

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENEY TASARIMI YÖNTEMİYLE BİR ESNEK
POLİÜRETAN SÜNGER ÜRETİM PROSESİNİN
OPTİMİZASYONU**

**Hazırlayan
Behice Kübra ŞAHİN**

**Danışman
Prof. Dr. Mithat ZEYDAN**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2019
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENEY TASARIMI YÖNTEMİYLE BİR ESNEK
POLİÜRETAN SÜNGER ÜRETİM PROSESİNİN
OPTİMİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Behice Kübra ŞAHİN**

**Danışman
Prof. Dr. Mithat ZEYDAN**

**Ağustos 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Behice Kübra ŞAHİN



“Deney Tasarımı Yöntemiyle Bir Esnek Poliüretan Sünger Üretim Prosesinin Optimizasyonu” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

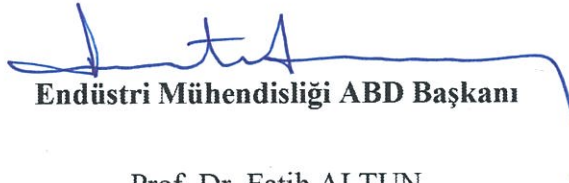
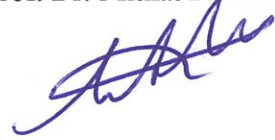
Hazırlayan

Behice Kübra ŞAHİN



Danışman

Prof. Dr. Mithat ZEYDAN



Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Fatih ALTUN

Prof. Dr. Mithat ZEYDAN danışmanlığında **Behice Kübra ŞAHİN** tarafından hazırlanan “**Deney Tasarımı Yöntemiyle Bir Esnek Poliüretan Sünger Üretim Prosesinin Optimizasyonu**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Endüstri Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

12.07/2019

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Mithat ZEYDAN



Üye : Prof. Dr. M. Duran TOKSARI



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Burcu ORALHAN

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 03/09/2019 tarih ve 2019/50-12 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım sırasında değerli bilgilerini paylaőan ve özgür bir fikir alışveriői imkanı sunan danışman hocam sayın Prof. Dr. Mıthat Zeydan' a, projenin aőamalarında bire bir bulunan, üretim tecrübeleriyle projeye katkı sağlayan firmanın kimyasal üretim ve Ar-Ge yöneticisi Mevlüt Sabih Kepenek' e ve sünger üretim grup yöneticisi Selim Yağcı' ya, emekleri için ölçüm operatörü Yusuf Yılmaz' a ve tüm destekleri için değerli aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Behice Kübra ŞAHİN

Ağustos 2019, KAYSERİ

DENEY TASARIMI YÖNTEMİYLE BİR ESNEK POLİÜRETAN SÜNGER ÜRETİM PROSESİNİN OPTİMİZASYONU

Behice Kübra ŞAHİN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2019
Danışman: Prof. Dr. Mithat ZEYDAN

ÖZET

Bu çalışmada, Yalın üretim analiz yöntemlerinden biri olan deney tasarımı yöntemi ile bir fabrikada esnek poliüretan sünger üretim prosesinin optimizasyonunu sağlamak amaçlanmıştır. Yalın Altı Sigma DMAIC araçları, bu iyileştirme sürecine yol haritası olması için kullanılmıştır. Sünger üretiminin maliyetli bir üretim olması nedeniyle mümkün olan en kısa zamanda, en az deney sayısı ve deney maliyeti ile hedefe ulaşmak istenmektedir. Bunun için, bu imkanları sağlayan Taguchi deney tasarımı yöntemi seçilerek deneyler yapılmış ve prosese etki eden dört önemli faktörün (TDI Index, polyol, su ve hava miktarı) optimum konfigürasyonları belirlenmiştir. Yapılan varyans analizi (ANOVA) ile TDI Index ve polyol faktörlerinin kalite karakteristiği üzerinde en etkili faktörler olduğu tespit edilmiştir. Sonrasında yapılan doğrulama deneylerinin %99 güven aralığı içerisinde kalması sonuçların geçerliliğini ve muhtemel tekrarlanabilirliğini gösterir. Sonuç olarak, optimum çözüm sağlanmış, değişkenliğe etki eden sebepler bulunmuş ve sistem, daha verimli değişkenliğe karşı daha az duyarlı hale getirilmiştir. % 8 oranında bir iyileşme gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yalın, Altı Sigma, Yalın Altı Sigma, Deney Tasarımı, Taguchi Yöntemi, Sağlam Tasarım, Proses Optimizasyonu, Sünger Üretim Prosesi

OPTIMIZATION OF A FLEXIBLE POLYURETHANE FOAM MANUFACTURING PROCESS WITH THE EXPERIMENTAL DESIGN METHOD

Behice Kübra ŞAHİN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, August 2019

Supervisor: Prof. Dr. Mithat ZEYDAN

ABSTRACT

In this study, it has been aimed to optimize the flexible polyurethane foam manufacturing process in a factory by using the experimental design method, which is one of the lean production analysis methods. Lean Six Sigma DMAIC tools were used as a roadmap for this improvement process. Since the production of foam is a costly process, we have tried to attain to goal with the minimum number of tests and test costs as soon as possible. For this purpose, the Taguchi test design method has been chosen and the optimum configurations of four important factors (TDI Index, polyol, water and air) have been determined accordingly. Analysis of variance (ANOVA) has revealed that TDI Index and polyol factors are the most effective factors on quality characteristics. The subsequent verification tests within the 99% confidence interval indicate the validity and possible reproducibility of the results. As a result, the optimum solution has been provided, the factors affecting the variability have been found out, and the system is revealed to have made less susceptible to more efficient variability. Thus after the studies, an improvement of 8% has been observed in the end.

Keywords: Lean, Six Sigma, Lean Six Sigma, Design of Experiments, Taguchi Method, Robust Design, Process Optimization, Foam Manufacturing Process

İÇİNDEKİLER

DENEY TASARIMI YÖNTEMİYLE BİR SÜNGER ÜRETİM PROSESİNİN OPTİMİZASYONU

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Poliüretan Süngerler	3
1.1.1. Poliüretanlar İçin Temel Reaksiyon Mekanizması.....	3
1.1.2. Poliüretan Çeşitleri ve Kullanım Alanları	4
1.1.2.1. Esnek Poliüretan Süngerler	6
1.1.3 Esnek Sünger Üretim Metotlarından Slabstock Yöntemi.....	8
1.2. Problemin Durumu, Amacı ve Önemi.....	9
1.3. Literatür Araştırması	9

2. BÖLÜM

YÖNTEM

2.1. Yalın Kavramı	11
2.2. Altı Sigma Kavramı	12
2.2.1. Altı Sigma' nın Kısa Tarihçesi	14
2.2.2. Altı Sigma Araç ve Teknikleri	14
2.2.3. Altı Sigma Tasarımı (DFSS).....	17

2.3. Yalın Altı Sigma	17
2.3.1. Yalın Altı Sigma Kısa Tarihçesi.....	18
2.3.2. Yalın Altı Sigma İlkeleri.....	19
2.4. Deney Tasarımı	21
2.4.1. Deneye Uygun Tasarımın Seçilmesi	21
2.4.2. Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi	21
2.4.2.1. Sağlam (Robust) Tasarım.....	22
2.4.2.2. Taguchi Ortogonal Dizileri	24
2.4.2.3. S/N Oranı	25
2.4.2.4. Varyans Analizi	26
2.4.2.5. Ana Etki Grafikleri.....	26
2.4.2.7. Güven Aralıklarının Belirlenmesi	27
2.4.2.8. Doğrulama Deneyleri	27

3. BÖLÜM

UYGULAMA ÇALIŞMASI

3.1. Materyal ve Üretim Prosesi.....	29
3.2. Yalın Altı Sigma' nın DMAIC Basamaklarıyla Optimizasyon Çalışması	31
3.2.1. DMAIC Tanımlama Aşaması.....	31
3.2.1.1. Proje Beyanı.....	31
3.2.1.2. SIPOC Diyagramı	32
3.2.2. DMAIC Ölçme Aşaması	33
3.2.2.1. Ölçüm Sistemleri Analizi.....	33
3.2.3. DMAIC Analiz ve Tasarım Aşaması	36
3.2.3.1. Faktörlerin Belirlenmesi.....	36
3.2.3.2. Seviyelerin Belirlenmesi.....	37
3.2.3.3. OA Seçimi ve OA 'ya Göre Deney Tablosunun Oluşturulması	37
3.2.3.4. Deneylerin Gerçekleştirilmesi	39
3.2.3.5. Deney Sonuçlarının Analizi.....	40
3.2.3.6. Varyans Analizi (ANOVA).....	42
3.2.3.7. Faktör Etkileşimlerin Bulunması	45

3.2.4. DMAIC Doğrulama Aşaması.....	46
3.2.4.1. Doğrulama Deneylerinin Yapılması.....	46
3.2.4.2. Ortalamanın Tahmini.....	46

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

KAYNAKÇA	52
EKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	58



KISALTMALAR

PU	: Poliüretan
FPUF	: Esnek Poliüretan Sünger
TDI	: Toluen Di İzosiyanat
IFD	: Girinti Sapma Kuvveti
CAGR	: Bileşik Yıllık Büyüme Hızı
LSS	: Yalın Altı Sigma
DMAIC	: Tanımla, Ölç, Analiz et, İyileştir, Kontrol et
DMADV	: Tanımla, Ölç, Analiz et, Tasarla, Doğrula
DOE	: Deney Tasarımı
N	: Newton
OA	: Ortogonal Dizi
SD	: Serbestlik Derecesi
KKK	: Kritik Kalite Karakteristiği
DFSS	: Altı Sigma Tasarımı
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Esnek sünger üretimi için temel formülasyon	6
Tablo 2.1.	Yeniden yapılandırılmış DMAIC formu.....	16
Tablo 2.2.	Eski geleneksel metotlar ile yeni (LSS) metotlarının karşılaştırması	18
Tablo 2.3.	DMAIC aşamaları ve yaygın olarak kullanılan LSS araçlarının birlikte gösterimi.....	20
Tablo 2.4.	Temel bir Taguchi $L_9(3^4)$ ortogonal dizisi	25
Tablo 2.5.	OA tasarımı ile tam faktöriyel deney sayısının karşılaştırılması.....	28
Tablo 3.1.	Parçalar için ölçüm testleri sonuçları.....	34
Tablo 3.2.	One-Way ANOVA	34
Tablo 3.3.	Variance components.....	34
Tablo 3.4.	Gage evaluation	35
Tablo 3.5.	Faktörler ve kodları.....	37
Tablo 3.6.	Faktör ve seviye kombinasyonları	37
Tablo 3.7.	Deneyde kullanılacak faktörler ve seviyeleri.....	38
Tablo 3.8.	Seçilen dört faktörün seviye değerleriyle birlikte gösterimi.....	39
Tablo 3.9.	Her bir deneyin sertlik %40 IFD (N) cinsinden sonuçları	39
Tablo 3.10.	Yanıt değişkenlerinin ortalaması ve S/N oranları.....	40
Tablo 3.11.	Sinyal-gürültü oranları için yanıt tablosu (En büyük en iyi için)	40
Tablo 3.12.	Ortalamalar için yanıt tablosu.....	41
Tablo 3.13.	ANOVA	43
Tablo 3.14.	Doğrulama deneyleri ve ölçüm sonuçları	46
Tablo 3.15.	Pooled ANOVA (Havuzlanmış ANOVA).....	47
Tablo 3.16.	Ek kontrol deneyleri.....	48
Tablo 3.17.	Mevcut üretim verileri	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Poliüretanın çapraz bağ yoğunluğu ve sertliğin fonksiyonu olarak sınıflandırılması	5
Şekil 1.2.	Geleneksel slabstock prosesi	9
Şekil 2.1.	Süreç diyagramı	13
Şekil 2.2.	P-diyagramı.....	13
Şekil 2.3.	Taguchi sağlam parametre tasarım süreci.....	23
Şekil 2.4.	Taguchi tasarım prosedürü.....	24
Şekil 3.1.	22-dansite sert süngerin üretim hacmi	29
Şekil 3.2.	22 dansite sert sünger üretim prosesi	30
Şekil 3.3.	Firmanın sertlik ölçüm testi	33
Şekil 3.4.	Gage R&R.....	36
Şekil 3.5.	S/N oranı için ana etki grafikleri.....	41
Şekil 3.6.	Ortalamalar için ana etki grafikleri.....	42
Şekil 3.7.	Faktörlerin sünger sertliği üzerindeki etkileri.....	44
Şekil 3.8.	Artık grafikleri	44
Şekil 3.9.	Etkileşim grafikleri	45

GİRİŞ

Değişen küresel dünya ve buna bağlı artan tüketici talep ve ihtiyaçları, firmaların sektörde tutunabilmesi için sürekli gelişmeyi kendilerine ilke edinmeleri gerektiğini bildirir. Firmalar, mevcut standartlarıyla üretim yapmaya devam etmeleri halinde oldukları yerde kalmayacak, rekabet karşısında daha geri seviyelere düşeceklerdir. Gelişmeye açık olan her üretici, bunu sağlamak için bir çok yöntemden yardım alabilir.

Bu çalışmada yıllardır uygulanan ve yapılandırılmış yeni durumlarıyla hala uygulamalarına devam edilen Yalın, Altı Sigma ve bu iki yaklaşımın bütünleşmiş hali olan Yalın Altı Sigma yaklaşımları firmaların kendilerini güncel tutabilmeleri için teknikler ve araçlar sunar. Bu yaklaşımlarından her biri tek veya beraber kullanılabilir. Beraber kullanılması durumunda daha kapsamlı ve güçlü bir çözüm verecektir. Hız odaklı Yalın ve istatistiksel metotlar içeren kalite odaklı Altı Sigma projelerde etkin ve sürdürülebilir bir çözüme ulaşmayı garanti eder. Yaklaşım; üretim, hizmet vb. sektörlerde uygulanabilmesi bakımından çok yönlüdür.

Bu çalışma, süreç iyileştirme odaklıdır. Kapsamlı bilgi gerektiren ve oldukça maliyetli olan poliüretan sünger üretim prosesi için bir optimizasyon hedeflenmiştir. Yalın ve Altı Sigma' nın bir analiz ve iyileştirme aracı olan Deneysel Tasarım Metodu (DOE) kapsamlı olarak kullanılmıştır. Yalın Altı Sigma' nın DMAIC fazları ve kendine özgü Proje Beyanı, SIPOC, Ölçüm Sistemleri Analizi gibi bir takım özel istatistiksel araçlar yardımıyla prosesi tanımlama ve ölçme yapılırken;

Süreç değişkenliğine etki eden nedenleri bulmak ve süreci bu nedenlere karşı daha az duyarlı hale getirmek için az sayıda deneme ile en iyi çözüm veren Taguchi yaklaşımıyla da analiz ve iyileştirme, sonrasında doğrulama ve ek kontrol yapılmıştır.

Çalışmanın;

1. Bölümünde; poliüretan sünger üretimi hakkında bilgiler verilmiş, çalışmanın amacı, durumu, önemi bildirilmiş ve daha önce yapılan araştırmalar kısaca sunulmuştur.
2. Bölümünde; kullanılan yöntemler olan Yalın, Altı Sigma, Yalın Altı Sigma, deneysel tasarım ve Taguchi metodu hakkında detaylı bir literatür bilgisi sunulmuştur.
3. Bölümünde; sünger fabrikasında yapılan deneysel tasarım çalışması, analizler, iyileştirmeler, kontrol çalışmaları vb. uygulamalar, DMAIC adımlarıyla detaylı olarak sunulmuştur.
4. Bölümünde; yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan bilgiler tartışılmıştır.



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

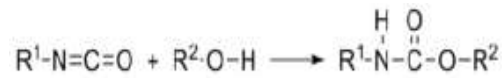
1.1. Poliüretan Süngerler

Bayer (1947)' in belirttiği gibi, 1937 yılında Otto Bayer tarafından, "bir diizosiyanat ile iki uç hidroksil gruba sahip polyesterin reaksiyona sokulmasıyla" poliüretan keşfedildi [1]. Bu keşif ile birlikte, "makromoleküler kimyada yeni bir yol" açılmış oldu [1]. Oertel (1985)' e göre poliüretanlar (PU), polyoller ile izosiyanatlar arasında ilave polimerizasyonla oluşturulan üretan bağlantıları bulunan polimerik malzemelerdir [2]. "Çok yönlü polimerik malzeme" sınıfındaki poliüretanlar, açık veya kapalı hücreli olabilir [3].

1.1.1. Poliüretanlar İçin Temel Reaksiyon Mekanizması

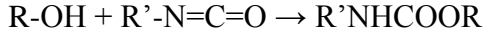
İzosiyanat grubu içeren izosiyanat (-N=C=O) ile hidroksil grubunu (-OH) içeren polyoller, PU üretiminde gerekli olan iki ana bileşendir [4]. Bir diizosiyanat ve bir polyol arasında meydana gelen ve ısı açığa çıkaran temel reaksiyon, bir poliüretan polimer oluşturur. Polimerizasyon sürecinde bir miktar şişirme maddesi ilavesiyle köpük meydana gelir [5].

Klempner and Senijarevic (2004)' nin belirttiği gibi geliştirilmiş PU reaksiyonu aşağıdaki gibi gösterilmektedir [4]:



Genellikle, PU 'ların üretiminde kimyasal reaksiyonlar birbirine senkronize haldeki iki reaksiyondan oluşur. Bunlar "PU oluşumu ve katalizör varlığında gaz üretimi" dir [4].

1) Üretan bağı meydana getirmek üzere izosiyanat ile polyolün reaksiyonu şu şekildedir [4]:



Polyol İzosiyanat Üretan

Bu ekzotermik reaksiyon sonucunda üretan grupları oluşur.

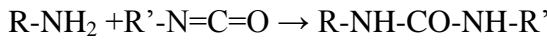
2) Karbondioksit ve bir üre oluşturmak için izosiyanat ve şişirme ajanı olarak görev yapan suyun reaksiyonu şu şekildedir [4]:



İzosiyanat Su Karbamik asit Üre Karbondioksit

Reaksiyon sonucunda karbondioksit açığa çıkar.

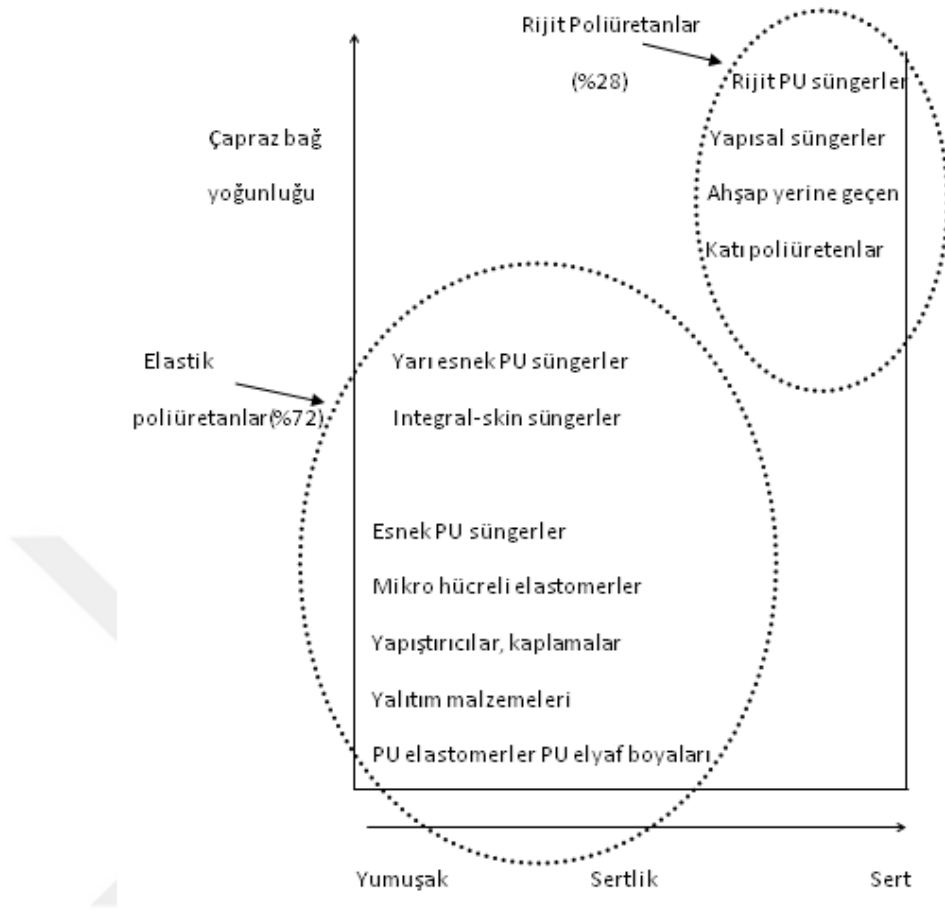
3) Bir üre bağlantısı oluşturmak üzere için izosiyanatın aminle reaksiyonu şu şekildedir [4]:



Amin İzosiyanat Diizosiyanat üre

1.1.2. Poliüretan Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Günlük hayatta kullandığımız çoğu ürünün içeriğinde bulunan poliüretanlar, popüler materyaller haline gelmiştir. İlk olarak 1950' lerde pazara sunulan poliüretan süngerler (PU süngerler), yıllar içerisinde hızla büyüme ve gelişme göstermiştir. PU' ların türlerine göre uygun eşdeğer ağırlık ve işlevsellikte polyol ve izosiyanat kullanılarak çeşitli tiplerde üretilmesi sağlanır. Esnek, yarı esnek ve rijit olarak üç tipte üretilirler. Bunlar arasında en popülerleri esnek süngerlerdir [6, 7]. Esnek süngerler düşük yük taşıma özelliklerine sahipken, rijit süngerler yüksek yük taşıma özelliklerinin yanı sıra belirli bir akma noktasına da sahiptir. Yarı esnek süngerler belirli bir akma noktasına sahip olmayan, esnek süngerlere kıyasla daha yüksek yük taşıma özellikleri olan süngerlerdir [1].



Şekil 1.1. Poliüretanın çapraz bağ yoğunluğu ve sertliğin fonksiyonu olarak sınıflandırılması [1].

Esnek süngerler, yapıştırıcılar, elastomerler vb. elastik poliüretan sınıfına dahilken; yapısal poliüretanlar, ahşap vb. yerine kullanılanlar ise rijit poliüretan sınıfındadır. Çeşitli sertlik ve çapraz bağ yoğunluklarında geniş bir sertlik-yumuşaklık skalasında üretilen poliüretanlar Şekil 1.1'de gösterilmiştir [1].

PU' lar çeşitli özelliklere sahip olmasından dolayı, pek çok endüstride yaygın kullanım alanları bulmuş durumdadır. Son uygulama özelliklerinin süngerin yoğunluğu, hücre büyüklüğü, morfolojisi gibi etkenlere bağlı olması nedeniyle istenilen özelliklerde bir ürün elde etmek için köpürme işlemi sırasında dikkatli bir kontrol gerekir [8]. Esnek poliüretan süngerler (FPUF' lar), mobilya, yastıklama, ambalajlama, yatak, nakliyat, otomobil iç mekanları, halı altlıkları; rijit poliüretan süngerler ise ısı yalıtımı, uzay vb. uygulamalarda oldukça kullanılmaktadır [2, 3, 9].

Poliüretan ürünler arasında en yaygın kullanılan ve üretimde en büyük paya sahip olan türü ise, esnek poliüretan süngerlerdir [10].

1.1.2.1. Esnek Poliüretan Süngerler

Tüm poliüretanlar içerisinde en büyük pazara sahip olan FPUF' lar [11], yatak sektöründe geleneksel olarak kullanılan pamuk, lif vb. ürünlere yeni bir alternatif olarak üretilmiştir ve 12 ila 50 kg/m³ skalasındaki yoğunluklarda üretilebilen, pek çok açıdan rakip malzemelere kıyasla üstün özelliklere sahip olan bu ürün yanmaya, oksidasyona, yırtılmaya daha dayanıklı ve aynı zamanda açık hücre yapısından dolayı nem emici özelliklere de sahiptir [6]. Esnek süngerlerin kullanım ömrünün uzun olması, çeşitli türlerinin bulunması, nefes alabilirliği, verimli üretim metotları bu malzemeyi başarılı kılmıştır [12].

FPUF' lar, katalizörler ve şişirme ajanları varlığında bir diizosiyanatın ve bir polihidroksi alkol ile reaksiyonu yoluyla üretilir [9]. Bölüm 1.1.1' de gösterildiği gibi reaksiyon gerçekleşir. FPUF üretim aşamasında "çeşitli kimyasallara ve katkı maddeleri" ne ihtiyaç vardır [13]. Sünger geliştiricileri tarafından yoğunluk, sertlik vb. özelliklerine göre çeşitli kimyasal formülasyonlar yapılabilir [12]. Esnek Sünger karışımını oluşturmada kullanılan bileşen malzemeler ve genel bir formülasyon Tablo 1.1' de gösterilmiştir [13].

Tablo 1.1. Esnek sünger üretimi için temel formülasyon [13].

Bileşenler	Ağırlıkları
Polyol	100
İnorganik Dolgu Maddeleri	0-150
Silikon Kopolimer Yüzey Aktif Madde	0.5-2.5
Su	1.5-7.5
Amin Katalizörü	0.1-1
Kalay Katalizörü	0-0.5
Zincir Uzaticılar	0-10
Çapraz Bağlayıcılar	0-5
Katkı Maddesi	Değişken
Yardımcı Şişirme Ajanı	0-35
İzosiyanat	25-85

Polyoller: Birden fazla hidroksil grubu içeren yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Doğru polyol derecesini seçmek, onların formülasyonun ana parçası olması nedeniyle önemlidir. Bir polyolün işlevselliğinin değiştirilmesi yardımıyla süngerin çeşitliliği için istenen sonuçlara ulaşılabilir. Moleküler ağırlıklarını sabit bırakmak koşuluyla polyol işlevseliği artarsa sünger sertliğinde hafif bir artış meydana gelir [6]. PU endüstrisinde kullanılan iki ana türü vardır: Bunlar, Polieter ve polyesterler içeren poliüretanlardır. [14]. Esnek PU sünger üretiminde yaklaşık %90 oranında uç hidroksil grubu içeren polieter polyoller kullanılmaktadır [4].

Su: Şişirme maddesi olarak işlev gören bu bileşen, birincil amin ve karbondioksit ile sonuçlanan izosiyanat grubu ile reaksiyona girer. Su içeriği arttıkça gaz reaksiyonu artacak ve bu da sünger yoğunluğunun azalmasına neden olacaktır. Diğer bileşenlerin sabit kaldığı durumlarda su içeriğinin artırılmasıyla yük taşıma özelliklerinin pek değişmediği görülür [13].

İzosiyanatlar: Polyollere kıyasla daha düşük moleküler ağırlığa sahiptir. TDI (toluen di-izosiyanat) ve MDI (metilendifenil diizosiyanat) yaygın olarak kullanılan izosiyanat türleridir. Polyollerle çok güçlü çapraz bağ yapısı oluştururlar [6]. Esnek sünger üretiminde 80:20 2.4 ve 2.6 izomer TDI karışımı yaygın şekilde kullanılan türüdür, 65:35 oranı da döşeme süngerlerinde sıkça kullanılmaktadır [14].

Dounis ve Wilkes (1997), TDI indeksinin sünger özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir [15].

TDI Index: "Teorik eşdeğer miktara göre kullanılan izosiyanat" miktarıdır. Gerçekte kullanılan izosiyanatın miktarı * 100 / İzosiyanatın gereken teorik miktarı, formülüne göre hesaplanır. Bu Index miktarının artması tepkimeye giren izosiyanat miktarını artırarak çapraz bağ sayısının artmasını sağlar ve dolayısı ile sünger sertliği artmış olur. Bunun yanı sıra, TDI Index' in gereğinden daha artırılması sertliği değiştirmeyeceği gibi sünger yapısına da zarar verir [4].

Hava: Süngerin hücre yapısını geliştirmede kullanılır [6].

Yüzey aktif cisimleri: Süngerlerin hücre oluşumunu, ayrıca yapısını kontrol etmede kullanılır [6]. Bu maddenin yokluğunda, reaksiyon köpük çökmesi ile sonuçlanır [10].

Reaksiyonu kontrol etmek için aminler ve kalay katalizörleri de kullanılmaktadır [12]. Amin katalizörü CO₂ meydana gelmesi ve süngerin yükselmesine yardımcı olan reaksiyonu (su ve TDI'ın reaksiyonu) enerjilendirirken, kalay katalizörü polyol ile TDI'ın reaksiyonuna enerji verir [6].

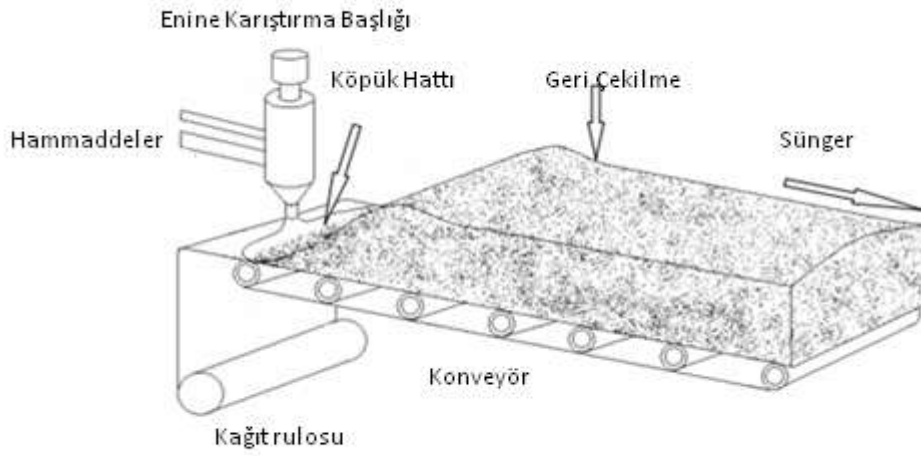
Çapraz bağlayıcılar için üretimde, istenilen sünger özelliklerine göre türü ve miktarı seçilir [4].

Poliüretan hammaddelerinin raf ömrü genellikle yaklaşık 6 aydır. Hammaddeler için tedarikte gecikmeleri önlemek amacıyla büyük ölçekli üretici firmalar, bu kimyasalları tankerlerle bulundururlar. Oldukça karmaşık bir teknoloji olan poliüretan üretimi için istenen kalitenin yakalanmasında, üreticilerin kapsamlı bilgi ve tecrübelerinin olması önemlidir [6].

2015'te 53,94 milyar dolarlık poliüretan pazar büyüklüğünün, 2025 yılına kadar "%7'lik bir CAGR'da (Bileşik yıllık büyüme hızı) büyümesi öngörülmektedir" [16].

1.1.3 Esnek Sünger Üretim Metotlarından Slabstock Yöntemi

Şekil 1.2' de gösterildiği gibi, esnek döşeme süngeri (slabstock) üretim sürecinde polyol, izosiyanat ve diğer hammaddelerin karışımı 3-4 metre kenar yüksekliği olan hareketli bir konveyöre dökülür. Burada tepkime gerçekleşmesinin ardından karışım keke benzer bir şekilde yükselmeye başlar ve "hammaddeler kullanılabilir ürün haline gelir". Daha sonra içerisindeki karbondioksiti atması için 24 saat kürlenmeye bırakılır. Genişliği 220 cm, yüksekliği 120 cm' ye kadar ulaşabilir. Isı veren bir reaksiyon olmasından dolayı süngerin iç sıcaklığının 165 °C yi aşması durumu ise süngerin kendiliğinden yanmasına neden olabilir [6, 14, 15]. Geleneksel döşeme süngerleri, % 40 civarında esneklik değerlerine sahiptir [17].



Şekil 1.2. Geleneksel slabstock prosesi [13].

1.2. Problemin Durumu, Amacı ve Önemi

Bu çalışmada, deney tasarımı yöntemlerinden Taguchi tekniği kullanılarak slabstock yöntemine göre üretilen esnek poliüretan süngerin sertliği üzerinde hangi faktörlerin etkili olduğu araştırılarak optimum proses şartlarının bulunması amaçlanmıştır. Literatürde toluendiizosiyanat kullanılarak slabstock yöntemiyle üretilmiş esnek poliüretan sünger üzerine yapılan böyle bir akademik bir araştırma olmaması, bu çalışmayı önemli kılar.

Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak yapılan bazı araştırmalar aşağıda belirtilmiştir.

1.3. Literatür Araştırması

Bu çalışmada kullanılan yöntem, Yalın üretimin analiz ve iyileştirme yöntemlerinden biri olan deneysel tasarım yöntemidir. Daha önce bu yöntem kullanılarak yapılan bazı araştırmalar aşağıda sunulmuştur.

Kumar ve ark. [18] Taguchi deneysel tasarım tekniğini kullanarak, EPC döküm sürecine etki eden üç parametre ve onların üç düzey sayısı ile çalışmışlardır. Amaçları kalite karakteristiği olan bulamaç yoğunluğunu maksimum yapmak olduğu için S/N oranının en büyük-en iyi formülünü baz alarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Parametrelerin

yanıtta etkisinin incelenmesi için varyans analizi (ANOVA) yapmışlar ve bu üç parametrenin de yanıt üzerinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Doğrulama deneyleri sonucu elde edilen bulamaç yoğunluğunun (1.44 g/cm^3) belirledikleri güven aralığı içerisinde kalması sonucun doğruluğunu kanıtlamıştır.

Wang ve ark. [19] Valf gövdesi üretiminde, plastik enjeksiyon kalıplama proses parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi yaklaşımıyla çalışmışlardır. Yedi adet işlem parametresi, üç düzey sayısı ve L18 ortogonal dizisi ile yaptıkları deneyler sonucunda optimum ayarları bulmuşlardır. Böylece, valf gövdesi sıkıştırma mukavemetinde %12' lik bir iyileşme gözlemlemişlerdir.

Yang ve Hung [20] Bu çalışmada çok-yanıtlı termoform polipropilen sünger prosesini optimize etmek için Taguchi ve fayda kavramını kullanmışlardır. Beş faktör, üç seviye ve L8 ortogonal dizisi ile yapılan çalışma ile istenilen ürün kalitesinin elde edilmesi için uygun bir çözüm sunmuşlardır.

Qasim ve ark. [21] Bu çalışmada Taguchi yaklaşımı ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Çelik işleme parametrelerinin optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Sinyal/gürültü oranı ve ANOVA yardımıyla etkili parametreleri belirlemişlerdir.

Apparaoa ve Kumar [22] Bu çalışmada, Taguchi yaklaşımıyla alüminyum alaşımının döküm kalitesini ve verimliliğini arttırmayı hedeflemişler, kalıp döküm parametrelerinin optimal ayarlarını bulmuşlar ve alüminyum döküm prosesinde bir kusur olan gözenekli yapı oluşumunu azaltmayı başarmışlardır.

Joshaghani ve ark. [23] Çalışmalarında Taguchi yöntemini kullanarak geçirgen beton döşemenin karışım tasarımını optimize etmeyi başarmışlardır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM

2.1. Yalın Kavramı

J. Womack ve ark. (1990) 'nın tanımıyla Yalın yönetim, 2. Dünya Savaşı sonrası ortaya çıkan, Toyota üretim sistemi baz alınarak geliştirilen bir "üretim felsefesidir" [24]. "Şirketlerin taleplerini karşılamak için" kaliteli ürünün doğru zamanda teslimatının yapılmasını hedefler [24]. J. Womack ve D. Jones (2003)' in ifadesiyle Yalın kavramı, şu beş ilkeyi temel alır [24]:

- Değeri Belirleme - Değer katan durumların ne olduğunu son müşterinin bakış açısından yola çıkarak belirlemek
- Değer Akışını Belirleme - "Nihai ürüne değer katmayan bütün faaliyetleri belirlemek".
- Akış Yaratma - Atıkların giderilmesi yoluyla süreçte sürekli bir akış sağlamak
- Müşteri Çekme - Müşterilerin taleplerini doğru zamanda karşılamak
- Mükemmeli Kovalama - Mükemmeli yakalama sürecinde israfı sürekli bir biçimde gidermeye çalışmak [24].

Bu ilkelere dayanarak Yalın yönetim, "katma değere sahip olmayan faaliyetlerin ve israfların ortadan kaldırılmasına odaklanır". Yalın yaklaşımında sekiz çeşit israfa yer verilmiştir. Bunlar; gereğinden fazla stoklama, gereksiz hareketler, ihtiyaç üzerinde üretim, aşırı işleme, taşıma, bekleme süresi, kusurlar ve zihin gücünü kullanmada eksiklikler [24].

Hazırlık sürelerini, aksamaları, yeniden işlemleri vb. azaltacak tekniklerle Yalın uygulamaların gerçekleşmesine yardımcı olan araçlardan bazıları: Kanban, kaizen, değer akış haritalama, 5S, SMED [24], poka-yoke ve deney tasarımı, vb.' dir [25]. Deney tasarımı ürün ve kalitenin beraber tasarlanacağını bildiren ve üretim sorunlarının ortadan kaldırılmasına yönelik bir yaklaşımdır [25].

2.2. Altı Sigma Kavramı

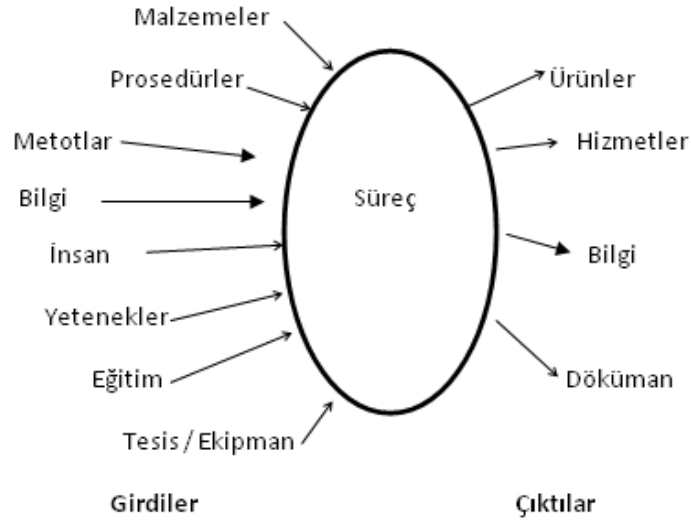
Altı Sigma nedir? Tomkins (1997)' e göre 'her ürün, proses ve işlemde kaynaklanmış hataların hemen hemen ortadan kaldırılmasını hedefleyen bir program', Harry (1998)' ye göre 'kârlılığı artırmak, pazar payını ve kaliteyi artırmaya yönelik olarak istatistiksel araçlar vasıtasıyla müşteri memnuniyetini artırmada stratejik bir girişim', Park, Lee ve Chung (1999)' ye göre ise '21. yy' de şirketin hayatta kalabilmesi için yeni bir stratejik yönetim inovasyonu paradigması' dır [26].

Altı Sigma metodolojisi, Motorola tarafından 1980 'lerde Japon şirketlerinin doğurduğu uluslararası rekabetin artmasına karşı geliştirilen bir yönetim felsefesidir [24]. Altı Sigma metodunun kullanıldığı nicel yöntemler, bir işlemi kararlı ve yetenekli hale getirirken kusurların da elimine edilmesini sağlar [27]. Süreçte kararlılık önem teşkil etmektedir [27]. Bir süreç kararlı değilse süreçte değişkenlik yüksek, tutarlılık az demektir. Bunun karşılığı müşteri memnuniyetsizliği olarak geri döner [27]. Pande ve ark. (2000)' larına göre Altı Sigma' nın; maliyet, çevrim süreleri ve arızaları azaltırken pazar payını artırma, ürün geliştirme, müşterinin devamlılığını sağlama, kültür değişimi gibi faydaları vardır [28].

Kapsamlı uyarlamaları sayesinde ciddi bilimsel analizlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlayan Altı Sigma ve onun kullandığı araçlar, İstatistiksel kalite kontrol, TKY ve Taguchi' nin çevrimdışı kalite kontrolüne dair fikirleri içeren "kalite mühendisliği alanından gelen görüşler üzerine" inşa edilerek ortaya çıkmıştır [29]. Bir seferde bir süreç iyileştirme felsefesine sahip Altı Sigma yaklaşımı, "süreç odaklı bir yaklaşımdır" [30].

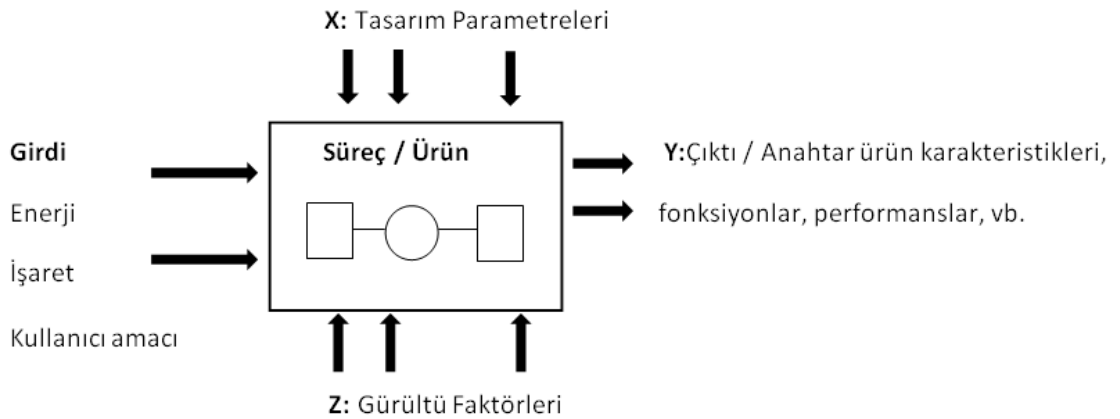
Keller ve ark. (1999)' ları tarafından süreç 'girdilerin, faaliyetlerin ve çıktıların birleşimi' şeklinde tanımlanırken, Anjard (1998) tarafından 'girdi alan, buna değer katan ve

müşteriye çıktı üreten bir dizi eylemler' şeklinde tanımlanmaktadır. Oakland (1994)' ın belirttiği gibi süreç diyagramının Şekil 1.2 'de özetlenmiş hali verilmiştir [30].



Şekil 2.1. Süreç diyagramı [30].

Bir ürün ya da üretim sürecine ait bir işlem modeli genellikle, P diyagramı olarak adlandırılan Şekil 2.2' de gösterildiği gibi şemaya sahiptir. Ürün girdileri; kullanıcı amacı, enerji vb. faktörlerdir, çıktıları ise tüketiciye ulaştırılan fonksiyonlardır [30].



Şekil 2.2. P-diyagramı [30].

"P diyagramı, Taguchi yönteminde çok bilenen bir işlem modelidir". Şekil 2.2' de çıktılar, Y harfi ile temsil edilir. Ayarlanabilir ve kontrol edilebilirler. Genellikle müşterinin talep ettiği özellikleri ya da ürün performansı, ürün fonksiyonu gibi özellikleri içerir. Tasarım parametreleri veya kontrol faktörleri ise burada X' tir. X' ler de Y gibi ayarlanabilir ve kontrol edilebilirler. Çevresel koşullar, kullanıcı koşulları gibi bir dizi gürültü faktörü olan Z, yeterince kontrol edilememektedir. Y, X ve Z' lerin değişiminden etkilenir ve genellikle X ve Z faktörlerinin bir fonksiyonudur, denklem (1)' de gösterilmiştir [30].

$$Y = f(X, Z) \quad (1)$$

2.2.1. Altı Sigma' nın Kısa Tarihçesi

Kökeninin yüz yıldan daha önceye dayandığı bilinen sigma kavramı, ilk kez "normal dağılım eğrisini formüle eden Carl Fredick Gauss tarafından oluşturulmuştur". 1920' lerde Walter Shewhart, "ortalamadan üç sigmanın" hala düzeltilmesinin gerekli olduğunu göstermiş ve C_{pk} (proses yeterlilik indeksi) ve sıfır hatalar gibi ölçüm standartlarını ise, 1980' lerde tanıtmıştır [31].

"Altı Sigma üç sigmadan iki kat daha iyi değil, 20.000 kat daha iyidir". Üç sigmadan Altı Sigma' ya geçiş zor bir süreçtir ve bunun için aşamalı olarak iyileştirme gerekir. Önce 4, 4.5 sigma ve zamanla 6 Sigma' ya ulaşılmaya çalışılmalıdır. Altı Sigma' ya yaklaşıırken kalite, karlılık, müşteri tatmini artarken maliyet azalır, kalite kontrol ve çevrim süresi kısalmır. En nihayetinde Altı Sigma seviyesine ulaşıldığında neredeyse sıfır hata ile dünya standartları yakalanmış durumda olur [32].

2.2.2. Altı Sigma Araç ve Teknikleri

Açık bir şekilde tanımlanmış tek bir yöntemden ibaret olmayan Altı Sigma olgusu, De Koning ve De Mast (2006) tarafından yeniden yapılandırılmış, bir reçete gibi varsayılarak dört sınıfa ayırmıştır [29]. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Aşamalı bir prosedürler bütünü olan (DMAIC).
- Amaç ve fonksiyon modeli
- Yöntem koleksiyonu.

- "Kritik kalite karakteristikleri ve oldukça fazla önem taşıyan 'nitelikli azınlık' ve önemsiz bir yığın neden arasındaki fark gibi kavram ve sınıflamalar" [29].

Bu analizlerden sonra, sorunların parametre/miktar cinsinden gösterilebileceği, iyileştirmeye dönük çalışmaların ilgili değişkenler arasında gözlenen ilişkilerden yola çıkılarak yapılacağı, kritik kalite karakteristiklerinin nedensel etki faktörleri olan 'X' lerin etkileri olarak kabul edileceği ve bu yöntemin deneysel tasarım ve analizlerinin yapılması, "proses yeterliliği" ve "ölçüm sisteminin tekrarlanabilirliğini ve yeniden üretilebilirliğini değerlendirmek için istatistiksel bir teknik" olan Gage R&R vb. teknikler içeren bir yöntem olduğunu belirtirler [29].

Altı Sigma, DMAIC adı verilen 5 safhadan oluşan çözüm basamakları sunar. Daha önceki literatür bilgilerini derleyen ve bunlardan faydalanan De Koning ve De Mast (2006), DMAIC adımlarını, bunların fonksiyon ve hareketlerini yeniden düzenlemiş ve Tablo 2.1' deki gibi adımlar oluşturmuşlardır [29]:

Yöntem, her aşamasında bir takım araçlar kullanır. Örneğin: "Beyin fırtınası, sebep-sonuç diyagramı ve kontrol çizelgeleri" vb. [24].

Tablo 2.1. Yeniden yapılandırılmış DMAIC formu (De Koning ve De Mast (2006) sonrasında) [29].

Tanımla:	Problemin seçilmesi ve fayda analizi
D1.	İlgili süreçleri tanımlama ve haritalama
D2.	Paydaşları tanımlama
D3.	Müşteri ihtiyaç ve gereksinimlerini belirleme ve önceliklendirme
D4.	Projenin gerekçesini açıklama
Ölçme:	Problemin ölçülebilir bir formata dönüştürülmesi ve mevcut durumun ölçülmesi; amaçların tanımı
M1.	Bir veya daha fazla KKK seçimi
M2.	KKK ve ihtiyaçlar için operasyonel tanımlarını belirleme
M3.	KKK'lerin ölçüm sistemlerini doğrulama
M4.	Mevcut proses yeteneğini değerlendirme
M5.	Hedefleri tanımlama
Analiz:	KKK'lerin davranışını belirleyen etki faktörleri ve nedenlerinin belirlenmesi
A1.	Potansiyel etki faktörlerini tanımlama
A2.	Önem derecesi yüksek olan birkaç etki faktörünü seçme
İyileştirme:	KKK'lerin performansını artırmak için sürece yapılacak ayarlamaların tasarımı ve uygulanması
I1.	X'ler ve KKK'ler arasındaki ilişkileri ölçme
I2.	KKK'leri optimize edecek biçimde süreci veya etki faktörlerinin ayarlarını değiştirmek için çalışmalar tasarlama
I3.	İyileştirme çalışmalarının deneme testini yapma
Kontrol:	Projenin sonuçlarının deneysel olarak doğrulanması ve iyileştirmelerin sürdürülebilir olması için süreç yönetimi ve kontrol sisteminin ayarlanması
C1.	Yeni süreç yeteneğini belirleme
C2.	Kontrol planlarını uygulama

2.2.3. Altı Sigma Tasarımı (DFSS)

"K. Hockman'ın Altı Sigma Forumu (2001); N. Suh'un Tasarım İlkeleri (1990) ve R. Paul'un PDMA Yeni Ürün Geliştirme El Kitabı (1996)" şu görüşü destekler: Tasarım ile ilgili çalışmalar işlem sonrasında değil, ilk safhalarda yapılmalıdır. Problem çözme veya sürecin iyileştirilmesi ile ilgili gerçekleştirilen gecikmiş tasarımlar, zaman ve maliyet açısından sorunlar meydana getirmektedir [32].

Altı Sigma Tasarımı aşağıdaki 5 adımı içerir [32].

- Tanımlama: Müşteri ihtiyaçlarını ve projeden beklenen hedeflerin tanımlanması
- Ölçme : "Müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi" ve spesifikasyonları ölçmek (alt sınır - üst sınır)
- Analiz: Müşteri gereksinimlerini karşılamaya yönelik süreç/ürün analizi
- Tasarım: Süreç/ürün tasarlama
- Doğrulama: Yapılan tasarımın müşteri gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığını ve iyi bir performansa sahip olup olmadığını doğrulama.

Genel olarak, ölçüm ve tasarım değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak belirtilen olan bu tasarımda, Altı Sigma araçlarına (DMAIC) benzer araçlar ve teknikler kullanılır. (TÖA = Tanımlama, Ölçme, Analiz) safhaları aynıdır, sadece son iki aşamada (İK= İyileştirme, Kontrol) yerine (TD= Tasarla, Doğrula) kullanılır [32].

Bu güncellenmiş adımlarla problemin çözümüne ulaşmada tasarım teknikleri kullanılırken, uyarılma bakımından problem çözümleri doğru yönlendirecek ve onların işini kolaylaştıracak bir yaklaşım sunmaktadır.

2.3. Yalın Altı Sigma

Rekabetin giderek artması artık hataların kabul edilmesine imkan bırakmamakta ve firmaların Yalın Altı Sigma (LSS) metodolojisini kullanması gerekliliği doğmaktadır. Sağlam tasarım mühendisliği yaklaşımını düşük risklerle birleştiren LSS "ortalama ve en yakın spesifikasyon sınırları arasında Altı Sigma' ya doğru ilerleme" odaklı, kusurları yok ederek ürün ve süreç problemlerini iyileştirmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır [32].

2.3.1. Yalın Altı Sigma Kısa Tarihçesi

LSS, Yalın Yönetim ve Altı Sigma yaklaşımının entegre edilmesiyle oluşmuştur. George Group' ta 1980' li yıllarda ilk defa kullanılan Yalın Altı Sigma terimi, Motorola ve General gibi organizasyonlarda yaygın olarak kullanıldıktan sonra, 2000' lerden sonra literatürde görünmeye başlamıştır [24].

Her iki yöntem beraber kullanıldığında daha etkin ve en faydalı sonuç vermektedir [24]. Yalın kavramı verimde artış, israfın azaltılması ve hıza odaklanırken Altı Sigma, üretim değişkenliklerinin azaltılmasına ve ürün/hizmet kalitesinin yükseltilmesine odaklanmaktadır [24, 27].

LSS problemlerin çözümlenmesine yeni bir anlayış getirmiştir. Tablo 2.2' de eski ve yeni metotların karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 2.2. Eski geleneksel metotlar ile yeni (LSS) metotlarının karşılaştırması [32].

Problem	Eski metotlar	Yeni metotlar
Tasarım	Ürün performansı	Ürün üretilebilirliği
Analiz	Deneyime dayalı	Verilere dayalı
Sorun	Sorunu tamir etme	Sorunu önleme
Üretim/şekillendirme	Deneme yanılma süreci	Sağlam tasarım süreci
Envanter seviyesi	Yüksek ürün miktarı	İhtiyaca göre düşük üretim miktarı
İnsan	Şirkete maliyet	Şirkete değer
Yönetim	Maliyet & zaman	Kalite & zaman
Çalışan hedefi	Şirket	Müşteri
Ürün mühendisliği	Az müşteri girdisi	Yüksek müşteri girdisi
Kalite odağı	Ürün	Süreç
Etkisi yüksek proses faktörü seçimi	Her seferinde bir faktör uygulayın	Deney tasarımı uygulayın
Süreç geliştirme	Robotik teknik	Optimizasyon tekniği
İspatlama	Deneyime dayalı	İstatistiğe dayalı
Şirket bakış açısı	Kısa vadeli plan	Uzun vadeli
Müşteri memnuniyeti	İstatistiksel olarak kabul edilen kalite düzeyinde üretim	Müşterinin istediği miktar ve zamanda daha az hata
Dış ilişkiler	Fiyat ilişkileri	Uzun vadeli ilişkiler
Yerleşim	Fonksiyonel	Hücre tipi
Üretim çizelgesi	Tahmin	Müşteri siparişi
Üretim maliyeti	Sürekli yükselen	Stabil ve azalan

2.3.2. Yalın Altı Sigma İlkeleri

İki iyileştirme tekniğini birleştiren LSS, Altı Sigma ile kaliteyi, Yalın ile dünya standartlarında performansa (WCP) ulaşmayı hedefler. "Yalın, tüm sektörlerdeki ve organizasyonlardaki tüm süreçlere uygulanır". WCP, Yalın ve Altı Sigma' nın bir fonksiyonudur. Böylece, matematiksel bir işlev olarak WCP [32];

Dünya standartlarında performans = f (Yalın değişkenlik nedenleri, Altı Sigma değişkenlik nedenleri)

Birinci ölçüm seti sonuçları :

$$\text{Çıktı} = f(\text{girdi})$$

$$Y_{WCP} \text{ (or } Y_{LSS}) = f(y_L, y_{SS}) = f [(f_L(x), f_{SS}(x)]$$

$$y_L = f (y_1, y_2, y_3, \dots, y_{n-1}, y_n)$$

$$y_{SS} = f (y_1, y_2, y_3, \dots, y_{n-1}, y_n)$$

" Y_{WCP} ; dünya standartlarında performans yanıtı, Y_{LSS} ; Yalın Altı Sigma' nın çıktısıdır". " Y_{LSS} ; y_L (Yalın çıktısı) ve y_{SS} (Altı Sigma çıktısı)' nin ikinci ölçüm dizisinin bir fonksiyonudur". ($y_1, y_2, y_3, \dots, y_{n-2}, y_{n-1}, y_n$) değerleri ise tasarım, süreç, bekleme süresi vb. sonuçlarını gösterir [32].

LSS geliştirilebilir bir yöntemdir [32]. LSS yöntemleri; Tanımlama, Ölçme, Analiz, Geliştirme ve Kontrol aşamalarına sahiptir [32]. Bu aşamalar Altı Sigma kısmında açıklandığı gibidir. Watson (2012)' a göre "Beş aşamadan her biri, balık kılıcı şemaları, istatistiksel işlem kontrolü, deney tasarımı ve kontrol şemaları gibi birkaç araç ve tekniğe sahiptir" ve süreç adımlarını izlemede uygulayıcılara oldukça "kapsamlı bir teknik araç kutusu" sunmaktadır [33]. DMAIC ve yaygın kullanılan LSS araçları Tablo 2.3' te verilmiştir.

Tablo 2.3. DMAIC aşamaları ve yaygın olarak kullanılan LSS araçlarının birlikte gösterimi [34].

Tanımlama	Ölçme	Analiz	İyileştirme	Kontrol
*Proje sözleşmesi geliştirme, problemin açıklamasını, proje hedeflerini, kritik kalite gereksinimlerini, ekip üyelerinin sorumluluklarını ve kaynakları içerir.	*Performans ölçütleri oluşturma *Ölçüm sistemini doğrulama *Veri toplama *Sürecin ana hatlarını belirleme	*Değişkenliğin/israfın kaynağının belirlenmesi için veri analizi *Kök nedenlerin belirlenmesi için sürecin incelenmesi	*Çözümleri değerlendirme ve geliştirme *Seçilen alternatifleri uygulama	*İyileştirmeleri Doğrulama *Prosedürler ve standartlar geliştirme *Kontrol planlarını uygulama ve geliştirme
Yaygın olarak kullanılan LSS araçları				
*Proje Beyanı *Süreç Haritası *SIPOC *Müşterinin Sesi Analizi *Paydaş Analizi *Kano Analizi *Kritik Kalite Karakteristiği Ağacı *Kalite Evi	*Ana Performans Göstergeleri *Değer Akış Haritası *Kontrol Çizelgesi *Histogram * Süreç Yeterliliği *Ölçüm Sistemleri Analizi *Çizgi Grafiği	*Spagetti Diyagramı *Balık Kılıcı Diyagramı *Hipotez Testi *ANOVA *Serpilme Diyagramı * Regresyon Analizi	*Öncelik Matrisi *Risk Analizi *Hata Önleme *Görsel yönetim *Deney tasarımı *Hata Türleri ve Etkileri Analizi *Standardizasyon	*Kontrol grafikleri *Kontrol Paneli *Denetim Planı *Performans Yönetimi

İşletmeler, Yalın ve Altı Sigma entegrasyonu ile doğan yaklaşımın yol göstericiliğinin faydalarını görmeye başlamışlardır. Organizasyonlar, "bu problem çözme strateji hibritini" seçerek her iki felsefenin de gücünden fayda sağlayabilirler [27].

2.4. Deney Tasarımı

Önemli bir kalite aracı aynı zamanda istatistiksel bir yöntem olan Deney tasarımı (DOE), yanıt ve faktörler arasındaki ilişkiyi bulmayı hedefleyen bir yöntemdir [30].

1930' lu yıllarda S.R. Fisher tarafından deney tasarımında istatistiksel analiz metotlarından varyans analizi ilk kez kullanılmış ve geliştirmiştir. Zira alanlarda kullanılmak üzere geliştirilen deneysel tasarım yönteminin ilk endüstriyel uygulamaları İngiliz tekstil endüstrisinde yapılmış, Batı Avrupa ve Amerika ise bu yöntemle uygulamalar yapma fırsatını 2. Dünya Savaşı'ndan bulmuştur [30].

2.4.1. Deneye Uygun Tasarımın Seçilmesi

Deneilerin gerçekleştirilmesi için; Fisher'ın klasik, Dr. Genichi Taguchi'nin ortogonal dizi veya Dr. Dorian Shainin' in değişkenleri arama yaklaşımları gibi metotlar kullanılarak istatistiksel olarak deneysel tasarımlar yapılabilir [35].

Hangi tasarımın seçileceği, "deneyin amacı", kolay uygulanabilirlik, anlaşılabilirlik, zaman ve maliyetin neden olduğu kısıtlamalar, belirlenen faktör ve onların seviye sayısına ve eğer varsa faktör etkileşimlerinin sayısına vb. bağlıdır [35].

2.4.2. Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi

Üretim için yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi ve bunun mümkün olduğunca daha az maliyetli ve hızlı olması günümüz dünyasında önem kazanmıştır [36].

Taguchi yöntemi, çok sayıda değişkeni araştırmada az sayıda deney ve deney tasarımı içinse ortogonal diziler olarak bilinen özel bir dizi kullanan bir fraksiyonel faktöriyel tasarım yöntemidir [37]. "İleri istatistiksel tekniklerden" daha çok mühendislik stratejilerini verimli olarak kullanmayı seçen "Taguchi' nin geniş kapsamlı kalite mühendisliği sistemi, 20. yüzyılın en büyük mühendislik başarılarından biridir" [18]. Kumar (2006)' a göre Taguchi' nin felsefesi aşağıdaki üç ilkeyi baz alır [18].

- "Kalite, kontrolde değil, üründe tasarlanmalıdır".
- Kalitenin sağlanması için hedeflenen değerden sapmalar minimize edilmelidir. Ürün/süreç tasarımı çevresel değişkenlerden en az etkilenecek şekilde yapılmalıdır.
- "Kalite maliyeti standart sapmanın bir fonksiyonu olarak ölçülmeli ve kayıplar sistem genelinde ölçülmelidir".

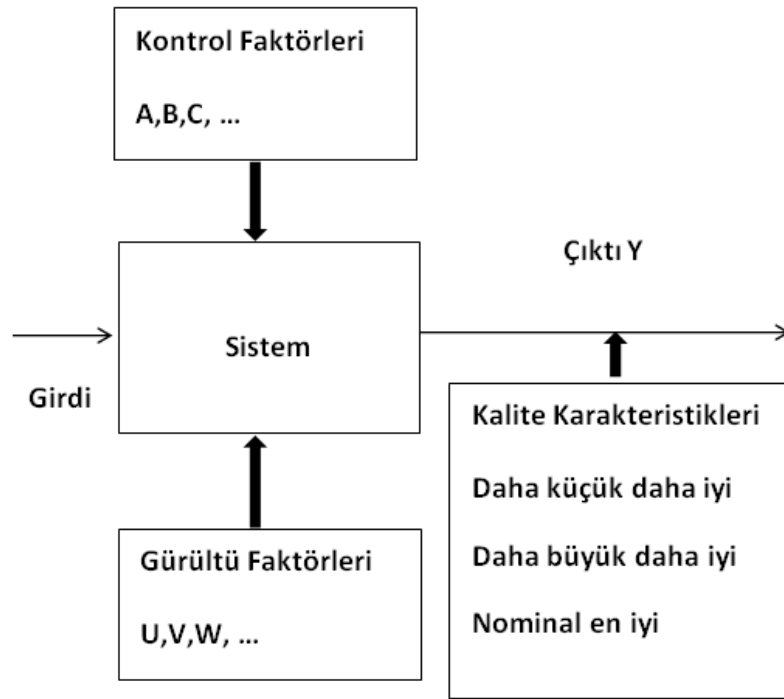
ABD' de Taguchi yöntemleri adı verilen kalite mühendisliği, çevrim dışı (batıda sağlam mühendislik olarak adlandırılır) ve çevrim içi kalite mühendisliğinden oluşur [38]. Çevrimdışı kalite kontrol yöntemi henüz tasarım aşamasındayken kullanılan yöntemdir. Çevrimiçi kalite kontrol yöntemi üretim safhasında kullanılır [36].

2.4.2.1. Sağlam (Robust) Tasarım

Üretim süreci, çevre, ziraat, istatistik, tıp vb. alanlarda oldukça yaygın bir kullanıma sahip Taguchi yöntemi, sağlam bir tasarımı, gürültü olarak nitelendirilen faktörlerin etkisini en aza indirerek ve yanıtta değişkenliğinin azalmasını sağlayan kontrol faktörü ayarlaması yardımıyla yapar [39].

Sağlam Tasarım nedir? Müşterinin istekleri doğrultusunda, düşük maliyetle ürün tasarımı için etkin bir yol bulmaya çalışan, kalitenin geliştirilmesine odaklı, deney tasarım tekniklerini kullanırken aynı zamanda kalite kaybını da dikkate alan [20], yüksek kaliteli bir sistemi tasarlayabilmek için güçlü bir araçtır [40]. Şekil 2.3' te sağlam proses tasarımı gösterilmiştir.

Montgomery (2009)' nin belirttiği gibi Taguchi' nin yaklaşımında bir süreci etkileyen, kontrol edilebilir ve kontrol edilemez olarak bilinen iki tür değişken vardır ve bu yaklaşım, "kontrol edilemeyen değişkenden gelen, yanıtta iletilen değişkenliği" en aza indirgeyen kontrol edilebilir değişkenlerin en uygun ayarını bulmaya yönelik bir çözüm sunan yaklaşımdır [40]. Burada, kontrol faktörleri "ürün boyutları, malzeme" gibi üreticinin kontrol edebildiği proses parametreleridir. Gürültüler şeklinde nitelendirilen faktörler ise "üreticinin üzerinde hiç bir kontrolünün olmadığı" faktörlerdir [41].



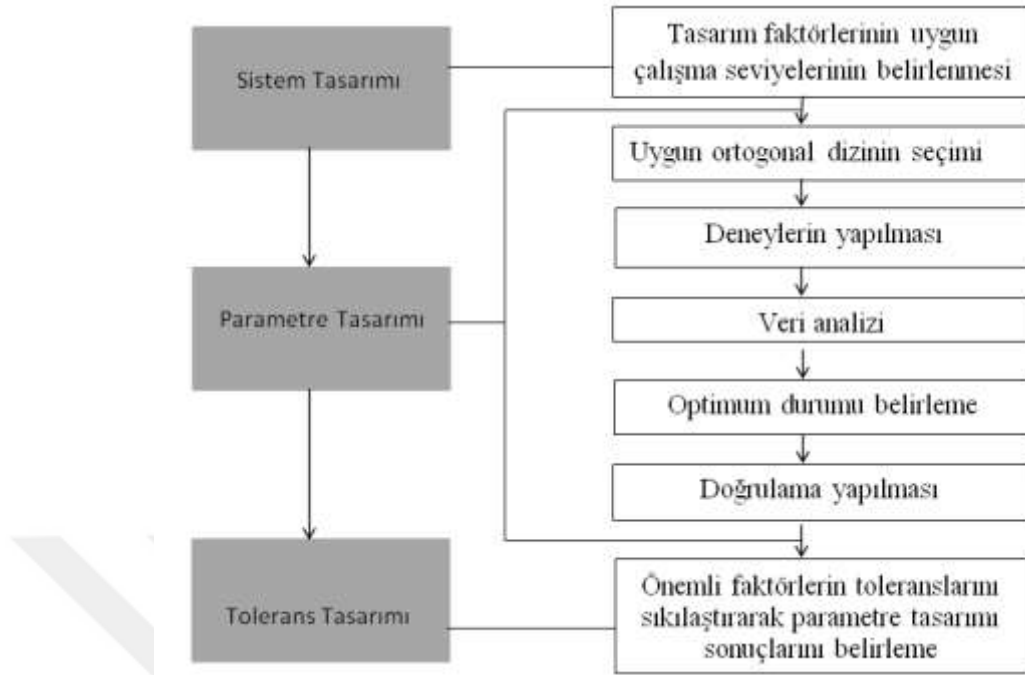
Şekil 2.3. Taguchi sağlam parametre tasarım süreci [30].

G. Taguchi (1990)' nin belirttiği üzere, Taguchi metodolojisi üç aşamadan oluşmaktadır ve bunlar sistem, proses ve tolerans tasarımlarıdır [19].

1. Sistem tasarımı: "Belirli bir amaç fonksiyonu için bir sistemin seçimi"
2. Parametre tasarımı: Optimum parametre/seviye değerlerinin belirlenmesi
3. Tolerans tasarımı: "Her parametre seviyesi etrafındaki toleransın belirlenmesi" [38].

Taguchi tasarımındaki aşamalar ve izlenecek prosedür, Şekil 2.4 'te detaylandırılarak gösterilmiştir [42]. Sistem tasarımı, hangi tasarım parametrelerinin hangi seviyelerde çalışılacağına belirlenmesinde araç olur [22]. G. Taguchi (1989)' ye göre "Üç tasarım aşaması içerisinde, ikinci aşama - parametre tasarımı - en önemli aşamadır" [42]. Yapılan kısıtlı çalışmalarda tüm parametrelerin etkisi incelenemeyebilir, fakat içlerinde yanıtı daha çok etkilediği düşünülen faktörler dikkate alınabilir. "Ünlü bir yöntem olan Taguchi", parametre tasarımını gerçekleştirmek için kullanılabilir [43].

Tolerans tasarımında ise yanıt üzerindeki etkisi önemli olan faktörlerin toleransları sıkıştırılarak daha hassas bir ayarlama yapılır [22].



Şekil 2.4. Taguchi tasarım prosedürü [42].

2.4.2.2. Taguchi Ortogonal Dizileri

Ortogonal dizi nedir? Belirli satır ve sütunlardan oluşan "belirli sayıda deneme için mümkün olduğunca çok faktörü işlemek üzere" tasarlanmış olan matris formundaki dizilerdir. Bu matrislerin her sütunu deneyde çalışılacak faktörleri, her bir satırı ise çalışılacak faktörlerin seviyelerini ifade eder [39].

Kasdekar ve ark. (2014)' larına göre "Taguchi tekniği, tasarım parametrelerinin tepki değeri üzerindeki etkilerini tarafsız bir şekilde değerlendirmek için standart bir ortogonal dizi oluşturur" [40]. Kumar ve ark. (1996)' larının belirttikleri gibi deneylerin gerçekleştirilmesi adına, matris olarak kullanılacak belirli bir ortogonal dizi seçiminden evvel, belirtilen iki noktaya dikkat edilmesi gerekir, bunlar; parametre/etkileşimlerin sayısı ve bu parametreler için düzey sayısıdır [18].

"Ortogonal dizi, $L_a(b)^c$ şeklinde ifade edilir. a, deneydeki faktör kombinasyon sayısını, b, faktörler için seviye sayısını ve c ise deneydeki faktörlerin sayısını simgeler. Deneydeki faktör ve seviye sayısına uygun bir ortogonal dizi seçilir" [44]. Örnek olarak bir Taguchi $L_9(3^4)$ ortogonal dizisi tablo 2.4' te gösterilmiştir.

"Proses parametreleri arasında doğrusal olmayan davranış olduğunda yalnızca ikiden fazla parametre seviyesi kullanıldığı durumda çalışılabilir". Taguchi' nin yöntemine göre, seçilen OA' nın toplam DOF' u, deneme için gereken toplam DOF' tan büyük veya ona eşit olmalıdır" [18].

Tablo 2.4. Temel bir Taguchi $L_9(3^4)$ ortogonal dizisi [42].

Deneyle	Kontrol faktörleri ve seviyeleri			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

2.4.2.3. S/N Oranı

Taguchi yönteminde, optimizasyon için "objektif bir fonksiyon olarak" görev yapan "sinyal-gürültü oranı, veri analizinde ve faktörlerin optimum ayarlarını tahmin etmede" yardımcı olurken "iyi dengelenmiş bir deneme seti" sunan OA' ları kullanılır [37].

S/N oranı nedir? Sinyal faktörünün gürültü faktörüne oranı olarak ifade edilir. Gürültü faktörlerinin tepki üzerindeki etkilerini en çok telafi edecek olan kontrol seviyelerinin seçilmesinde yol gösterir [40].

Optimizasyonda kullanılan üç S/N oranı formu vardır. Bunlar sırasıyla (2), (3) ve (4) no' lu denklemlerde gösterildiği gibidir [44];

Nominal - en iyi için :

$$SN_{SM} = -10 \times \log_{10} \left(\frac{y^2}{S^2} \right)$$

(2)

Daha küçük - daha iyi için:

$$SN_{STB} = -10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_i^n y_i^2 \right) \quad (3)$$

Daha büyük - daha iyi için:

$$SN_{STB} = -10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_i^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4)$$

Formüllerdeki n , gözlem sayısını, y_i , deney sonucunu gösterir, \bar{y} ve s değerleri ise sırasıyla her bir kombinasyondaki bütün gözlemlerin ortalaması ve sapmasıdır [44].

S/N oranının hangi formunun seçileceği deneyimlere ve sürece uygunluk bağlamında değerlendirilmelidir [45].

2.4.2.4. Varyans Analizi

Varyans analizi, kontrol edilen parametrelerin, önem derecesini tahmin edebilen ve anlamlı olup olmadığı sonucuna ulaşılmasını sağlayan iyi bir analiz sunmaktadır [46]. Taguchi yönteminde oldukça kullanılan işlemlerden biri olan varyans analizi, "kontrol faktörleri için deney hatalarını değerlendirmede kullanılır" [44].

ANOVA' daki değerlerin anlamı şöyledir:

Seq. SS; ardışık kareler toplamını, Adj. SS; düzeltilmiş kareler toplamını, Adj. MS; düzeltilmiş kareler ortalamasını, P; istatistiksel değeri ifade etmektedir. F ise istatistiksel testtir. [47].

2.4.2.5. Ana Etki Grafikleri

Ana etki grafikleri, "kontrol değişkenlerindeki değişim ile cevap değişkenindeki değişimi" belirten grafiklerdir. Grafiğin incelenmesinde, eğer çizgi yatay konuma yakınsa yanıt üzerinde bir etkisi olmayacaktır ve bu faktör önemsiz olarak nitelendirilir. Çizgi eğimi yüksekse faktörün yanıtta etkisinin yüksek olduğu gözlenmektedir [40].

2.4.2.6. Ortalamanın Tahmini

Bu değer, yanıt üzerindeki önemli etkiye sahip olan faktörlerle yapılan bir tahmindir. Tezin uygulama kısmında detaylı olarak açıklanmıştır.

2.4.2.7. Güven Aralıklarının Belirlenmesi

Ortalamanın tahmini ile bağlantılı olarak kullanılacak olan güven aralığı, doğrulama deneylerinin sonuçlarının hangi değerler içerisinde kalması gerektiğini gösteren aralıktır.

CI_{CE}: Doğrulama deneylerinin %95 güven aralığıdır. Hesaplama formülü aşağıda verilmiştir [18]:

$$CI_{CE} = \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) V_e \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right]}$$

Burada;

$F_{\alpha}(1, f_e)$: Serbestlik derecesi 1' e karşı $(1-\alpha)$ güven seviyesindeki F oranıdır. f_e , hatanın serbestlik derecesidir.

V_e = Hata varyansıdır.

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + \text{Yanıt ortalamasının tahminiyle bağlantılı toplam serbestlik derecesi}}$$

N = Toplam sonuçların sayısıdır.

R = Doğrulama deneylerindeki örneklem büyüklüğüdür.

2.4.2.8. Doğrulama Deneyleri

Deneyler gerçekleştirildikten sonra, sonuçlarının doğruluğunu test etmek için, faktörlerin optimum konfigürasyonlarında yapılan deneyler, doğrulama deneyleridir. Tahmin edilen sonuçların doğruluğunun onaylanması için daima doğrulayıcı deneyler yapılmalıdır. "Sonuçlar doğrulanmadıysa ya da tatmin edici değilse, ilave deneyler gerekli olabilir" [38].

2.4.3. Klasik DOE Yaklaşımı ve Taguchi Yaklaşımının Karşılaştırılması

Klasik deneysel tasarımlar yanıt ortalamasına odaklanırken, iyi belirlenmiş bir deneysel tasarım (DOE) tekniği olan Taguchi tekniği ise bir proses/ürün tasarımını optimize etmeye ve sistemi sağlam hale getirmeye odaklanmıştır [48].

Çeşitli endüstrilerde başarılı uygulamalar edinmiş geleneksel deney tasarımı yaklaşımını kullanmanın maliyet ve zaman kısıtlılığı gibi çeşitli zorlukları vardır [49]. Tam faktöriyel bir tasarımda, Benbow ve ark (2002)' larına göre her faktörün tüm seviyelerini temsil eden deneyler gerçekleştirilme zorunluluğu, beraberinde mali bir yükte getirecektir [49]. Taguchi yöntemi, bu zorluklara ve maliyet sorununa çözüm bulmak için tasarlanmıştır [49].

Üç seviye-dört parametrelili bir tasarımda, geleneksel faktöriyel tasarımın 81 deney çalışması gerekliliğine karşın Taguchi yöntemi, yalnızca 9 deneyle sonuca ulaşabilir [37]. Tablo 2.5 'te verilen karşılaştırmalar, Taguchi tekniğinin çok daha az sayıda deney ile sonuca ulaştığını doğrular.

Tablo 2.5. OA tasarımı ile tam faktöriyel deney sayısının karşılaştırılması [41].

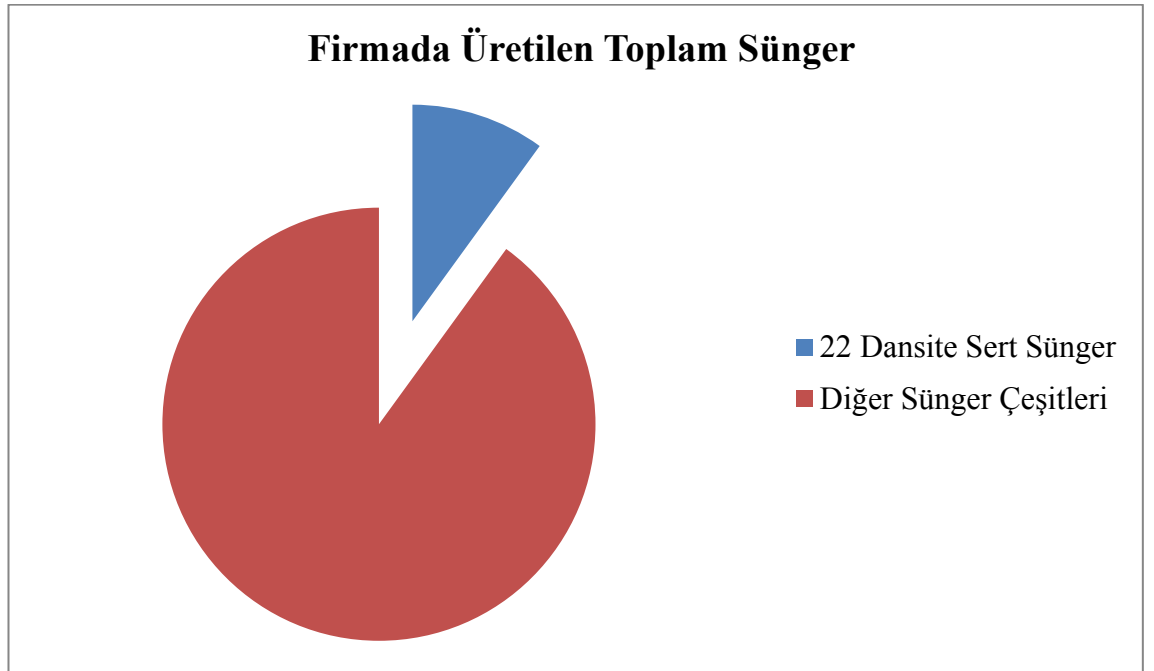
Faktör sayısı	Seviye Sayısı	Deney Sayısı	
		Tam Faktöriyel	Taguchi
3	2	8	4
7	2	128	8
15	2	32,768	16
4	3	81	9
13	3	1,594,323	27

3. BÖLÜM

UYGULAMA ÇALIŞMASI

3.1. Materyal ve Üretim Prosesi

Firmanın üretimini gerçekleştirdiği, 14 dansite ile 60 dansite aralığında yaklaşık 15 çeşit poliüretan sünger (PU) vardır. Bu uygulama çalışmasını gerçekleştirmek üzere seçilen sünger, esnek poliüretan sünger sınıfında bulunan diğer esnek süngerlere göre daha sert olarak nitelendirilen 22 dansite sert süngerdir. Bu sünger, firmada hacimsel olarak toplam üretimin %10 'una denk gelmektedir ve Şekil 3.1' deki grafikte gösterilmiştir. Sünger dansitesi, süngerin yoğunluğudur ve birimi kg/m^3 tür. Dansite ile sünger sertliği arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Düşük dansiteli bir sünger sert olabilir. Bunun tam tersi de geçerlidir. FPUF' lar Türkiye' de genel olarak 14 ile 100 kg/m^3 aralığındaki yoğunluklarda üretilirler.



Şekil 3.1. 22-dansite sert süngerin üretim hacmi

Firma sünger üretimi için otomasyon sistemini kullanmaktadır. Şekil 3.2 üzerinden sünger üretim prosesi açıklanmıştır: Üretim için ilk olarak TDI, polyol, su, amin ve kalay katalizörleri vb. poliüretan hammaddeleri hazırlanan formülasyona göre belirli miktar ve oranlarda, 1 no' lu görselde görülen galonlardan borular yardımıyla bir araya getirilir. Elde edilen bu karışım 2 no' lu görseldeki gibi, belirli bir hızda hareket eden konveyör hattına dökülür ve üretim boyunca sürekli olarak hammadde ve havayla besleme yapılır. 3 no' lu görseldeki gibi hattın ilerlemesi boyunca reaktiflerin reaksiyona girmesiyle köpük halindeki karışım katılarak bir kek gibi yükselir. Bu yöntem, daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi slabstock üretim yöntemidir, (gelişen teknolojiyi ile birlikte firmada genişliği 240 cm ve yüksekliği 130 cm olan slabstock sünger üretimi yapılabilmektedir). Ekzotermik reaksiyon tamamlandığında, 20 metrelik sünger bloğu oluşmuştur. Sünger bloğu içerisindeki CO₂' nin tamamının uzaklaşması için başka bir alanda 72 saat dinlenmeye bırakılır. Bu işleme kürlenme denir. 4 no' lu görselde, sünger üretiminde kullanılan ekipmanlar gösterilmektedir.



Şekil 3.2. 22 dansite sert sünger üretim prosesi

3.2. Yalın Altı Sigma' nın DMAIC Basamaklarıyla Optimizasyon Çalışması

Bu optimizasyon çalışması için DMAIC' in yeniden yapılandırılmış formu olan DMADV kullanılmıştır. Tanımlama (D) aşamasında, proje beyanı ve SIPOC diyagramı; Ölçme (M) aşamasında, ölçüm sistemleri analizi; Analiz (A) ve Tasarım (D) aşamasında, Taguchi deneysel tasarım tekniği ve Doğrulama (V) aşamasında ise Taguchi tekniğinin doğrulama adımı ve ek kontroller yapılmıştır.

3.2.1. DMAIC Tanımlama Aşaması

Tanımlama aşaması, problemin ve projenin daha iyi anlaşılması için yapılan ayrıntılı açıklamaları içerir. Proje beyanı problemin ne olduğu, projenin amacı, proje yapıldığı takdirde firmaya sağlayacağı kazanımları vb. açıklamada yardımcı olan tablodur. SIPOC ve proses haritası; girdi-çıkıtı, tedarikçi-müşteri ve süreç basamakları hakkında genel görünüm sunar. Diğer DMAIC aşamaları için süreci anlamada yol göstericidir.

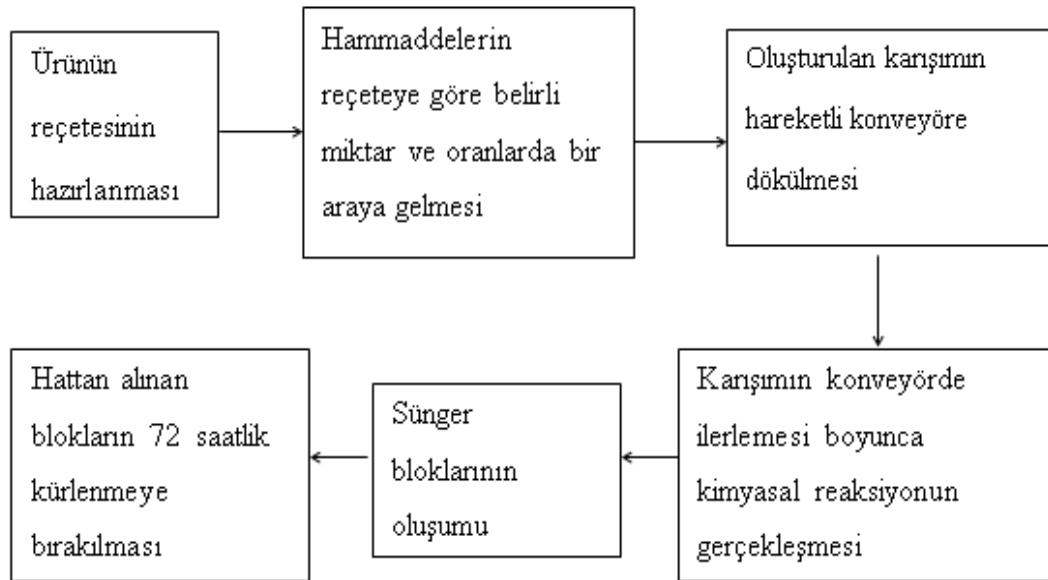
3.2.1.1. Proje Beyanı

Proje Adı	Esnek Poliüretan Süngerinin Üretiminde Proses Optimizasyonu Çalışması
Projenin Amacı	Yanıt değişkeni olan sertliğin (N) maksimum olmasını sağlamak, dolayısıyla üretim safhasından önce sisteme müdahale edilerek istemeyen ürün özelliklerinin ortaya çıkma ihtimalinin en aza indirgenmesini sağlamak
Projenin Olası Getirileri	İlgili prosesin optimizasyonu sonucunda değişkenliğin ve israfın azalması dolayısıyla, maliyetin azalması, kalitenin, verimliliğin ve hızın artması
Tespit Edilen Problem	Sünger üretim prosesinde değişkenliklerin olması ve istenilen kalite karakteristiğine ait ürünlerin istenilen zamanda üretilmemesi
Proje Tarih Aralığı	-
Proje Ekip Üyeleri	-

3.2.1.2. SIPOC Diyagramı

Tedarikçi	Girdi	Süreç	Çıktı	Müşteri
X firması Y firması Z firması	Elektrik Mikser Basıncı Polyol miktarı Su miktarı Kalay miktarı Silikon miktarı Katalizörler Mikser basıncı Hava miktarı Polyol sıcaklığı TDI sıcaklığı	SÜNGER ÜRETİMİ	22 dansite sert sünger	İç müşteri ve diğer XYZ firmaları

Proses Haritası



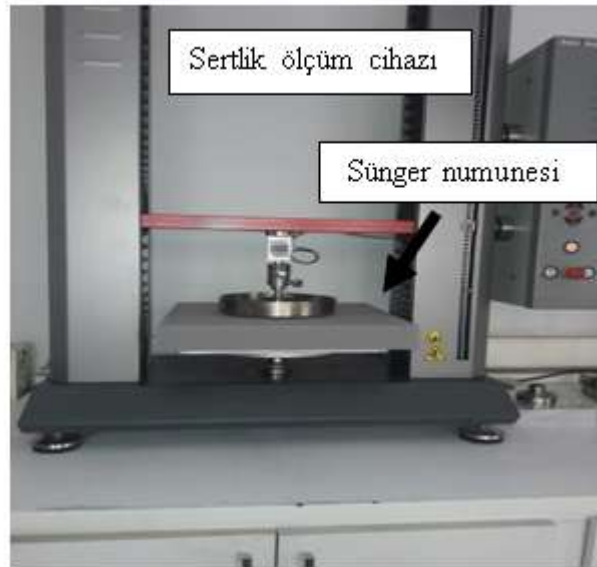
3.2.2. DMAIC Ölçme Aşaması

Ölçme aşamasında, belirlenen problem/problemler hakkında analiz yapılabilmesi ve sonuca ulaşılabilmesi için veriler toplanır. Çeşitli analizler yapılır.

3.2.2.1. Ölçüm Sistemleri Analizi

Bir iyileştirme çalışmasının anlamlı olabilmesi için kullanılan ölçüm sistemlerinin yeterli olması gerekmektedir. Bu yeterliliği belirleyebilmek için, ölçüm sistemleri analizi kullanılmaktadır.

Firmanın ISO test standardını baz alarak gerçekleştirdiği ölçümlerde; sertlik ölçüm cihazı, Şekil 3.3' teki gibi, süngerden alınan 38cm x 38cm x 5cm (en, boy, yükseklik) ebatlarındaki numuneye öncelikle %25 kadar sıkıştırma uygular ve süngerin bu sıkıştırmaya karşı newton cinsinden tepkisini ölçer. Sonra, sırasıyla %40 ve %65 için de aynı işlemi uygular. Süngerin bu uygulamaya verdiği tepki, onun sertlik değeri olarak adlandırılır. Sertlik ölçüm testleri, üretimden 72 saat sonra yapılabilir.



Şekil 3.3. Firmanın sertlik ölçüm testi

Ölçüm sistemlerinin analizini gerçekleştirmek üzere 4 adet 22 dansite sert sünger bloklarından, her bir bloktan 38 cm x 38 cm x 5 cm ebatlarında 3'er adet olmak üzere toplamda 12 parça alınmıştır. Aynı operatör tarafından her bir parça için 2 defa ölçüm testi yapılmış ve not edilmiştir. Test sonuçları Tablo 3.1' de görülmektedir.

Tablo 3.1. Parçalar için ölçüm testleri sonuçları

Parçalar	Test 1 Sertlik %40 IFD (N)	Test 2 Sertlik %40 IFD (N)
1.blok-1.parça	211	211
1.blok-2.parça	207	208
1.blok-3.parça	210	211
2.blok-1.parça	208	210
2.blok-2.parça	213	213
2.blok-3.parça	210	209
3.blok-1.parça	210	210
3.blok-2.parça	209	211
3.blok-3.parça	212	211
4.blok-1.parça	208	208
4.blok-2.parça	211	209
4.blok-3.parça	207	209

Minitab paket programı kullanılarak, bu testlerden elde edilen verilerle firmanın kullandığı alt spesifikasyon limiti 199,5 N' a göre Gage R&R istatistiksel analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4' te gösterilmektedir:

Tablo 3.2. One-Way ANOVA

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	11	55,3333	5,03030	6,03636	0,002
Repeatability	12	10,0000	0,83333		
Total	23	65,3333			

Alpha to remove interaction term = 0,05

Tablo 3.3. Variance components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,83333	28,42
Repeatability	0,83333	28,42
Part-To-Part	2,09848	71,58
Total Variation	2,93182	100,00

Lower process tolerance limit = 199,5

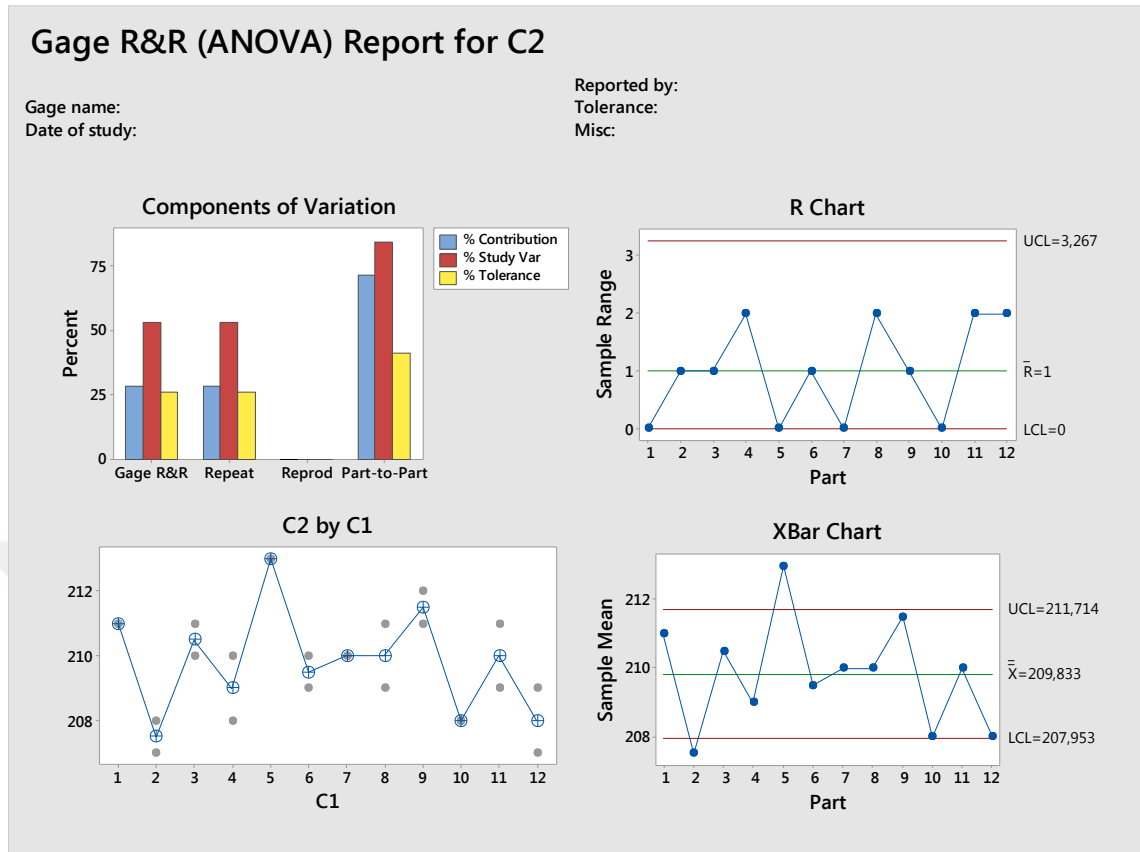
Tablo 3. 4. Gage evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,91287	5,4772	53,31	26,50
Repeatability	0,91287	5,4772	53,31	26,50
Part-To-Part	1,44861	8,6917	84,60	42,06
Total Variation	1,71226	10,2735	100,00	49,71

Number of Distinct Categories = 2

Minitab çıktısının yorumu, Tablo 3.3' te Part-to-Part %Contribution (of VarComp) değerinin (71,58) Total Gage R&R (28,42)' den büyük olması değişkenliğin büyük kısmının parça kaynaklı olduğunu gösterir. Şekil 3.4' te ilk grafikte gösterilen sütun grafiklerinden Gage R&R ve Repeat değerlerinin Part-to-Part' tan daha yüksek olması da değişkenliğin büyük kısmının parça kaynaklı olduğunu gösterir; R- chart grafiğinde operatörün 1, 5, 7, 10. parçalar için her iki ölçümde de aynı değerlerini sağladığı, en fazla sapmayı da (2 şer birimlik sapma) 4, 8, 11 ve 12. parçalarda yaptığı görülmektedir. Yine bu grafikte, değerler belirtilen kontrol sınırları içerisinde kaldığı için ölçüm kaynaklı bir hatanın olmadığı görülmektedir. Tablo 3.2' de, p değerinin $0,002 < 0,05$ olması da ölçüm kaynaklı bir hata olmadığını gösterir. Şekil 3.4' te X-Bar Chart grafiği, her parça için, yapılan bu ikişer ölçümün ortalamalarını göstermektedir; C2 by C1 ise her parça için ölçümlerin sonuçlarını ve onların ortalamalarını birlikte gösterir.

Tablo 3.4' te Total Gage R&R %Tolerance (SV/Toler) değerinin (%26,50), %30' un altında çıkması, ölçüm sisteminin yeterliliğini gösterir. Bu çalışmada parçalar, tek bir operatör tarafından ölçüldüğü için sadece repeatability (tekrar edilebilirlik) değeri gözlenmiştir.



Şekil 3.4. Gage R&R

3.2.3. DMAIC Analiz ve Tasarım Aşaması

LSS' nin bu iki aşaması çalışmada birbirlerini tamamladığı için aynı bölümde incelenmiştir.

Yöntem kısmında da belirtildiği gibi Taguchi tekniği, prosesin parametre-seviye değerlerinin optimum ayarlarını bulmayı ve neticesinde zamandan, kullanılan hammaddeden ve maliyet açısından tasarruf sağlamayı, aynı zamanda ürünü kaliteli ve müşteri tarafından talep edilen niteliklere uygun hale getirmeyi amaçlamaktadır. Taguchi yaklaşımı, bir dizi prosedürü takip ederek amacına ulaşan bir tekniktir. Bu çalışmadaki uygulama adımları sırasıyla sunulmuştur:

3.2.3.1. Faktörlerin Belirlenmesi

Sünger üretimi sürecinde kontrol edilebilen faktörler polyol, su, silikon, amin katalizörleri, kalay katalizörü, TDI Index, mikser basıncı, hava miktarı, polyol sıcaklığı ve TDI sıcaklığıdır. Kontrol edilemeyen faktörler ise ortam sıcaklığı ve ortam nemidir.

Faktörlerin belirlenmesi, beyin fırtınası yardımıyla yapılmıştır. Firmadaki mühendislerin deneyimlerine göre diğer faktörlere nazaran sünger sertliği üzerinde daha çok etkisinin olduğu düşünülen TDI Index, polyol, hava miktarı ve su seçilmiştir. Her bir faktöre analizde kolaylık sağlaması açısından belirli bir kod verilmiştir. Belirlenen faktörler, birimleriyle ve kodlarıyla Tablo 3.5' te gösterildiği gibidir.

Tablo 3.5. Faktörler ve kodları

Kod	Faktörler
A	TDI Index
B	Polyol (kg)
C	Su (kg)
D	Hava miktarı (lt/dk)

3.2.3.2. Seviyelerin Belirlenmesi

Bu çalışmanın yöntem kısmında da açıklandığı üzere, süreç parametreleri arasında doğrusal olmayan davranış söz konusu olduğu için, seçilen dört faktöre göre seviye sayısının üç olmasına karar verilmiş, seviye değerleri belirlenirken sünger formülasyonunda olması gereken değerlerin dışına çıkılmamasına özen gösterilmiştir. Bu sebeple seviyelerin değer aralıkları yakın tutulmuştur. Tablo 3.6' da belirlenen uygun faktör ve seviye kombinasyonları gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Faktör ve seviye kombinasyonları

Kod	Faktörler	Seviye-1	Seviye-2	Seviye-3
A	TDI Index	113	111	109
B	Polyol (kg)	98	100	102
C	Su (kg)	3,67	3,64	3,61
D	Hava miktarı (lt/dk)	2,65	2,7	2,75

3.2.3.3. OA Seçimi ve OA 'ya Göre Deney Tablosunun Oluşturulması

Her biri üç seviyeye sahip dört faktör için toplam serbestlik derecesi 8' dir [22]. Bu yöntemle seçilen ortogonal dizinin toplam SD değeri, deney için gereken toplam SD

değerinden büyük veya ona eşit olmalıdır [18]. Bu sebeple deneyleri gerçekleştirmek için serbestlik derecesi 8 olan bir L9 ortogonal dizinin seçilmesi uygun bulunmuştur.

Deneyleer için, Minitab istatistik paket programı kullanılarak dört faktör-üç seviye kombinasyonu için L9 ortogonal matrisi oluşturulmuş ve Tablo 3.7' de gösterildiği gibi kontrol faktörleri seviyesine atanmıştır.

Tablo 3.7. Deneylede kullanılacak faktörler ve seviyeleri

Deney No	Kontrol faktörleri ve seviyeleri			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Oluşturulan bu 9 satırlık matris, 9 adet deney yapılması gerektiğini göstermektedir. Matriste görülen 1, 2, 3 rakamları seviyeleri ifade ederken; dört sütun olması dört faktörü temsil eder.

Örneğin, 8. deney için A faktörünün 3., B faktörünün 2., C faktörünün 1., D faktörünün 3. seviyesi kullanılacak anlamına gelmektedir. OA' ya göre seviye değerleri yerlerine yazılır ve deney aşamasında kullanılacak şekilde, Tablo 3.8' deki gibi oluşturulur. Deneylelerin Taguchi ilkelerine göre daha gerçekçi sonuçlar vermesi bakımından, rassal olarak yapılmasına dikkat edilmelidir.

Tablo 3.8. Seçilen dört faktörün seviye değerleriyle birlikte gösterimi

Deneyler	Rassal Sıra	A	B	C	D
1	1	113	98	3,67	2,65
2	4	113	100	3,64	2,7
3	9	113	102	3,61	2,75
4	8	111	98	3,64	2,75
5	6	111	100	3,61	2,65
6	2	111	102	3,67	2,7
7	5	109	98	3,61	2,7
8	3	109	100	3,67	2,75
9	7	109	102	3,64	2,65

3.2.3.4. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Bu aşamada, prosesteki diğer kontrol edilebilen faktörler sabit tutularak deneyler yapılmaya başlanmış, sonuçların istatistiksel değerlendirmelerinin yapılabilmesi için 9' luk deney setleri farklı zamanlarda üç kez tekrarlanmıştır. Rassal sıra gözetilerek yapılan her bir deneyin ardından üretilen süngerlerin sertlik ölçümü yapıp, sonuçları not edilmiştir.

1, 2 ve 3. deney setleri sonucunda bulunan sertlik sonuçları, newton (N) cinsinden sırasıyla Y1, Y2 ve Y3 olarak ifade edilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 3.9' da gösterilmektedir.

Tablo 3.9. Her bir deneyin sertlik %40 IFD (N) cinsinden sonuçları

Deney No	Rassal Sıra	A	B	C	D	Y1	Y2	Y3
1	1	113	98	3,67	2,65	203	201	204
2	4	113	100	3,64	2,7	205	203	205
3	9	113	102	3,61	2,75	208	208	209
4	8	111	98	3,64	2,75	195	198	194
5	6	111	100	3,61	2,65	199	200	199
6	2	111	102	3,67	2,7	202	200	201
7	5	109	98	3,61	2,7	190	192	191
8	3	109	100	3,67	2,75	193	194	192
9	7	109	102	3,64	2,65	195	195	197

3.2.3.5. Deney Sonuçlarının Analizi

Ölçüm sonuçlarına göre, yanıt (sertlik) değişkenleri ortalaması (\bar{Y}) ve en büyük en iyi olarak tespit edilen S/N oranları, 9 deneme koşulunun her biri için hesaplanmıştır. Her deneme için hesaplanan bu değerler Tablo 3.10' da gösterilmektedir.

Tablo 3.10. Yanıt değişkenlerinin ortalaması ve S/N oranları

Deney No	Rassal Sıra	A	B	C	D	Y1	Y2	Y3	\bar{Y} (N)	S/N Oranı (dB)
1	1	113	98	3,67	2,65	203	201	204	202,66	46,13
2	4	113	100	3,64	2,7	205	203	205	204,33	46,20
3	9	113	102	3,61	2,75	208	208	209	208,33	46,37
4	8	111	98	3,64	2,75	195	198	194	195,66	45,82
5	6	111	100	3,61	2,65	199	200	199	199,33	45,99
6	2	111	102	3,67	2,7	202	200	201	201	46,06
7	5	109	98	3,61	2,7	190	192	191	191	45,62
8	3	109	100	3,67	2,75	193	194	192	193	45,71
9	7	109	102	3,64	2,65	195	195	197	195,66	45,83

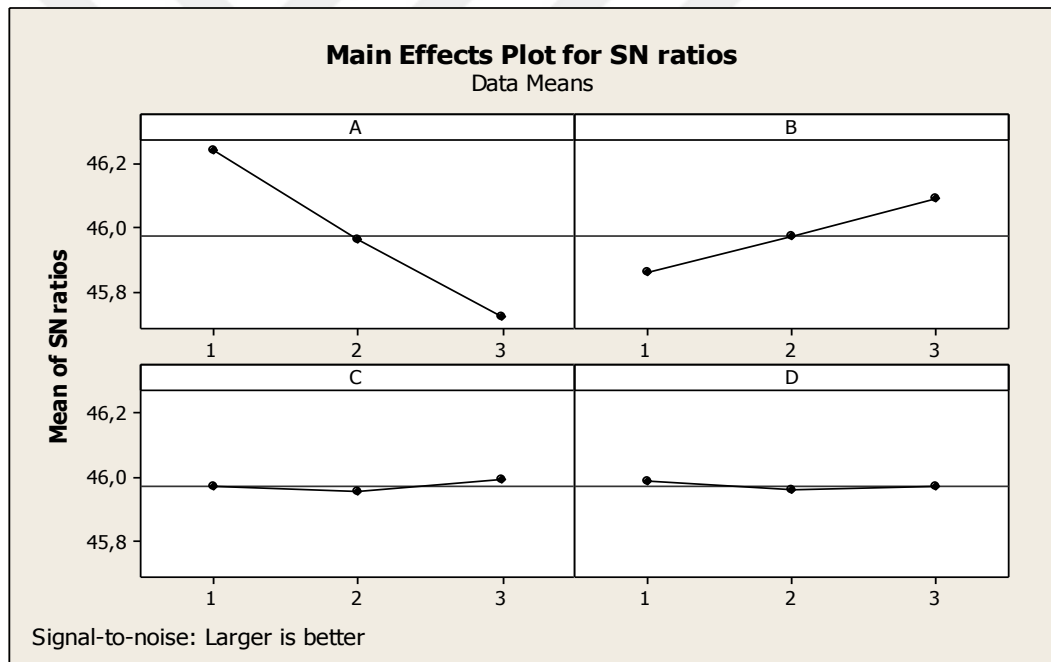
Deneyde kullanılan A, B, C, D faktörlerinin her birinin farklı düzeylerdeki analizi, sırasıyla S/N oranı için ve ortalamalar için yapılmış, yine sırasıyla Tablo 3.11 ve Tablo 3.12' de gösterilmiştir. Örneğin, su (C) faktörünün 2. seviyesindeki S/N oranı yanıtları için değeri $(46,20+45,82+45,83)/3= 45,95$ dB olarak hesaplanır, (\bar{Y}) ' lere göre ise $(204,33+195,66+195,66)/3 = 198,55$ N olarak hesaplanır. Ek. 1' de Minitab analiz sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Sinyal-gürültü oranları için yanıt tablosu (En büyük en iyi için)

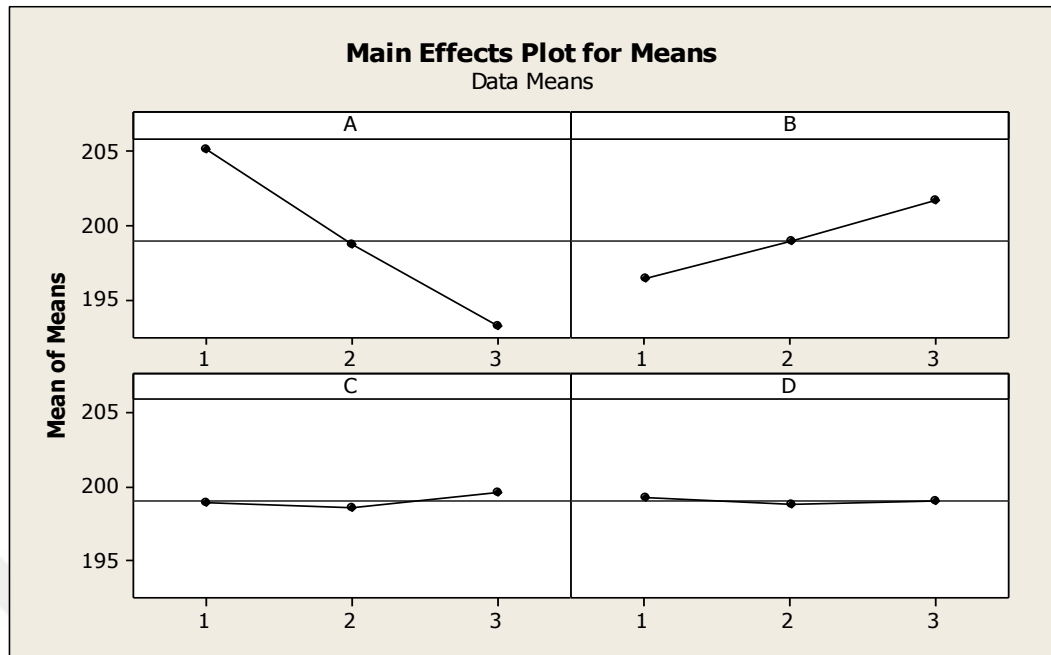
	A	B	C	D
Seviye				
1	46,238922	45,8616468	45,969924	45,985571
2	45,9615306	45,9696482	45,9553	45,963547
3	45,72045935	46,0896169	45,995688	45,971794
sütun max	46,238922	46,0896169	45,995688	45,985571
sütun min	45,72045935	45,8616468	45,9553	45,963547
delta(max-min)	0,518462649	0,22797005	0,0403875	0,022024
sıralama	1	2	3	4
Opt-Seviye	1	3	3	1

Tablo 3.12. Ortalamalar için yanıt tablosu

	A	B	C	D
Seviye				
1	205,1111111	196,4444444	198,8888889	199,2222222
2	198,6666667	198,8888889	198,5555556	198,7777778
3	193,2222222	201,6666667	199,5555556	199
sutun max	205,1111111	201,6666667	199,5555556	199,2222222
sutun min	193,2222222	196,4444444	198,5555556	198,7777778
delta(max-min)	11,88888889	5,22222222	1	0,444444444
sıralama	1	2	3	4
Opt-Seviye	1	3	3	1



Şekil 3.5. S/N oranı için ana etki grafikleri



Şekil 3.6. Ortalamalar için ana etki grafikleri

Yöntem kısmında belirtildiği gibi, ana etki grafiklerinden ulaşılan bilgiler şunlardır: A faktöründe (TDI Index) çizgi, yatay konuma en dik şekilde gelmektedir, B faktöründe (polyol), A' ya nazaran biraz daha az diktir. İki faktörün de sertlik üzerinde önemli etkiye sahip oldukları sonucuna ulaşılabilir. C (su) ve D (hava miktarı) için çizgi, yatay konuma yakın olduğundan dolayı, bu faktörlerin sertlik üzerindeki etkisi önemsizdir denebilir. Ana etki grafiklerine ve Tablo 3.11 ve Tablo 3.12' e göre sinyal/gürültü oranının ve ortalamalarının maksimumunu veren faktörler ve seviyeleri; A için 1, B için 3, C için 3 ve D için 1' dir.

Sonuç olarak, faktör-seviye değerleri TDI Index=113, Polyol=102, Su=3,61 ve Hava=2,65 olduğunda deney sonuçlarının optimum değeri verebileceği bulunmuştur. Optimum konfigürasyon A1B3C3D1 şeklindedir. A ve B faktörlerinin, C ve D faktörlerine göre nispeten yanıt değişkeni üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılabilir. Faktörlerin sünger sertliği üzerindeki etki derecelerinin bulunması için varyans analizi yapılmalıdır.

3.2.3.6. Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizi için öncelikle aşağıdaki hipotezler kurulur:

H_0 : Parametrelerin üretilen süngerlerin sertlik değerlerine etkisi bulunmamaktadır.

H₁: Parametrelerin üretilen süngerlerin sertlik değerlerine etkisi bulunmaktadır.

Minitab istatistik paket programı ile oluşturulan varyans analizi, Tablo 3.13 'te gösterildiği gibidir:

Tablo 3.13. ANOVA

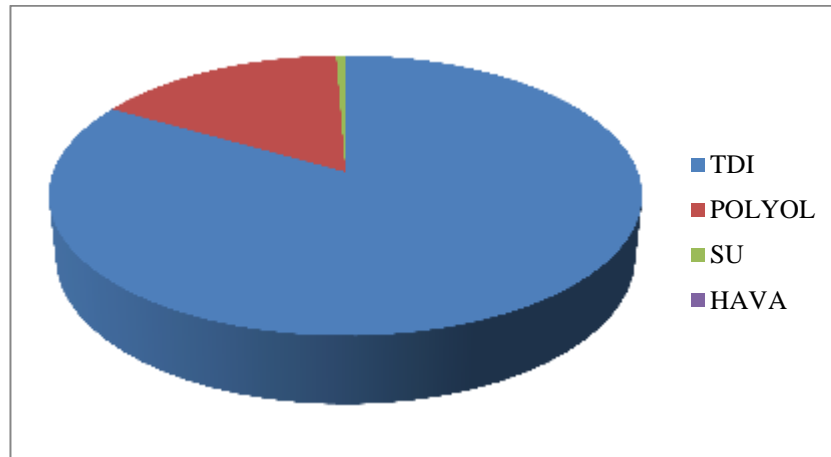
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	%cont
A	2	637,556	637,556	318,778	220,69	0,000	80,49
B	2	122,889	122,889	61,444	42,54	0,000	15,51
C	2	4,667	4,667	2,333	1,62	0,226	0,58
D	2	0,889	0,889	0,444	0,31	0,739	0,0001
Error	18	26,000	26,000	1,444			3,28
Total	26	792,000					100,00

Unusual Observations for Y

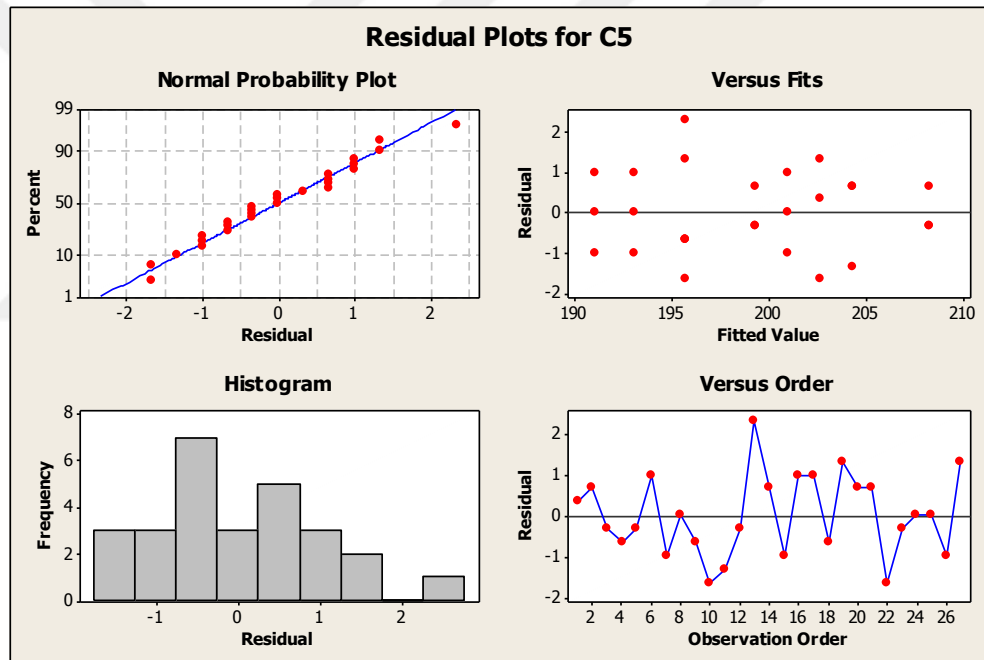
Obs	C5	Fit	SE	Fit	Residual	St	Resid
13	198,000	195,667	0,694	2,333	2,38	R	

A ve B' nin p değerlerinin (0,000), $\alpha=0,01$ ' den küçük olması nedeniyle H₀ hipotezi reddedilerek A ve B parametrelerinin 0,99 güven seviyesinde sünger sertliği üzerinde etkisi bulunmaktadır denilebilir. p değerinin 0,001 den daha düşük çıktığı durumlar çok yüksek bir istatistiksel anlamlığa işaret eder.

Varyans analizinden sonra manual olarak %cont değerleri A, B, C, D faktörleri için (Seq SS)/(toplam Seq SS)*100 formülüne göre hesaplanmıştır. Burada kalite karakteristiği üzerinde en yüksek etkiye %80' lik bir payla A faktörünün (TDI Index) sahip olduğu görünmektedir, onu B faktörü (Polyol) %15,51' lik payla takip eder. Şekil 3.7' deki grafikte faktörlerin, sertlik üzerindeki etkilerinin dereceleri gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Faktörlerin sünger sertliği üzerindeki etkileri



Şekil 3.8. Artık grafikleri

Minitab grafik yorumlanması kısmına bakarak artık tablosu içerisinde yer alan bölümler hakkında bilgilere ulaşılabilir. Burada; normal dağılım tablosunda; verilerin düz bir çizgi etrafında, çizgiyi takip ederek ilerlemesi artıkların normal dağılıma uygunluğu gösterir ve aykırı bir değer olmadığı burada görülmektedir. Versus fits tablosunda; Artık değerlerinin sabit bir varyansa sahip olduğu görülmektedir. Histogram tablosu; örneklem sayısının fazla olması bu grafiğin doğru yorumlanması ile doğru orantılıdır. Az sayıda veri ile histogram grafiğine göre normallik yorumu yapmak pek doğru değildir ve bu durumda normal dağılım grafiğine göre yorum yapılmalıdır. Versus order

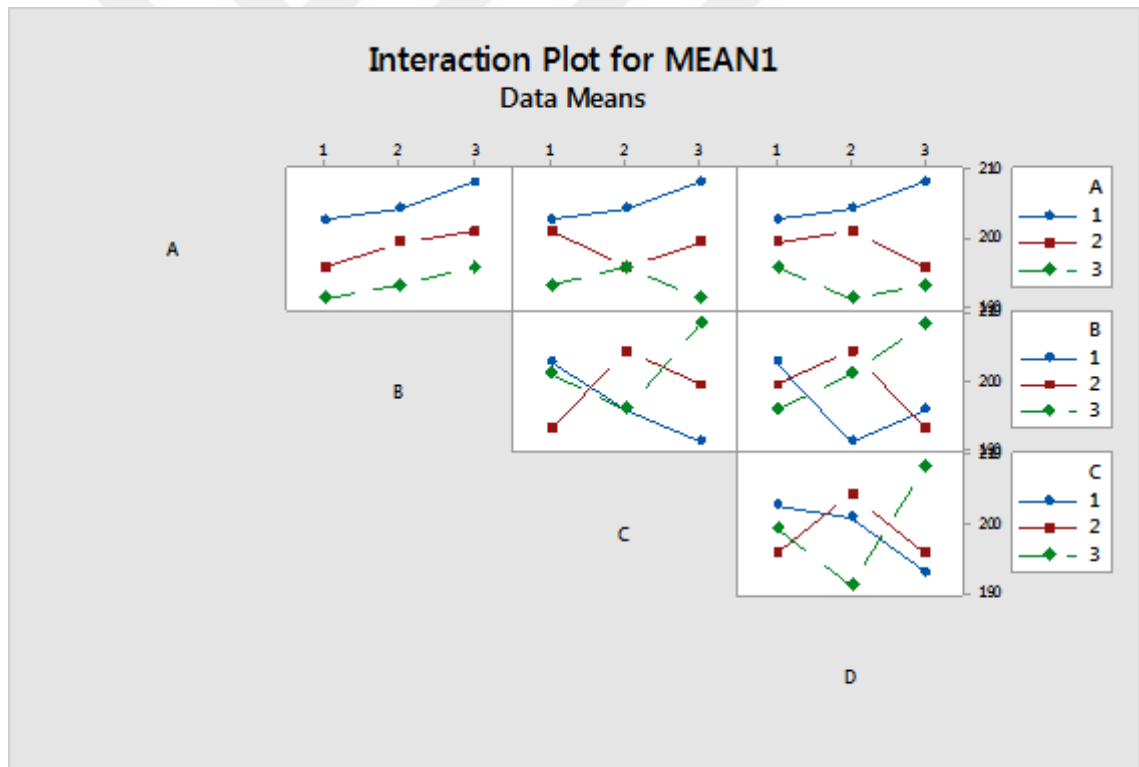
tablosunda; artıkların bağımsız olduğu görülmektedir, ancak şablonda birbirine çok yakın artıklar arasında ilişki olabileceği de dikkate alınmalıdır.

Bu uygulama çalışmasında sınırlı sayıda örneklem büyüklüğü vardır. Bu grafiklerin daha yüksek doğrulukta yorumlanabilmesi için daha yüksek bir örneklem büyüklüğü gerektiği dikkate alınmalıdır.

Grafiklerin yorumlanması önemlidir, yapılan çalışmalarla ilgili detaylı bilgi sunar.

3.2.3.7. Faktör Etkileşimlerinin Bulunması

Faktörlerin arasında etkileşim olup olmadığının bilinmemesi üreticiler için bir takım olumsuz durumlar yaratabilir. Şekil 3.9 'da etkileşim grafiği görülmektedir.



Şekil 3.9. Etkileşim grafikleri

Faktörler arasındaki etkileşim, üretici tarafından daha önceden bilinmemektedir. Minitab istatistik paket programı kullanılarak oluşturulan olası etkileşim grafikleri şu şekilde yorumlanabilir: A ile B, A ile C, A ile D arasında etkileşim önemsizdir. B ile C, B ile D, C ile D arasında daha kuvvetli etkileşim olduğu görülmektedir.

3.2.4. DMAIC Doğrulama Aşaması

Bu aşama deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesi açısından önemlidir. Doğrulama deneylerinden elde edilen yanıtların ortalaması belirlenen güven aralığı sınırları içerisinde kalırsa, deneylerin tatmin edici bir sonuç verdiği çıkarımında bulunulabilir.

3.2.4.1. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Parametrelerin optimum ayarında (optimum konfigürasyon) diğer deneyler sırasında belirtilen aynı koşullar altında, 2 adet doğrulama deneyi yapılmıştır. Doğrulama deneylerinden elde edilen sonuçlar, Tablo 3.14' te gösterilmiştir.

Tablo 3.14. Doğrulama deneyleri ve ölçüm sonuçları

Doğrulama Deney No	A	B	C	D	Sertlik %40 IFD (N)	Ortalama
1	113	102	3,61	2,65	211	210
2	113	102	3,61	2,65	209	

Doğrulama deneylerinde yanıt değişkeni olan sertliğin ortalaması 210 N olarak bulunmuştur.

3.2.4.2. Ortalamanın Tahmini

Varyans analizi kısmında da belirtildiği gibi sünger sertliği üzerinde önemli etkiye sahip parametrelerin A: TDI Index ve B: Polyol olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu parametrelerin dikkate alınarak yapıldığı sünger sertliğinin tahmini ortalaması, aşağıda formülde gösterildiği gibi hesaplanır;

\bar{T} : Deneylerdeki bütün sünger sertlik değerlerinin ortalamasıdır.

\bar{A}_1 ve \bar{B}_3 sırasıyla A' nın 1. ve B' nin 3. seviyelerindeki yanıtlarının ortalamalarıdır.

$$\mu = \bar{T} + (\bar{A}_1 - \bar{T}) + (\bar{B}_3 - \bar{T}) = \bar{A}_1 + \bar{B}_3 - \bar{T} = 205,11 + 201,67 - 199 = 207,78 \text{ N}$$

Sünger sertliğinin tahmini ortalaması 207,78 N' dur. (Bölüm 3.2.4.3' te kullanılacaktır.)

3.2.4.3 Güven Aralığının Belirlenmesi

$N=27$ (9 deneme x 3 tekrar)

Burada yanıt ortalamasının tahmini ile bağlantılı olan A ve B faktörleri vardır ve 2'şer serbestlik derecelerine sahiptir. Formülde toplamları istendiği için bu değer 4' tür.

$$n_{\text{eff}} = \frac{N}{1+(\text{Yanıt ortalamasının tahminiyle bağlantılı toplam serbestlik derecesi})}$$

$$= \frac{27}{1+(2+2)} = 5,4$$

$R = 2$ (doğrulama deneyleri için örneklem büyüklüğü)

Bu çalışmada daha önce yapılan ANOVA' nın ardından %99 güven seviyesinde pooled (havuzlanmış) ANOVA hesaplanmış ve Tablo 3.15' te gösterilmiştir.

Tablo 3.15. Pooled ANOVA (Havuzlanmış ANOVA)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	637,556	637,556	318,778	222,92	0,000
B	2	122,889	122,889	61,444	42,96	0,000
Error	22	31,556	31,556	1,43		
Total	26	792,000				

Pooled ANOVA tablosundan ulaşılan değerler şunlardır;

$V_e = 1,43$ (hata varyansı)

$f_e = 22$ (Hata serbestlik derecesi)

Daha sonra bu değerler yardımıyla standart F-dağılımı tablosundan $F_{0,01}(1, 22) = 7,95$ değeri bulunur.

Bulunan değerden sonra, güven aralıkları formüle göre aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$CI_{CE} = \sqrt{7,95 \times 1,43 \times \left[\frac{1}{5,4} + \frac{1}{2} \right]} = 2,79$$

Doğrulama deneyleri için tahmini %99 güven aralığı aşağıda gösterilmiştir:

$$207,78 - 2,79 < \text{sünger sertliği} < 207,78 + 2,79$$

$$204,99 \text{ N} < \text{sünger sertliği} < 210,57 \text{ N}$$

Doğrulama deneylerinden elde edilen ortalama değer olan 210 N, bu aralık değerleri içerisinde kalmaktadır.

Çalışmaya ek kontrol yapılması amacıyla, doğrulama deneylerinden sonra, TDI Index ve polyol' ün kullanılabilceği maksimum miktarda kullanılması ile ulaşılacak sertlik değerinin doğru orantılı olacağını teyit etmek için diğer faktörler sabit tutulmak kaydıyla bu iki faktörün ilk olarak en yüksek değerinde sonra, aşamalı olarak 0,5 er azaltılmasıyla üç deney daha yapılmış ve sertlik değerleri Tablo 3.16' da gösterilmiştir.

Tablo 3.16. Ek kontrol deneyleri

Deneyle	A	B	C	D	Sertlik %40 IFD (N)
1	115	103	3,61	2,65	220
2	114,5	102,5	3,61	2,65	216
3	114	102	3,61	2,65	213

Firmanın mevcut üretiminden alınan farklı tarihlerdeki 20 adet sünger üretim verisinin sertlik değerleri, Tablo 3.17' deki gibidir.

Tablo 3.17. Mevcut üretim verileri

Üretim Tarihi	Sertlik %40 IFD (N)	Üretim Tarihi	Sertlik %40 IFD (N)
07.10.2017	199,07	22.05.17	201,41
09.10.2017	205,68	24.05.17	199,55
11.10.2017	217,56	25.05.17	200,66
13.10.2017	219,56	31.05.17	187,4
17.10.2017	212,06	01.06.17	190,21
18.10.2017	220,55	07.06.17	221,12
19.10.2017	200,99	10.06.17	206,21
25.10.2017	199,03	13.06.17	203,42
27.10.2017	200,74	14.06.17	195,65
30.10.2017	198,56	16.06.17	216,8

Bu verilerin ortalaması 204,81 N' dur. Doğrulama deneylerinde, sünger sertliğinin ortalama değerinin 210 N olması, yaklaşık 5 N' luk bir iyileşmeyi bildirir. Ek olarak yapılan kontrol deneylerinde, en etkili iki faktörün (A=TDI Index ve B= Polyol) sünger üretim şartlarının izin verdiği ölçüde maksimum değerleri alındığında, sünger sertlik değeri 220 N olmuştur. Bu değer ise yaklaşık 15 N' luk bir iyileştirmeyi bildirir.



4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Gage R&R ölçüm sistemleri analizi kullanılarak, ölçüm sistemlerinin yeterli olduğu tespit edilmiştir. Taguchi deneysel tasarım çalışması ile prosesin, gürültü faktörlerine karşı daha az duyarlı hale gelmesi sağlamıştır. L9 Ortogonal dizisine göre yapılan 27 (9*3) adet deney ile iyileştirme için seçilmiş olan dört faktörün (TDI Index, polyol, su, hava miktarı) hangi düzeylerinde en uygun çözümü verdiği bulunmuştur. Bu değerler: TDI Index' in 1. seviyesi (113), polyol' ün 3. seviyesi (102), suyun 3. seviyesi (3,61) ve hava miktarının 1. seviyesi (2,65)' dir. Bu konfigürasyon A1B3C3D1 şeklinde gösterilmektedir. Yapılan varyans analizi (ANOVA)' ne göre sertlik üzerindeki en etkili parametrelerin TDI Index ve polyol olduğu bulunmuştur.

Yapılan doğrulama deneylerinden elde edilen değerlerinin ortalaması olan 210 N değerinin, belirlenen güven aralığı -204,99 N ve 210,57 N- içerisinde kalması, sonuçların geçerliliğini gösterir. Ek olarak yapılan kontrol deneyleri de, TDI Index ve polyolün sertlik üzerindeki etkisini doğrular niteliktedir. Sünger sertliğinde; doğrulama deneyleri sonucunda yaklaşık 5 N' luk, ek kontrol deneyleri sonucunda yaklaşık 15 N' luk bir iyileşme gerçekleşmiştir.

Ayrıca, sert sünger sınıfında 32 dansite, 28 dansite, 18 dansite vb. olmak üzere üretim hacmi yüksek pek çok sünger mevcuttur. Çalışmanın, değişkenliğe etki eden en önemli faktörlerin TDI Index ve polyol olduğu ve üretim formülasyonunun izin verdiği ölçüde bu faktörlerin maksimum kullanımının optimum sertlik değerini vereceği sonucuna ulaşması, üreticiye diğer sert sünger sınıfındaki ürünlerin üretiminde de istenilen kalite özelliklerini yakalamada nasıl bir yol izleyeceğinin anahtarını verir. Böylelikle yapılan çalışma tek bir ürün için değil, diğer ürünler için de kapsamlı bir iyileştirme planı sunmuştur.

Kısaca, bir sünger üretim firmasında, 22 dansite sert sünger üretim prosesinin optimizasyonu sağlanmıştır. Sünger sertliğine etki eden kontrol edilebilir faktörler bulunmuştur. Çalışma, sünger sertliği üzerinde maksimum değeri verecek olan parametreler ve seviyelerin bulunması sayesinde, müşteriler tarafından daha sert bir sünger talep edildiğinde, üreticiye formülasyon ayarlaması yapması konusunda yol gösterici olmuştur.

Bu çalışmada kullanılan metotlar kendi içerisinde pek çok araç ve teknik barındırır. Yapılacak olan diğer çalışmalarda Taguchi ile benzer etkileri gösterecek olan diğer deneysel tasarım teknikleri ve DMAIC' in araçları kullanılabilir.



KAYNAKÇA

1. Lonescu, M., 2005. Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes. Rapra Technology Limited, Shawbury, 586 pp.
2. Kraitape, N.,Thongpin, C., 2016. Influence of recycled polyurethane polyol on the properties of flexible polyurethane foams. **Energy Procedia**, **89**: 186-197
3. Harikrishnan, G., Patro, T.U., Khakhar, D.V., 2006. Polyurethane foam-clay nanocomposites: nanoclays as cell openers. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, **45**: 7126-7134
4. Fan, H., 2011. Poliurethane Foams Made from Bio-based Polyols. The University of Missouri, The Degree Of Doctor Of Philosophy, Missouri, 170 pp.
5. Melo JA, Cavaco LI, 2012. Polyurethane : Properties, Structure and Applications. (Web sayfası: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=540929&lang=tr&site=ehost-live>), (Erişim Tarihi: Haziran 2019).
6. Defonseka C, 2013. Practical Guide to Flexible Polyurethane Foams. (Web sayfası: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=591457&lang=tr&site=ehost-live>), (Erişim Tarihi: Haziran 2019).
7. Nikje MMA, 2016. Recycling of Polyurethane Wastes. (Web sayfası: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=1237410&lang=tr&site=ehost-live>), (Erişim Tarihi: Haziran 2019).
8. Ferkl, P., Kršková, I., Kosek, J., 2018. Evolution of mass distribution in walls of rigid polyurethane foams. **Chemical Engineering Science**, **176**: 50-58
9. Vangronsveld, E., Berckmans, S., Spence, M., 2013. Comparison of solvent/derivatization agent systems for determination of extractable toluene diisocyanate from flexible polyurethane foam. **Oxford University Press on behalf of the British Occupational Hygiene Society**, **57** (5): 640-649
10. Zhang, X.D., Macosko, C.W., Davis, H.T., Nikolov, A.D., Wasan, D.T., 1999. Role of silicone surfactant in flexible polyurethane foam. **Journal of Colloid and Interface Science**, **215**: 270-279

11. Kattiyaboot, T., Thongpin, C., 2016. Effect of natural oil based polyols on the properties of flexible polyurethane foams blown by distilled water. **Energy Procedia, 89:** 177-185
12. Engels, H.W., Pirkl, H.- G., Albers, R., Albach, R.W., Krause, J., Hoffmann, A., Casselmann, H., Dormish, J., 2013. Polyurethanes: versatile materials and sustainable problem solvers for today's challenges. **Angewandte Chemie International Edition, 52:** 9422-9441
13. Aneja, A., 2002. Structure-Property Relationships of Flexible Polyurethane Foams. Virginia Polytechnic Institute and State University, The Degree Of Doctor Of Philosophy, Virginia, 181 pp.
14. Oosten T van, Béringuer O, Lorne A, 2011. PUR Facts: Conservation of Polyurethane Foam in Art and Design. (Web sayfası: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=766153&lang=tr&site=ehost-live>). (Erişim Tarihi: Haziran 2019).
15. Daga, R., 2014. Synthesis of Poly (3-Hydroxybutyrate) Based Crosslinker for Flexible Polyurethane Foams and Its Applications. Biomedical Engineering and Biotechnology University of Massachusetts Lowell, The Degree of Doctor of Philosophy, United States, 214 pp.
16. Moon, J., Kwak, S.B., Lee, J.Y., Kim, D., Ha, J.U., Oh, J.S., 2019. Synthesis of polyurethane foam from ultrasonically decrosslinked automotive seat cushions. **Waste Management, 85:** 557-562
17. Fernandez, S.G., 2018. Impact of the combined use of layered double hydroxides, lignin and phosphorous polyol on the fire behavior of flexible polyurethane foams. **Industrial Crops & Products, 125:** 346-359
18. Kumar, S., Kumar, P., Shan, H.S., 2008. Density optimization of slurry of coating material used in the EPC process through Taguchi's parameter design approach. **Materials and Manufacturing Processes, 23:** 719-725
19. Wang, Y., Kim, J., Song, J., 2014. Optimization of plastic injection molding process parameters for manufacturing a brake booster valve body. **Materials and Design, 56:** 313-317

20. Yang, C., Hung, S.W., 2004. Optimising the thermoforming process of polymeric foams: an approach by using the Taguchi method and the utility concept. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **24**: 353-360
21. Qasim, A., Nisar, S., Shah, A., Khalid, M.S., Sheikh, M.A., 2015. Optimization of process parameters for machining of AISI-1045 steel using Taguchi design and ANOVA. **Simulation Modelling Practice and Theory**, **59**: 36-51
22. Apparao, K.C., Birru, A.K., 2017. Optimization of die casting process based on Taguchi approach. **Materials Today: Proceedings**, **4**: 1852–1859
23. Joshaghani, A., Ramazanianpour, A.A., Ataei, O., Golroo, A., 2015. Optimizing pervious concrete pavement mixture design by using the Taguchi method. **Construction and Building Materials**, **101**: 317–325
24. Nunes, I.L., 2015. Integration of ergonomics and lean six sigma. A model proposal. **Procedia Manufacturing**, **3**: 890 – 897
25. Özçelik, T.Ö., Cinoğlu, F., 2013. Yalın felsefe ve bir otomotiv yan sanayi uygulaması. **İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, **23**: 79-101
26. Pugnaa, A., Negreaa R., Miclea, S., 2016. Using six sigma methodology to improve the assembly process in an automotive company, **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, **221**: 308 – 316
27. Whitters, C., 2019. Process Improvement Using Lean and Six Sigma to Support Priority Mail Package Delivery. George Washington University, The Degree Of Doctor, Washington, 94 pp.
28. Ertürk, M., Tuerdi, M., Wujiabudula, A., 2016. The effects of six sigma approach on business performance: A study of white goods (home appliances) sector in Turkey, **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, **229**: 444 – 452
29. Jeroen, M., Lokkerbol, J., 2012. An analysis of the six sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. **Int. J. Production Economics**, **139**: 604–614

30. Yang, K., El-Haik, B., 2008. Design for Six Sigma : Roadmap to Product Development. McGraw-Hill, 2nd Edition, 624 pp.
31. Anmasad, A., 2004. Six Sigma Design Through Process Optimization Using Robust Design Method. Concordia University, The Degree Of Master, Montreal, Quebec, Canada, 125 pp.
32. Taghizadegan, S, 2006. Essentials of Lean Six Sigma. (Web sayfası: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=166934&lang=tr&site=ehost-live>), (Erişim Tarihi: Haziran 2019).
33. Lawless, T., 2016. The Impact of Perceived Leader Efficacy Differences on Successful Lean Six Sigma Implementation in Manufacturing. Northcentral University, The Degree Of Doctor Of Philosophy, Arizona, 107 pp.
34. Erdil, N.O., Aktas, C.B., Omid, M.A., 2018. Embedding sustainability in lean six Sigma efforts. **Journal of Cleaner Production**, **198**: 520-529
35. Antony, J. 2003. Design of Experiments for Engineers and Scientists. (Web sayfası: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=104796&lang=tr&site=ehost-live>), (Erişim Tarihi: Haziran 2019).
36. Madhavi, S.K., Sreeramulu, D., Venkatesh, M., 2017. Evaluation of optimum turning process of process parameters using DOE and PCA Taguchi method. **Materials Today: Proceedings**, **4**: 1937–1946
37. Hadi, M.N.S., Farhan, N.A., Sheikh, M.N., 2017. Design of geopolymer concrete with GGBFS at ambient curing condition using Taguchi method. **Construction and Building Materials**, **140**: 424–431
38. Taguchi, G., Crowdhury, S., Wu, Y., 2005. Taguchi's Quality Engineering Handbook. John Wiley & Sons, Inc.. New Jersey. 1662 pp.
39. Zhang, F., Dear, R., 2017. Application of Taguchi method in optimising thermal comfort and cognitive performance during direct load control events. **Building and Environment**, **111**: 160-168
40. Anirban, C.M., Mukul, J., Tanushri, S., Kiranchand, G.R., 2016. Implementation of Taguchi method for robust suspension design. **Procedia Engineering**, **144**: 77 – 84

41. Krishnaiah, K., Shahabudeen, P., 2012. Applied Design of Experiments and Taguchi Methods, New Delhi, 362 pp.
42. Zhang, J.Z., Chen, J.C., Kirby, E.D., 2007. Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method. **Journal of Materials Processing Technology**, **184**: 233-239
43. Khalaj, M.J., Khoshakhlagh, A., Bahri, S., Khoeini, M., Nazerfakhari, M., 2015. Split tensile strength of slag-based geopolymer composites reinforced with steel fibers: Application of Taguchi method in evaluating the effect of production parameters and their optimum condition. **Ceramics International**, **41**: 10697-10701
44. Huang, M., Hung, Y., Yang, Z., 2016. Validation of a method using Taguchi, response surface, neural network, and genetic algorithm. **Measurement**, **94**: 284-294
45. Ahmadkhaniha, D., Sohi, M.H., Hanzaki, A.Z., Bayazid, S.M., Saba, M., 2015. Taguchi optimization of process parameters in friction stir processing of pure Mg. **Journal of Magnesium and Alloys**, **3**: 168-172
46. Gaaz, T.S., Sulong, A.B., Kadhum, A.A.H., Nassir, M.H., 2017. Absolute variation of the mechanical characteristics of halloysite reinforced polyurethane nanocomposites complemented by Taguchi and ANOVA approaches. **Results in Physics**, **7**: 3287-3300
47. Nandagopal, K., Kailasanathan, C., 2016. Analysis of mechanical properties and optimization of gas tungsten Arc welding (GTAW) parameters on dissimilar metal titanium (6Al-4V) and aluminium 7075 by Taguchi and ANOVA techniques. **Journal of Alloys and Compounds**, **682**: 503-516
48. Meena, K., Kumar, A., Pandya, S.N., 2017. Optimization of friction stir processing parameters for 60/40 brass using taguchi method. **Materials Today: Proceedings**, **4**: 1978-1987
49. Ortiz, L.A., 2009. Taguchi's Parameter Design Concept: A Cost Effective Approach to Build Quality Into a Product. Faculty of California State University Dominguez Hills, Degree Master of Science, California, 47 pp.

EKLER

EK 1.

Minitab Analiz Sonuçları

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design

L9(3**4)

Factors: 4

Runs: 9

Columns of L9(3**4) Array

1 2 3 4

Taguchi Analysis: Y1; Y2; Y3 versus A; B; C; D

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	A	B	C	D
1	46,24	45,86	45,97	45,99
2	45,96	45,97	45,96	45,96
3	45,72	46,09	46,00	45,97
Delta	0,52	0,23	0,04	0,02
Rank	1	2	3	4

Response Table for Means

Level	A	B	C	D
1	205,1	196,4	198,9	199,2
2	198,7	198,9	198,6	198,8
3	193,2	201,7	199,6	199,0
Delta	11,9	5,2	1,0	0,4
Rank	1	2	3	4

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Behice Kübra Şahin
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Medeni Durumu: Bekar
Doğum Tarihi ve Yeri: 18.01.1990 - Ankara
e-mail: behicekubra.sahin@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği	2019
Lisans	Atatürk Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği	2013
Lise	Süleyman Demirel Fen Lisesi, K. Maraş	2007

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015-2016	Vitolighting-Rainas Elektrik ve Aydınlatma San. Tic. A.Ş	Üretim Planlama Uzmanı

YABANCI DİL

İngilizce