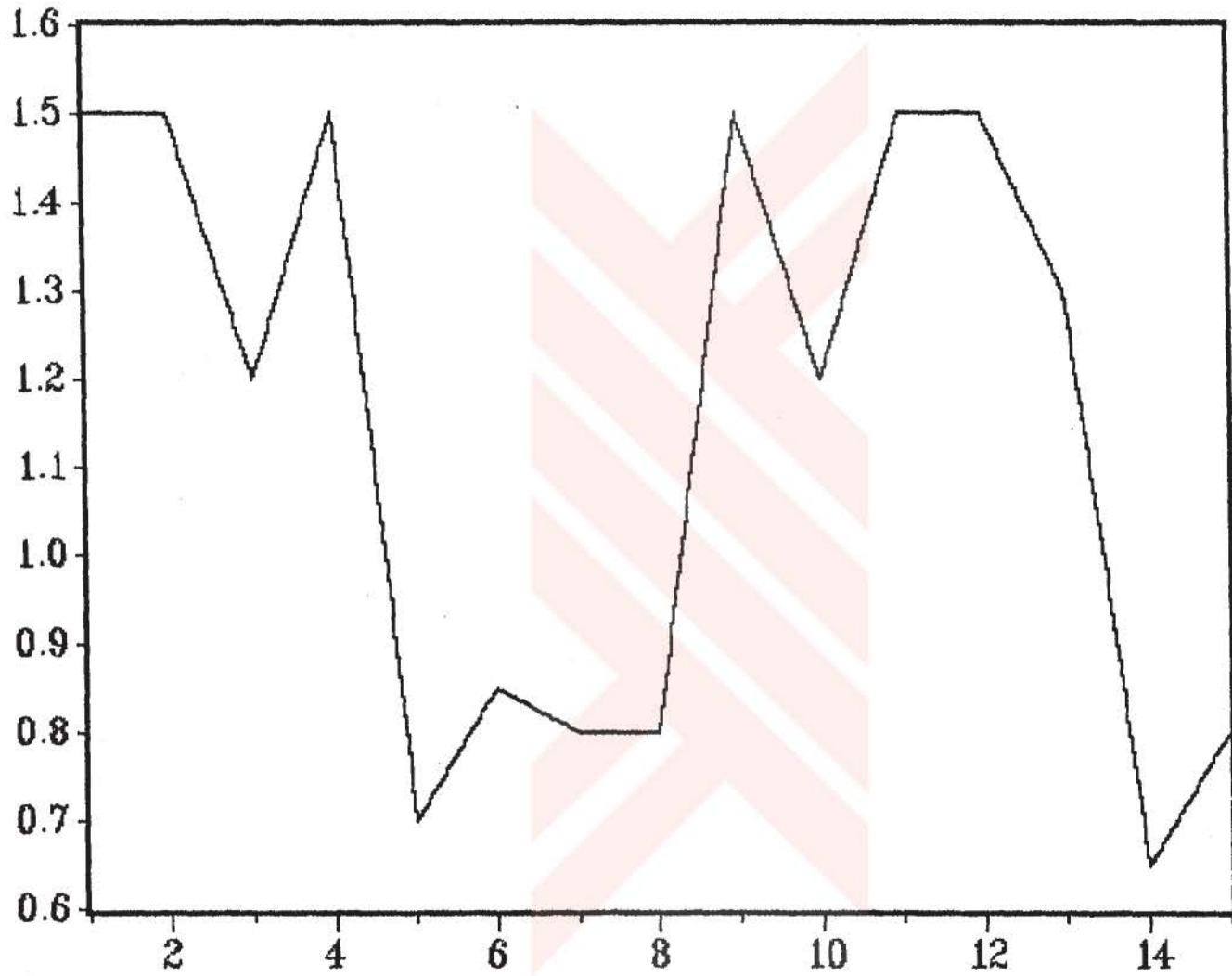


Sekil 4.1; Her bir denemede elde edilen verilerin grafiksel sunumu



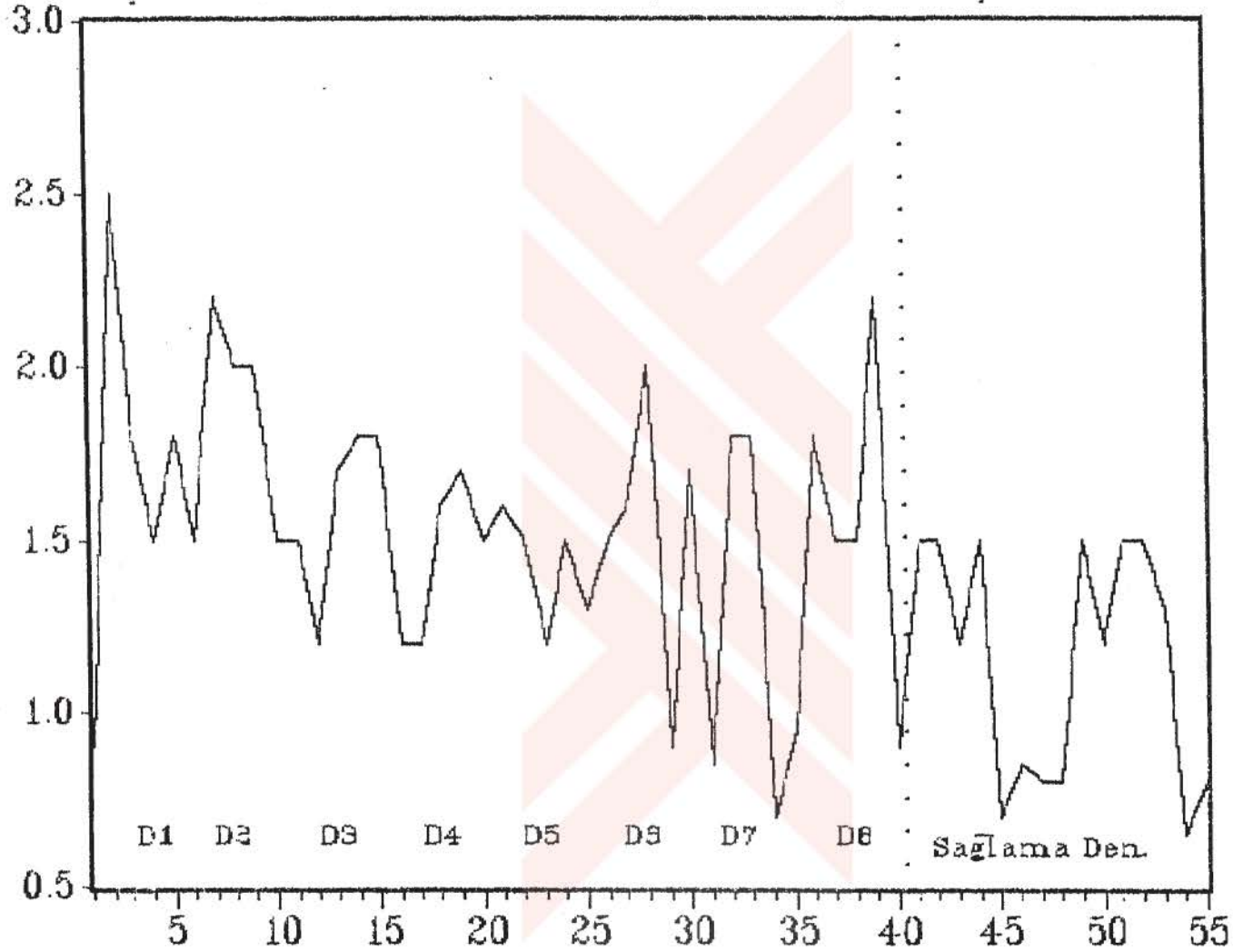
— Y

Sekil 4.2; Saglama deneyi sonuclari grafigi



— Y

Şekil 4.3; Tüm Denemeler ve Sağlama Deneyi Sonuçları



— Y

Kaynaklar

- L11 G. Taguchi, D. Clausing , "Robus Quality ", Harvard Business Review ,
Jan. - Feb. 1990, pp:65-75
- L21 G. Taguchi, E.A.Elsayed, T.Hsiang, Quality Engineering
in Production Systems, McGraw-Hill, Singapore, 1989
- L31 AS1 Quality Systems "Taguchi Methods" Copyright AS1 International
Ltd. 1990
- L41 C.N.MADU,Chu-hua KUEI,"Simulation Metamodels of System Availibility,
and Optimum Spare and Repair Units", IIE Transactions, Nov. 1992,
vol. 24,num.5 ,pp: 99-104
- L51 P.J. Ross, Taguchi Techniques for Quality Engineering McGraw-Hill,
Singapore, 1989
- L61 J.J.Pignatiello, JR, "An Overview of the Strategy and Tactics of
Taguchi", IIE Transactions, Sept. 1988,
vol. 20,num.3 ,pp: 247-254
- L71 R.H. LOCHNER, J.E. MATAR ,Designing By Quality, Chapman & Hall,
U.S.A. ,1990
- (8) M.S.Phadke, 'Quality Engineering Using Robust Design',Prentice
Hall, U.S.A., 1989