

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

**DENEY TASARIMI YÖNTEMLERİ İLE KALİTE  
HATALARININ MİNİMİZASYONU**

**Hazırlayan  
Yusuf Ziya ÇİÇEK**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Feyza GÜRBÜZ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Şubat 2018  
KAYSERİ**

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

**DENEY TASARIMI YÖNTEMLERİ İLE KALİTE  
HATALARININ MİNİMİZASYONU**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Yusuf Ziya ÇİÇEK**

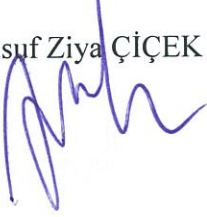
**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Feyza GÜRBÜZ**

**Şubat 2018  
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.

Yusuf Ziya ÇİÇEK



“Deney Tasarımı Yöntemleri İle Kalite Hatalarının Minimizasyonu” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Yusuf Ziya ÇİÇEK

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Feyza GÜRBÜZ

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mithat ZEYDAN

Yrd. Doç. Dr. Feyza GÜRBÜZ danışmanlığında Yusuf Ziya ÇİÇEK tarafından hazırlanan “Deney Tasarımı Yöntemleri İle Kalite Hatalarının Minimizasyonu” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

16/02/2018

**JÜRİ:**

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Feyza GÜRBÜZ

Üye : Doç. Dr. Ercan ŞENYİĞİT

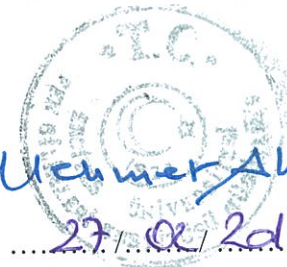
Üye : Yrd. Doç. Dr. Burcu ORALHAN





**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 27/02/2018 tarih ve 2018/10-08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince bilimsel katkılarıyla bana destek olan, sürecin verimli bir şekilde yönetilmesi hususunda yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Feyza GÜRBÜZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında ölçümler için bana yardımcı olan ekip arkadaşlarıma ve üzerimde büyük emeği olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, yöneticim ve değerli büyüğüm Hatice VURAL'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yusuf Ziya ÇİÇEK  
Kayseri, Şubat 2018

# DENEY TASARIMI YÖNTEMLERİ İLE KALİTE HATALARININ MİNİMİZASYONU

**Yusuf Ziya ÇİÇEK**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2018**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Feyza GÜRBÜZ**

## ÖZET

Üretim süreçlerinde kalite hataları, en önemli maliyet unsurlarından biridir. Katma değeri yüksek proseslerde bu maliyetler daha büyük boyutlara ulaşmaktadır. Tel çekme ve patentleme prosesleri katma değeri yüksek olan proseslerdir. Dolayısıyla, bu hataların maliyetleri de oldukça yüksektir. Kalite hatalarını azaltmak için birçok bilinen yöntem vardır. Deneysel Tasarım Metodu bunlardan biridir. Yanıt değişkenlerini öngörmek için önemli bir araç olan bu yöntem çok hızlı bir şekilde çözüm üretebilir. Bu çalışmada kalite hatalarını önceliklendirmek için pareto analizi kullanılmıştır. Çelik teller için en çok karşılaşılan hatanın mukavemet hatası olduğu ve bu hatanın toplam hataların 53%'ünü oluşturduğu görülmüştür. Çekme mukavemeti hatası bir yanıt değişkeni olarak değerlendirilmiş ve mukavemeti etkileyen 9 farklı faktör belirlenmiştir. Bu faktörler ilk önce dört farklı ürün grubu için Regresyon Analizi ile incelenmiş ve daha sonra iki aşamalı tam Faktöriyel Tasarım ve Yanıt Yüzey Metodolojisi (YYM) ile kuadratik olarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, yanıt değişkeninin faktörlerine ilişkin bir denklem elde edilmiştir. Tüm ürün grupları için en iyi çözüm YYM tarafından verilmiştir. Süreçler, yaklaşık bir yıl süreyle elde edilen bu formüller yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çelik teller için çekme mukavemeti hataları 62% oranında azaltılmıştır. Bu teorik modellerin yardımı ile hammaddelerin daha doğru ve verimli kullanılması sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deneysel Tasarım, Faktöriyel Tasarım, Yanıt Yüzey Metodolojisi, Çelik Tel.

# MINIMIZATION OF QUALITY FAULTS WITH EXPERIMENTAL DESIGN METHODS

**Yusuf Ziya ÇİÇEK**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.Sc. Thesis, February 2018**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Feyza GÜRBÜZ**

## ABSTRACT

Quality faults in production processes are one of the most important cost elements. Wire drawing and patenting processes are high added value processes. Therefore, the costs of these faults are quite high. There are many known methods for reducing quality faults. The Experimental Design Method is one of them. This method, which is an important tool for predicting response variables, can produce solutions very quickly. In this study, pareto analysis was used to prioritize quality faults. It has been seen that the most common fault for steel wires is the tensile strength fault, and these faults are found to account for 53% of total faults. Tensile strength fault was identified as a response variable and 9 different factors affecting strength were determined. These factors were first examined by Regression Analysis for four different product groups and then quadratically analyzed by two-level full Factorial Design and Response Surface Methodology (YYM). As a result of the analyzes, an equation related to the factors for the response variable was obtained. The best solution for all product groups has been given by YYM. The operations were performed with the help of these formulas, which were created for a period of about one year. Tensile strength faults for steel wires decreased by 62%. With the help of these theoretical models, more accurate and efficient use of raw materials has been achieved.

**Keywords:** Experimental Design, Factorial Desings, Response Surface Methodology, Steel Wire.



## KISALTMALAR VE SİMGELER

YYM	: Yanıt-Yüzey Metodolojisi
$R^2$	: Determinasyon katsayısı
$SS_E$	: Hata kareleri toplamı
$\hat{Y}_i$	: Beklenen yanıt değişkeni
$\bar{X}$	: Bağımsız değişkenlerin ortalaması
$\bar{Y}$	: Yanıt değişkenleri ortalaması
$SS_R$	: Regresyona bağlı karelerin toplamı
$MS_E$	: Hata kareleri ortalaması
$SS$	: Kareler toplamı
$MS$	: Kareler ortalaması
$\epsilon$	: Hata miktarı
$(\partial)$	: Faktörlerin düşük olduğu düzey
$E(y)$	: Beklenen yanıt değeri
$\eta$	: Yanıt yüzeyi
CCD	: Merkezi kompozit tasarım
MPa	: Megapascal
mm	: Milimetre

## İÇİNDEKİLER

### DENEY TASARIMI YÖNTEMLERİ İLE KALİTE HATALARININ MİNİMİZASYONU

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR .....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xii

<b>GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
--------------------	----------

#### 1. BÖLÜM

##### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

<b>1.1. Genel Bilgiler .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Literatür Çalışması .....</b>	<b>4</b>

#### 2. BÖLÜM

##### MATERYAL VE YÖNTEM

<b>2.1. Materyal .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. Deney Tasarımı.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Deney Tasarımı Yöntemleri .....</b>	<b>21</b>

<b>2.3.1. Regresyon Analizi .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.1.1. Doğrusal Regresyon Modelleri.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2. Faktöriyel Tasarım .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3. 2<sup>k</sup> Faktöriyel Tasarımlar .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.3.1. 2<sup>2</sup> Tasarım .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.3.2. Tek Tekrarlı 2<sup>k</sup> Faktöriyel Tasarımlar .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.3.3. Bloklama .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.4. Yanıt-Yüzey Tasarımı .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.4.1. En Dik Yükseliş Yöntemi .....</b>	<b>40</b>
<b>2.3.4.2. İkinci Dereceden Yanıt Yüzeyi Analizi .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.4.3. Yanıt Yüzeyi Uyumu için Deney Tasarımları .....</b>	<b>42</b>
<b>2.3.4.4. Tam Faktöriyel Tasarım ve Yanıt Yüzeyi Metodolojisi Arasındaki Farklılıklar.....</b>	<b>46</b>

### 3. BÖLÜM

#### UYGULAMA VE BULGULAR

<b>3.1. Bir Üretim İşletmesinde Uygulama .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.1. Tel Çekme ve Patentleme Prosesi.....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.2. Kalite Hataları.....</b>	<b>50</b>
<b>3.1.3. Değişkenlerin Belirlenmesi.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.4. Ölçümlerin Değerlendirilmesi .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.5. Regresyon Analizi ve Sonuçlar .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.6. Faktöriyel Tasarım ve Sonuçları.....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.7. Yanıt-Yüzey Metodolojisi ve Sonuçlar .....</b>	<b>66</b>
<b>3.2. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması .....</b>	<b>71</b>

### 3. BÖLÜM

#### TARTIŞMA – SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma – Sonuç ve Öneriler .....	76
KAYNAKLAR .....	79
EKLER.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	85

## TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Model için varyans analizi.....	24
Tablo 2.2. Faktör düzeyleri .....	25
Tablo 2.3. 2 <sup>2</sup> Tasarımlarda deneme kombinasyonları.....	28
Tablo 2.4. 2 <sup>2</sup> Faktöriyel tasarım için varyans analizi.....	29
Tablo 2.5. Örnek bir deney çalışması .....	30
Tablo 2.6. 2 <sup>k</sup> Faktöriyel tasarım örneği varyans analizi.....	34
Tablo 2.7. 2 <sup>k</sup> Tasarımlar için varyans analizi.....	35
Tablo 2.8. Üç bloklü kimyasal proses deneyi.....	37
Tablo 2.9. Üç bloklü kimyasal proses deneyi anova analizi .....	37
Tablo 2.10. Üç değişkenli Box-Behnken Tasarımı .....	44
Tablo 2.11. Merkezi kompozit tasarımda bloklama.....	45
Tablo 3.1. Faktörler için alt ve üst düzeyler.....	55
Tablo 3.2. Regresyon analizi sonuçları .....	56
Tablo 3.3. Varyans analizi sonuçları.....	57
Tablo 3.4. Dört ürün grubu için elde edilmiş olan regresyon denklemler .....	58
Tablo 3.5. Regresyon formülü doğrulama .....	59
Tablo 3.6. Beklenen etkiler ve katsayıları.....	59
Tablo 3.7. Faktöriyel tasarım için varyans analizi sonuçları .....	61
Tablo 3.8. Yanıt değişkeni için regresyon formülleri(Faktöriyel Tasarım).....	65
Tablo 3.9. L grubu ürünler için varyans analizi .....	66
Tablo 3.10. Yanıt değişkenleri için regresyon formülleri(YYM).....	68
Tablo 3.11. Yöntemlerin karşılaştırılması.....	71
Tablo 3.12. Hedef yanıt değişkeni için optimum faktör değerleri.....	74

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kangal şeklinde filmaşın hammaddesi .....	13
Şekil 2.2. Bir sistemin genel şeması .....	17
Şekil 2.3. İki faktörlü faktöriyel tasarım için faktör etkileşimleri.....	26
Şekil 2.4. Etkileşim olmayan faktöriyel tasarım (a) ve etkileşim olan faktöriyel tasarım(b) .....	27
Şekil 2.5. Parametrelere bağlı olarak yüzeyin counter plot diyagramı .....	38
Şekil 2.6. YYM modeli doğal şeması .....	40
Şekil 2.7. İlk yanıt ve en yükselen yükseliş yolu .....	41
Şekil 2.8. Tek yüzeyli merkezi kompozit tasarım(a) ve üç faktör için Box-Benheken tasarımı(b) .....	44
Şekil 2.9. Tam faktöriyel tasarım ve yanıt yüzeyi metodolojisi yaklaşımları.....	46
Şekil 3.1. Tel çekme için silindirik haddeler ile işleyiş .....	48
Şekil 3.2. Patentleme prosesi genel görünümü .....	48
Şekil 3.3. Üretim prosesleri ve bazı parametreler .....	50
Şekil 3.4. Kalite hataları için pareto analizi yaklaşımı.....	52
Şekil 3.5. Mukavemet hatası için sebep-sonuç analizi.....	53
Şekil 3.6. L grubu ürünler için dağılım grafikleri .....	56
Şekil 3.7. Faktörler için pareto grafiği .....	63
Şekil 3.8. Faktör etkileri grafiği .....	64
Şekil 3.9. Karbon ve Hammadde Çapı etkileşimi için yanıt yüzeyi grafiği.....	69
Şekil 3.10. Faktörler için ana etkiler diyagramı .....	70
Şekil 3.11. K ürünü için yanıt optimizasyonu yaklaşımı .....	72
Şekil 3.12. L ürünü yanıt optimizasyonu yaklaşımı.....	73
Şekil 3.13. M ürünü için yanıt optimizasyonu yaklaşımı .....	74
Şekil 3.14. N ürünü için yanıt optimizasyonu yaklaşımı .....	74
Şekil 4.1. Yıllara göre hata miktarları .....	78

## GİRİŞ

Üretim sektöründe her geçen gün artan maliyetler ve rekabet, mevcut kaynakların en etkin şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Rekabet koşullarına uyum sağlayabilmek için minimum düzeyde girdi(kaynak) kullanarak maksimum düzeyde ve yüksek kalitede çıktı(ürün) elde etmek üretim süreçlerinin en önemli hedefi durumundadır. Dolayısıyla bu hedefleri gerçekleştirmek üzere çeşitli üretim geliştirme yöntemleri, verimlilik ve kalite iyileştirme çalışmaları gibi birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları ise; istatistiksel kalite geliştirme yöntemleri, iş ve metot etütleri, simülasyon teknikleri ve çeşitli optimizasyon teknikleri kullanılarak üretim süreçlerinde oluşacak kaynak kayıplarını en aza indirmek için geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilen yöntemlerdir. Bu çalışmada ise kalite hataları ve bu hataların en aza indirilmesi üzerinde durulmuştur.

Süreç tipi fark etmeksizin hataları azaltmanın en iyi yolunun değişkenliği azaltmak olduğu karşılaşılan problemler ve alınan önlemler ile tecrübe edilmiştir. Bir süreçte değişkenliği azaltmak için doğru ve yeterli sayıda ölçüm almak ve bu ölçümlerden yola çıkarak değişkenlerin tepkilerini ölçmek en önemli anahtar noktalardan bir tanesidir. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçebiliyor olmak kurulan modelin çıktısına veya çıktılarına doğru ve etkin bir şekilde hükmetme imkânı sağladığı görülmüştür.

Bir süreç içerisinde değişkenlik kabul edilebilir toleranslar içerisinde olsa bile yapılacak çalışmalar ile minimum düzeye indirilmelidir. Bu sayede süreçlerin yeterlilikleri artarak daha fazla güven oluşturacak ve maliyetlerin azalmasına katkı sağlayacaktır.

Kalite kavramının birçok tanımı olduğu bilinmektedir. Günümüzde en çok bilineni ise müşteri odaklı yaklaşım ve müşteri beklentilerinin zamanında ve istenilen düzeyde karşılanması şeklinde ifade edilebilir. Müşteri beklentilerinin sadece ürün kalitesi değil,

zamanında üretim, satış sonrası hizmetler, teknik destek gibi birçok konuyu içerdği gözlemlenmiştir.

Toplam kalite yönetimi felsefesi ile önemli bir boyut kazanan kalite anlayışı günümüzde Endüstri 4.0 gibi yeni çağ modelleri ile her geçen gün kendini yenilemektedir. Devrim niteliğinde olan Endüstri 4.0 döneminin ürün, kalite ve termin konularında rekabetin artışında önemli rol oynadığı gözlemlenmektedir. Hızla gelişen bilim ve teknoloji dalları rekabet şartlarına uyum sağlayabilmek için günümüz şartlarında kar amacı güden firmalar için zorunlu hale gelmiştir [1].

Bu çalışmada gelişen istatistiksel yöntemlerin ve bilgisayar programlarının da yardımı ile müşteri memnuniyetine hem kalite hem de maliyet açısından katkı sağlamak üzere ürün kalitesi iyileştirme çalışması yapılmıştır. Endüstriyel çelik tel üretimi yapan bir firmada 4 farklı ürün grubu için karşılaşılan kalite kusurları İstatistiksel Proses Kontrol yöntemleri ile tespit edilmiştir. En çok karşılaşılan hata tespit edilerek bu hatayı asgari düzeylere indirmek için deney tasarımı yöntemlerine başvurulmuştur. Deney sonuçları Minitab 16 programında incelenmiş olup hatayı etkileyen parametrelerin çoklu ilişki denklemleri kurulmuştur. Oluşturulan bu denklemlerin üretimde uygulanması ile birlikte önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemlerin önemli derecede hatalı ürün miktarını azalttığı ve maliyetleri düşürdüğü tespit edilmiştir.

Literatürde deney tasarımları ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Ancak bu çalışma birden çok deney tasarımı yönteminin aynı konular üzerinde uygulanması ve bu yöntemlerin çözüm yeteneklerinin karşılaştırılmasına fırsat sunmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde sektörel bir takım genel bilgilere ve literatür çalışmasına değinilmiştir. İkinci bölümde kullanılan materyal ve yöntemlere değinilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde yapılan uygulama ve uygulama sonuçları belirtilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Dördüncü bölümde ise literatüre sağlanan katkılar ve sonuçlar ile ilgili önerilerden bahsedilmiştir.



# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 1.1. Genel Bilgiler

Demir - Çelik sektörü ülkemizde ve dünyada ekonomik krizlere rağmen her geçen gün büyümektedir. Birçok kullanım alanına sahip olan çelik ve çelik alaşımları birçok sektöre önemli katkılar sağlamaktadır. Küresel ölçüde çelik tüketiminin büyük çoğunluğu inşaat sektöründe gerçekleştiği bilinmektedir. Kullanım yerine göre çelik konstrüksiyonlar, çelik kütükler, yapı elemanları, teller, halatlar vb. şekilleri değişmektedir. Çelik tel ve çelik halat sektörü de bu alanlara hizmet eden önemli bir sektördür. İnşaat, madencilik, taşımacılık, otomotiv gibi sektörlerde aktif olarak kullanılan çelik teller ve halatlar hayatımız bir parçası haline gelmiştir. Dolayısıyla her geçen gün kalite beklentisinin yükseldiği de gözlemlenmiştir. Bu kalite beklentisini sağlamak için üretim süreçlerinde kalite iyileştirme çalışmaları vazgeçilmez bir hal almıştır. Bu kapsamda birçok firma sektörde rekabet edebilmek için kaynaklarını etkin yönetmenin yollarını aramaya devam etmektedir.

Çelik teller ve halatların birçok ürün için hammadde veya yarı mamul görevi gördüğü bilinmektedir. Evlerde kullanılan beyaz eşyalarda, otomobillerde, asansörlerde ve daha birçok alanda kullanılan çelik teller ve çelik halatlar için maliyetleri azaltmaya yönelik yapılacak tüm çalışmaların ülke ekonomisine katkı sağlayacağı açıktır.

Çelikler tel üretim sektöründe yüksek karbonlu ve düşük karbonlu olmak üzere ikiye ayrılır. Yüksek karbonlu çelikler içerisinde 0,45% ve üzeri karbon içeren telleri, düşük karbonlu çelikler ise bu oranın altında karbon içeren çelikleri ifade eder. Türü fark

etmeksizin bu çeliklerin en büyük sorunu hurda miktarlarının fazla olması ve bu hurdaların geri dönüşümlerinin oldukça maliyetli olmasıdır.

Bu çalışmayı ise maliyetleri azaltmak ve artan beklentilere yönelik bir cevap niteliğinde değerlendirmek mümkündür. Çalışma maliyet kaynağı oluşturan bir konunun analiz edilmesi ve bu maliyeti minimize etmek üzere yapılmıştır.

## **1.2. Literatür Çalışması**

Günümüzde, bilim, mühendislik ve dolayısıyla teknolojinin başvurulan bütün alanlarda katkısının artarak devam ettiği görülmektedir. Yaptığımız bu çalışmada çelik tel sektöründe karşılaşılan kalite kusurlarına yönelik deney tasarımı yöntemlerine başvurulmuştur. Bu kapsamda daha önce yapılan çalışmaları taradığımızda birçok sektörde bu yöntemlerin başarılı ve hızlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Deney tasarımı, ilk kez 1920’li yıllarda tarım alanında Ronald Fisher tarafından kullanılmıştır. Fisher verimliliği artırmak için tarımsal faaliyetlerin daha doğru ve daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini hedeflemiştir. Tarımda kullanılan ilaçlar, sulama yöntemleri ve diğer parametreler üzerinde çalışarak en uygun şartları araştırmış ve başarılı sonuçlar elde etmiştir. Birçok faktörün nihai sonuca etkisi araştırılarak süreçlerin daha verimli çalışması sağlanmıştır. Bu yöntem daha sonra farklı sektörlerde de uygulanmış ve yine başarılı sonuçlar elde edilmiştir. 1980’li yıllarda Japonya’da Genichi Taguchi tarafından özellikle imalat süreçlerinde başarılı sonuçlar elde edilmiş ve yöntemin dünya çapında tanınması sağlanmıştır. Sonraki yıllarda da birçok çalışmada önemli sonuçlar elde edilen bu yöntemleri iyi bir problem çözücü olarak tanımlamak mümkündür [2].

Deney tasarımları 1950’li yıllardan sonra George Box ve K.B. Wilson tarafından geliştirilerek Yanıt Yüzeyi Metodolojisini geliştirmişlerdir. Bu yöntemin diğer tasarım metotlarından farkı ise bağımlı değişkenin hızlı bir şekilde gözlemlenebilmesi ve daha az sayıda verilerle daha güvenilir sonuçlar elde etmektir. Yanıtların oluşturduğu yüzeyde en iyi noktayı ya da noktaları arayarak optimum veya optimuma yakın sonuçların kolay bir şekilde elde edilmesini amaçlamaktadır [3, 26].

Akman ve Özkan [4] sac imalatında karşılaşılan yapışma problemine deney tasarımı yöntemi ile çözüm aramışlardır. Çalışma düşük karbonlu yassı çelik üretimi yapan bir firmada gerçekleştirilmiştir. Üretimde yeni kullanıma alınan bir tavlama fırınında sacların sarım yapıldığında birbirine yapıştığı ve dolayısıyla ürünlerin çeşitli deformasyonlara maruz kaldığı görülmüştür. Kalite hataları ve dolayısıyla hurdalar oluştuğu gözlemlenmiştir. Problemi azaltmak veya tamamıyla ortadan kaldırmak için süreçler incelenerek problemin oluşmasına neden olan üç adet faktör tespit edilmiştir. Sonuç olarak en uygun üretim parametrelerini elde etmek üzere kalite, süreç ve tasarım gibi birçok alanda kullanılan deney tasarımı yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada parametreler ayrı ayrı ve ikili etkileşimler şeklinde incelenmiştir. Üç faktörden ikisinin anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Parametreler etkileşim olmadan ayrı incelendiğinde  $R^2$  değerinin yaklaşık 82% olduğu görülmüştür. İkili etkileşimler çoklu regresyon modeline dahil edildiğinde  $R^2$  değerinin yaklaşık 98% olduğu görülmüştür. Ancak Anova analizi sonuçları dikkate alındığında ikili etkileşimlerin dahil edildiği modelde  $R^2$  değerinin daha yüksek olmasına rağmen p-anlamlılık değerinin daha düşük olduğu görülmüştür. İkili etkileşimlerin istatistiksel olarak kayda değer olmadığı görülmüştür. Bu yüzden ikili etkileşimler oluşturulan regresyon denkleminde dahil edilmemiştir. Bu kaynak bu tür çalışmalarda sadece determinasyon katsayısını kullanmanın yeterli olmadığını anlamımıza yardımcı olmaktadır.

Baynal ve Terzi [5] alüminyum kablo üretim sürecinde çekme mukavemeti, iletkenlik ve uzama gibi kalite parametrelerinin arzu edilen düzeyde elde edilmesini sağlamayı amaçlamıştır. Çalışmada deney tasarımı tekniği olan Taguchi yöntemine başvurulmuştur. Her faktör için iki seviye belirlenerek, çözüm için L8 dizayn matrisine başvurulmuştur. Kalite iyileştirmesi için regresyon doğruları oluşturulmuş ve en iyi faktör seviye kombinasyonunu elde etmek üzere hedef programlamaya başvurulmuştur. Hedef programlama modelinin sonucunda çalışma için en iyi faktör seviye kombinasyonu belirlenmiştir. Hedef programlama ile daha doğru ve hızlı sonuç alındığı görülmüştür.

Savaşkan vd. [6] matkap uçlarında performans optimizasyonu için deney tasarımı yöntemini kullanmıştır. Optimum düzeye ulaşabilmek için üç önemli faktör olan kaplama türü, kesme hızı ve ilerleme hızının performansa olan etkileri Taguchi Deney Tasarımı tekniği yardımı ile incelenmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde varyans analizi ve sinyal-gürültü oranı kullanılmış, deneyler ise 3 seviye ve 3 faktörlü Taguchi

$L_9$  dik düzenine göre yapılarak, Tam faktöriyel deney tasarımında gereken deney sayısının sadece üçte biri ile (27 yerine 9 deney) hedeflenen sonuçların elde edilmesi mümkün olmuştur. Her üç faktöründe performansa etkilerinin anlamlı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak elde edilen performans artışları parametrelerin optimizasyonu ve matkap uçlarının ömrünün artırılmasına ve dolayısıyla maliyetlere ve kaliteye kayda değer katkılar sağladığı görülmüştür.

Wasmer vd. [7] kristal işleme süreci için, taşlama-tesviye işlemini incelemiş ve modellemiştir. Tekerlek hız, ilerleme hızı, dikey ilerleme, ultrasonik yardım ve kristalografik yön parametreleri deney tasarımları yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Yanıtlar süreç, makine ve taşlama kalitesi olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Çalışmada parametreler arasında etkileşimler olduğu tahmin edilerek öncelikle iki seviyeli kesirli faktöriyel tasarım veya  $2^k$  faktöriyel tasarım seçilmiştir. Wasmer ve arkadaşları taşlama kalitesinde hangi faktörlerin daha etkili olduğunu tespit etmek üzere 31 faktör ortaya koyarak bu faktörleri deney tasarımları yardımıyla incelemişlerdir. 31 faktörün tümünü göz önünde bulundurmak iki dezavantaja sahiptir.

Birincisi, iki seviyeli tam faktöriyel tasarım, iki milyarın üzerinde testi gerektiren  $2^{31}$  tasarımıdır. İkincisi, modelin bu kadar çok parametreyle son derece karmaşık olacağı ve kayda değer olan parametrelerin tam olarak değerlendirilememesi sorununun ortaya çıkacağını belirtmişlerdir. Dolayısıyla çalışmada en önemli olduğu düşünülen yalnızca beş parametre dikkate alınmıştır. Ana eğilimleri tahmin etmek için 12 aşamalı Plackett ve Burman dizaynı kullanılarak tarama deneyleri yapılmıştır. Deneylerde iki düzeyli kesirli faktöriyel tasarıma başvurulmuştur. Belirlenen bu parametreler arasında etkileşimler olduğu görülmüş ve etkileşimlerin de dikkate alınması gerektiği görülmüştür. Taşlama kuvvetleri üzerinde üç ana parametrenin en büyük etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Bu parametreler ise tekerlek hızı, besleme hızı ve dikey besleme faktörleri olarak belirtilmiştir. Sonuç olarak taşlama prosesinde yüzey kalitesini etkileyen parametreler için optimum değerler belirlenmiş ve belirlenmiş olan bu değerler formülize edilerek aynı zamanda proses esnasında da gözlemlenmiştir. Oldukça iyi sonuçlar alındığı belirtilmiştir.

Regti vd. [8] ağır metal içeren sulu çözeltilerde emilimi optimize etmek için incelenmek üzere dört farklı parametre belirlenmiştir. Çözeltinin başlangıç pH'sı, konsantrasyon,

sıcaklık ve adsorban dozajı olarak belirlenen bu parametreler iki seviye (+ 1 ve - 1) üzerinde araştırılmıştır. Sıcaklık, pH, başlangıç konsantrasyonu ve adsorban dozajı arasındaki etkileşimleri incelemek üzere  $2^4$  faktöriyel tasarım kullanmışlardır.

Farklı değişkenlerin etkilerini ve bunların etkileşimlerini gösteren bir doğrusal matematiksel model elde edilmiştir. Operasyonel parametreler arasındaki etkileri ve etkileşim etkilerini incelemek için ana etken, artıkların normal olasılık grafiği, varyans analizi (ANOVA), yüzey grafikleri ve kontur grafikleri kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen doğrusal matematiksel model sayesinde parametrelere bağlı olarak emilim optimizasyonu sağlanmıştır.

Pandey vd. [9] yüksek sıcaklığa dayanıklı paslanmaz çelik plakalar için yüzey kalitesini etkileyen faktörleri ortaya koyarak bu faktörlerin optimum parametrelerini belirlemek üzere tam faktöriyel tasarıma başvurmuşlardır. Gelişmiş talaşlı imalat tekniği elektrokimyasal işleme yöntemi ile tanecikler plakaların üzerinden koparılır ve elektrolit tarafından taşınarak uzaklaştırılmak suretiyle pürüzsüz yüzeyler elde edilir. Metaller üzerinde basınç ve kuvvet oluşturmadan istenen şeklin elde edilmesi amaçlanmıştır. Girdi parametrelerinin malzeme kaldırma ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, tam faktöriyel tasarım ( $3^2$ ) deneyleri kullanılarak araştırılmıştır. Kullanılan elektrolitin akış hızı ve besleme hızı şeklinde iki faktör belirlenmiştir. Akış hızının ve besleme hızının artmasıyla çözünen taneciklerin iş parçasından kolay ve hızlı uzaklaştığı görülmüş ve akış hızının yüzey kalitesinde önemli bir parametre olduğu ve dikkate alınması gerektiği görülmüştür.

García vd. [10] çeşitli oranlarda kireç ve çimento ile hazırlanan duvar harçlarının kırılma davranışlarını incelemiştir. Su / Bağlayıcı oranını değiştirerek, harçların taze ve sertleştirilmiş haldeki özellikleri incelenmiş, yoğunluk, tıkalı hava, su emme ve basınç dayanımı gibi faktörlerin kırılma özelliğine etkisi Yanıt Yüzey Metodolojisi (YYM) ile incelenmiştir. Birçok harç kombinasyonu incelenmiş kırılma direncini artıran parametreler ortaya atılmıştır. Cüruf içeriği, bağlayıcı içeriği ve yaşın kırılma direncine etkisi, merkezi kompozit tasarım kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, siyah cürufli harç karışımlarının, beyaz cürufli karışımlara göre, daha yüksek kırılma direnci sağladığı görülmüştür. Başka bir ifadeyle yüksek miktarda çimento içeren beyaz cürufli harçların kırılma dirençlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

Beyaz cüruf yerine yüksek miktarda kireç ilavesinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Gunaraj vd. [11] farklı çap ve uzunluklarda boruların imalatında metal birleştirmek için yaygın olarak kullanılan tozaltı kaynak metodu ve kaliteye etkilerini araştırmışlardır. Tozaltı kaynak metodu ile boru üretiminde karşılaşılan başlıca problem, istenilen kaynak-boncuk kalitesinin elde edilememesi olarak tanımlanmıştır. Problemi çözmek için deneylerin YYM'ne başvurulmuştur. YYM, matematiksel modellerin planlanması, iletimi, yürütülmesi ve geliştirilmesi için tam bir replikasyon ile dört faktörlü, beş seviyeli merkezi kompozit döndürülebilir tasarım matrisi oluşturulmuştur. Bunlar sadece kaynak boncuk kalitesini tahmin etmek için değil aynı zamanda istenilen kalite ve proses optimizasyonunu elde etmek için optimum proses parametrelerini seçmek için de kullanılmıştır. Açık devre voltajı, tel besleme hızı, kaynak hızı ve uç gerilimi arasındaki önemli girdi değişkenleri ile ilgili kontur grafikleri çizilerek çözümler aranmıştır. Kaynak kalitesi, donatı, genişlik ve seyreltme yüzdesi yanıt değişkenleri olarak alınmıştır. Kaynak boncuk geometrisini öngörmek ve istenilen kaynak kalitesi için optimum girdi değişkenleri kombinasyonunu seçmek amaçlanmıştır.  $2^4$  kesirli faktöriyel tasarıma başvurulmuştur. Bağımsız değişken olarak tanımlanan değişkenler bu yöntem ile analiz edildikten sonra bu yöntemin kaynak-boncuk geometrisini tahmin etmek için kullanılacak etkin bir yöntem olduğu sonucuna varılmış ve faktörlerin yanıt için oluşturduğu etkiler ortaya konularak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Paçaiová vd. [12] bakır tel üretim sürecinde yüzey hatalarını azaltmaya yönelik yaptığı çalışmada deney tasarımı yöntemlerine başvurmuştur. Müşterinin istediği seviyede haddelenmiş bakır tellerde yüzey üzerinde oluşan oksit tabakasının kalınlığını azaltmanın yollarını araştırılmıştır. Yüzey oksit tabakasının kalınlığı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu düşünülen 14 faktör belirlenmiştir. Faktörler iki seviye için incelenmiştir. Yani deney için  $2^k$  faktöriyel tasarımlara başvurulmuştur. Ancak kombinasyon sayısı ve ölçüm maliyetinden dolayı kesirli faktöriyel tasarımı yöntemi tercih edilmiştir. Deneyler için  $2^{14-9}$  kesirli faktöriyel tasarım yöntemi ile analizler yapılmıştır. Her deneyin üç kez tekrarlatılmış ve 32x3 adet ölçüm alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bakır teller üzerindeki oksit tabakasını minimum düzeye taşıyacak parametreler belirlenmiştir. Bu çalışmada kesirli faktöriyel tasarımın diğer tasarım

metotlarına göre daha az gözlem ve dolayısıyla daha az maliyet gerektirdiği görülmektedir.

Lundstedt vd. [13] çeşitli laboratuvar çalışmalarında kimyasal bileşikler üzerinde deney tasarımı yöntemleri olan faktöriyel ve kesirli faktöriyel tasarımlara başvurmuşlardır. Etkin ve doğru sonuçlar elde edebilmek için güvenilirlik düzeyleri yüksek ve normal dağılıma uygun değişkenlerin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Laboratuvar ortamında yapılan 12 farklı deney için üçer adet faktör belirlenmiştir. Deney tasarımı çalışmaları için yanıtların optimizasyonu üzerine simpleks yöntemi, merkezi kompozit tasarım ve Doehlert tasarımı gibi üç farklı optimizasyon tasarımı tartışılmıştır. Deney tasarımları yöntemleri ile elde edilen formüllerin optimizasyon teknikleri uygulamada kullanılmasının daha etkin ve doğru sonuçlar vereceği üzerinde durulmuştur. Bu üç tekniğinde anlamlı sonuçlar elde etmek için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Michaelis ve Leopold [14] prob tutma testini etkileyen faktörleri deney tasarımı yöntemi olan YYM yaklaşımı ile araştırmıştır. Azami olarak belirlenen ayrılma hızının, bekleme süresinin, temas kuvvetinin, tutkal film kalınlığının ve plastikleşme içeriğinin yapışkanlığın üzerindeki etkisini değerlendirmek için YYM tasarımı 38 kez çalıştırılmıştır. Tahmin edilenin aksine, yapışmanın artan yapışkan film kalınlığı ile değil, azalan yapışkan film kalınlığı ile arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada deney tasarımı yöntemlerinin tecrübeler ile elde edilen yorumlamaları devre dışı bırakarak sayısal ilişkiler ile faktörleri ve faktör etkileşimlerini ifade etmenin doğru olacağı vurgulanmıştır.

Efendioğlu [15] polimer membran elektrolit yakıt hücrelerindeki hücre performansını optimize etmek için süreci etkileyen faktörler belirlenmiştir. Deney tasarım yöntemlerinden  $2^k$  Faktöriyel Tasarımı ve YYM yöntemine başvurulmuştur. Tüm faktörlerin yanıt üzerinde etkili olduğu görülmüş ve belirlenen faktörler ile süreç yeniden modellenmiştir.

Collins vd. [18] koruyucu tıp sürecinde bilimini ilerletmek için, müdahale bileşenleri setinin bireysel ve kombine etkilerinin anlaşılması açısından önemlidir. Faktöriyel tasarım, en verimli ve uygun parametreleri belirlemek için müdahale biliminde yaygın olarak kullanılan diğer deneysel tasarımlarla kıyaslanmıştır. Faktörlü tasarımlar, veriler doğru analiz edildiğinde deneysel konuların çok verimli bir şekilde kullanılmasını

sağlar şeklinde yorumlanmıştır. Bir faktöriyel deneyin, deneysel koşul başına nispeten daha az parametresi olsa bile, mükemmel istatistiksel gücü olabilir ve çok bileşenli bir müdahaleye dahil edilmek üzere bileşenleri seçmek için araştırma yaparken etkileşimlerden kaçınmak yerine incelenmelidir sonucuna varılmıştır. Ayrıca en iyi deney tasarımı yönteminin kaynak perspektifine bakılarak belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Çünkü deneyler zaman zaman oldukça maliyetli olabilmektedir.

Vasandani vd. [20] önemli derecede ilgi gören çevresel enerji toplama, taşınabilir elektronik cihazlar ve kablosuz sensör ağları için potansiyel bir güç kaynağı oluşturma konusunda  $2^3$  tam faktöriyel tasarım ve merkezi kompozit tasarımın bir sonucu olarak iki metamodel kurulmuşlardır. Ayrıca üzerinde çalışılan triboelektrik güç kaynağı için çıkış gerilimini etkileyen alan, boşluk ve dielektrik kalınlık gibi yapısal parametreler daha önce ayrı ayrı araştırılmış ancak etkileşim etkileri dikkate alınmamıştır. Yalnızca ana faktör etkileri analiz konusu olmuştur. Deneysel yük yoğunluğu faktörü sınır koşul olarak kullanılmıştır ve süreçler bu kapsamda simüle edilmiştir. Modeller deneysel olarak doğrulanmış ve çıktı voltajını tek adımda öngörmek mümkün hale getirilmiştir.

He ve Xie [21] Elektronik ürünler üreten bir firmada kulaklık terminalinin kalite performansını artırmak için tam faktöriyel tasarım sayesinde önemli girdi değişkenleri tespit edilmiştir. Doğrusal modellerin yeterli olmadığı gerekçesiyle YYM yöntemine başvurulmuştur. En dik yükseliş yöntemine dayanarak parametrelerin optimum noktaları tespit edilmiştir. Aynı zamanda kesirli faktöriyel tasarımlarında bu süreç deney sayısını azaltmak için kullanılabilmesi belirtilmiştir. YYM yöntemi aşamasında deneyler için merkezi kompozit tasarım kullanılmıştır. İki faktör ve yıldız noktaları yardımıyla süreç optimum parametreleri elde etmek üzere modellenmiştir.

Dhat vd. [23] ilaç üretiminde kapsülleme verimliliğini üst düzeylere çıkarmak için deney tasarımı yöntemlerine başvurmuşlardır. Proses analizi ve tasarıma göre kalite anlayışının risk yönetimini gerekli kıldığı belirtilmiştir. İstatistiksel kalite kontrol teknikleri yardımıyla kritik özellikleri etkileyen potansiyel risk faktörleri belirlenmiştir. Plackett-Burman taraması ve  $2^3$  tam faktöriyel tasarım, başarıyla kullanılmıştır.  $2^3$  tam faktöriyel tasarım için elde edilen modellerin yüksek derecede tahmin gücü olduğu vurgulanmış ve ürün optimizasyonunda etkili bir araç olarak uygulanabilirliğini doğrulamıştır.



Dos vd. [24] atık su arıtma çamurundan üretilen aktif karbonun hazırlanması ve karşılaştırılması için iki tip piroliz: konvansiyonel fırın ve mikrodalga işlemi sırasında deney tasarımı ve tepki yüzeyi metodolojisi kullanılmıştır. Süreç için, tam kesirli faktöriyel tasarım ( $2^3$ ) uygulanmıştır. Elde edilen faktörlerin ve etkileşimlerin etkisi varyans analizi ile araştırılmıştır. Kanalizasyon çamurunu başlangıç materyali olarak kullanan iki yöntem için elde edilen veriler, geleneksel piroliz, mikrodalga yardımlı üretilen pirolize tercih edilmiştir. Çünkü daha yüksek spesifik alanlara sahip olan aktif karbon üretilmiş ve modelin tutarlılığının ( $R^2$ ) daha yüksek olduğu görülmüştür.

Behjoomanesh vd. [26] petrol üretiminde kuyulardaki petrolü pompalamak üzere yapay gaz asansör sistemleri yapay gaz asansör sistemlerinin kullanıldığı ifade edilmiştir. Bu süreçte pompa gazının maliyetli olması sebebiyle gaz kaldırma verimliliği ve maliyetleri azaltmak üzere çalışılmıştır.

Gazlı asansörlü kuyu şebekesinin değerlendirilmesi için Box-Behnken deney tasarımı kullanılmış ve bu yöntemin sonuçları, tepki fonksiyonunun tipi bilinen klasik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Box-Behnken yönteminin, 15 veri ve polinomal denklemler kullanılarak %1.35'lik ortalama bir hataya neden olduğunu, matematiksel modelin, 60 deneysel veri ve polinomal denklemini kullanıldığında % 0.09'luk bir hataya yol açtığını gösteriyor. Diğer bir deyişle, basitlik ve az sayıda deney gerektiren bir gazlı asansör operasyonunda üretim oranını tahmin etmek için deneylerin tasarımını uygulamak hızlı ve temel bir yöntem olarak düşünülmüş olabilir ancak deney sayısının artması hata oranını azaltıcı bir etkiye sahiptir anlayışı ortaya atılmıştır.

Matematiksel model ile deney tasarımları karşılaştırılmış matematiksel modelin daha doğru sonuçlar verdiği doğrulanmıştır. Ancak gazla kaldırma operasyonlarının başlangıç tahmini sırasında Box-Behnken yönteminin, matematiksel modele göre pratik bir model olduğu belirtilmiştir. Bunun nedeni, bu modelin basit olması ve bu modelin yalnızca az miktarda deneysel veri gerektirmesidir.

Literatür incelendiğinde, deney tasarımları ile ilgili birçok alanda çeşitli çalışmalar yapıldığı ve önemli sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu çalışma diğer çalışmalardan farklı olarak birden fazla ürün grubunda birden fazla deney tasarımı yönteminin kullanılmasını sağlayarak yöntemlerin etkinliklerini belirlemek açısından önem arz etmektedir. Aynı zamanda çelik tel üretiminde deney tasarımı yöntemlerinin etkin bir

şekilde kullanılması açısından örnek bir çalışma niteliği taşımaktadır. Doğru seçimler yaparak kaynakların etkin bir şekilde kullanılması temelinde hazırlanan bu çalışmada üç farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler doğrusal regresyon analizi, faktöriyel tasarım ve yanıt yüzeyi metodolojisidir. Dört farklı çelik tel üretiminde mukavemet değerlerini etkileyen parametreler belirlenmiştir. Bağımlı değişkeni hesaplamaya yönelik formüller oluşturulmuştur. Bu üç farklı yönteme ait sonuçlar karşılaştırılmış, yanıt yüzeyi metodolojisinin daha az veriyle diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar yardımıyla parametrelere yönelik duyarlılık ölçümleri yapılmıştır. Bu sonuçlarla birlikte hammaddeyi doğru ve etkin kullanmayı sağlayarak kalitesizlik maliyetlerinin azalması ve verimliliğin artırılması sağlanmıştır. Süreçlerde değişkenliğin azaltılması ile birlikte maliyet kayıplarının önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Literatürde deney tasarımı yöntemleri kullanılarak daha birçok çalışma yapılmıştır. Ancak yapılan literatür taramaları sonucunda YYM ile metal sektörüne yönelik özellikle de parametre duyarlılıkları konusunda çalışmalara rastlanılmamıştır.

## 2. BÖLÜM

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 2.1. Materyal

Çelik tel üretiminde hataları azaltmak üzere yapılmış olan bu çalışmada ana çalışma konusunu kaplamalı ve kaplamasız endüstriyel çelik teller olarak tanımlamak mümkündür. Bu ürünler için temel prosesler tel çekme ve patentleme prosesleridir. Yüksek katma değer sağlayan bu prosesler oldukça maliyetli hatlar olmakla birlikte üretim esnasında çelik tellerde oluşan kalite hataları yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Bu prosesler birçok parametreyi girdi olarak kullanmaktadır. Ana hammadde olarak *filmaşin* denilen sıcak haddelenerek veya döküm usulü ile yapılan, genellikle dairesel bir kesiti olan, soğuk çekme için kullanılan kangal halindeki metal çubuklar kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Kangal şeklinde filmaşin hammaddesi

Filmaşınlar tel üretiminde genellikle kangallar halinde Şekil 2.1.'de belirtildiği gibi tedarik edilir ve proseslerde bu şekilde kullanılır. Bu malzemeler yapısında birçok elementi barındıran bir çeşit alaşım olarak değerlendirmek mümkündür. Filmaşın alaşımı ise aşağıdaki genellikle aşağıdaki elementleri içermektedir.

**Karbon:** Çelik için temel alaşım elementidir ve filmaşınlar genellikle karbon oranlarına göre isimlendirilirler. Karbon miktarı sertlik ve dayanım için önemli bir faktördür. Karbon miktarı arttıkça malzemelerin sertlik ve dayanım oranları artar.

**Mangan:** Mekanik özellikleri iyileştirdiği için ilave element olarak kullanılır. Genel olarak sünekliği azaltmakla birlikte, çeliğin dayanımını artırır özelliğe sahiptir. Ayrıca çeliğin yüzey kalitesinde önemli payı olduğu bilinmektedir.

**Silisyum:** Malzemenin süneklik ve tokluğunu düşürmeden, dayanımı ve sertliği artıran elementtir. Alaşım içerisindeki silis miktarı arttıkça malzeme sıcaklığa karşı daha yüksek performans gösterir. Silisyum miktarı arttıkça çeliğin tane büyüklüğü ve dolayısıyla yüzeylerde istenmeyen görüntülerin ortaya çıkmasına sebep olabilir.

**Kükürt:** Çelik içerisinde istenmeyen bir elementtir çünkü kükürt miktarı yükseldikçe, süneklik ve darbe dayanımı düşeceği için şekillendirme operasyonlarında sürecin olumsuz sonuçlanmasına sebep olabilir. Alaşımın içerisine eklenen mangan ile demirle tepkimeye girmesi engellenir. Dolayısıyla kükürtün etkisi asgari düzeylere indirgenmiş olur.

**Fosfor:** Çeliğin dayanımını ve sertliği artırır. Ancak süneklik ve darbe dayanımını düşürdüğü için az olması tercih edilen elementtir.

Bu elementler proses ana girdisi olan filmaşınların yapısını oluşturmaktadır. Bu girdilerin ise birçoğu üretim süreçleri sırasında kayıt altına alınmaktadır. Kayıt altına alınan bu parametrelere uygulama bölümünde detaylı olarak değinilmiştir. Çalışmanın temel kaynakları prosesin kayıt altına alınan parametreleridir. Binlerce verinin ölçülerek kayıt altına alınmış olması önemli bir fırsat sunarak bu verilerin doğru kullanılması ile önemli sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

## 2.2. Deney Tasarımı

Deney tasarımı yöntemleri, optimizasyon, araştırma, geliştirme ve üretim gibi farklı iyileştirmeye açık konuları sistematik olarak incelemek için kullanılan araçlardır. Deneylelerin rastgele yapılmasıyla elde edilen sonuçların gerçeğe daha yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle, deneyleler için kayda değer bilgilerin elde edileceği şekilde planlama yapmak gerekmektedir [13].

Deney tasarımları, kritik süreç parametrelerinin üretim ve geliştirme süreçlerinde kritik kalite nitelikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Süreç parametrelerinin birbiriyle olan etkileşimleri ve sonuca olan etkilerini ortaya çıkarmayı amaçlamıştır [14].

Deney tasarımı, sonucu etkileyen ölçülebilir süreç parametrelerinin farklı kombinasyonlarda sistematik olarak denenmesi ile parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimlerini ve bir ürünün yahut bir sürecin sonucuna olan etkilerinin incelenmesidir. Süreçlere konu olan değişkenlerin/faktörlerin sonuca yönelik önem düzeylerinin belirlenmesi ile minimum hata ile optimum sonuçları elde etmek için kullanılmaktadır. Bir sistemin girdilerinde yapılan değişikliklerin çıktılar üzerindeki etkisinin analiz edilmesi girdilerin tepkilerinin tespit edilmesinde kullanılan bilimsel yöntemler bütünü olarak da nitelendirilebilir [15]. Bu yönüyle deney tasarımları için iyi bir veri analizi yöntemi veya yöntemleri olarak adlandırmak mümkündür.

İstatistiksel olarak tasarlanmış deneylelerin asıl basamakları şunlardır: Yanıt değişkenlerinin belirlenmesi, faktörler ve faktör seviyeleri ve verilerin istatistiksel analizidir. Deneyleler için istatistiksel tasarım tekniği optimizasyon ve modelleme için kullanılabilir. Üretim performansı ve güvenilirliği, proses kapasitesi ve verimliliği arttırmak için imalat sanayiinde geniş çapta kabul görmüş bir yöntemdir [8]. Deney tasarımlarının da diğer istatistiksel yöntemlere benzer sistematik çözüm anlayışının olduğu görülmektedir.

Deney tasarımı bir ürünün ilk üretim parametrelerini ve dolayısıyla ürünü ve süreçleri iyileştirmek, yeni ürünler tasarlamak için bilimsel süreçler açısından kritik öneme sahip bir yöntemdir. Çünkü bu yöntemlerin oldukça hızlı ve etkili çözümler sunduğu kanıtlanmıştır [3]. Bu tekniklerinin uygulanmasının temel amacı; değişkenliği azaltarak

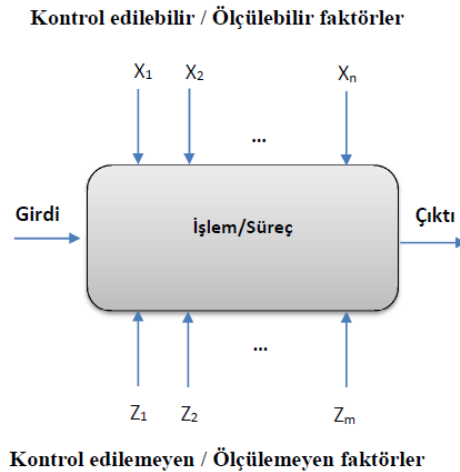
hedeflere daha kısa sürede ve daha az maliyetle ulaşmaktır. Bu sayede doğrudan ya da dolaylı olarak verimliliği ya da etkinliği artırmaktır.

Yapılan araştırmalarda Deneysel Tasarım yöntemlerinin birçok çalışmada etkin ve verimli bir şekilde kullanıldığı görülmüştür. Bu yöntemler birçok çalışmada az sayıda deney ve dolayısıyla daha az zaman harcayarak sistematik bir şekilde süreçleri incelemek için kullanılan en iyi yöntemlerden biri olduğu vurgulanmıştır.

Deneysel tasarımlarının genel olarak kullanılabileceği alanlar ve sağlayabileceği yararları göz önünde bulundurursak bu durumlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Deneysel tasarımları bir sürecin veya sistemin tasarımında iyileştirilmesinde kullanılabilir.
- Yeni bir ürün veya süreç tasarımı yapmak üzere kullanılabilir.
- Ürün veya süreçlerde ya da sistemi etkileyen bir fonksiyon hakkında know-how elde etmek üzere kullanılabilir.
- Faktörleri ya da değişkenlerin birbiriyle olan ilişkilerini sonuca olan etkilerini ölçmek üzere kullanılabilir.
- Bir sürecin güvenilirliğini ölçmek üzere ve süreci modellemek için kullanılabilir.
- Özellikle son yıllarda veri analizlerine yönelik uygulamalarda kullanılarak büyük veri yığınları arasından anlamlı sonuçlar almak üzere kullanıldığı görülmüştür.
- Ölçüm sistemi analizleri yapılabilir. Yani cihazlardaki ölçüm hatalarının belirlenmesi ve kabul edilebilirlik düzeyleri araştırılabilir.

Yukarıda belirtildiği gibi bu yöntemlerin daha birçok alanda bir sonucu optimize etmek veya parametreye bağlı değişkenliği ölçmek üzere kullanıldığı görülmüştür [15].



Şekil 2.2. Bir sistemin genel şeması [3, 16].

Her sürecin bir girdisi ve bir çıktısı vardır. Girdilerin çıktıya dönüşmesini sağlayan kontrol edilebilir yahut edilemeyen parametreleri vardır. Parametreleri tespit etmeye yönelik yapılan deneyler süreçlerin ve sistemlerin performansını incelemek için kullanılmaktadır. İşlem/Süreç Şekil 2.2.'de gösterilen modele göre temsil edilebilir. Bir süreci, kaynakların çeşitli parametreler altında ürüne veya hizmete dönüşmesi olarak tanımlamak mümkündür. Bir süreç,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  gibi ölçülebilir değişkenler ve  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$  kontrol edilemeyen yani ölçülemeyen değişkenler içerebilir [3, 16].

Etkili sonuçlar elde edebilmek için bir sürecin bütün yönüyle ele alınması gerekmektedir. Bir süreçte maksimum düzeyde ölçülebilirlik sağlanabilmesi durumunda daha etkin sonuçlar elde edilebilir. Dolayısıyla tel üretim süreçleri içinde mümkün olduğunca çok sayıda faktör ve ölçüm hedeflenmiş ve elde edilen ölçümler analiz edilmiştir.

Yapılan deneyler ile bir takım anlamlı sonuçlar elde etmek amaçlanmıştır. Bu çalışmada da aşağıdaki sonuçların ortaya çıkarılması için birçok deney yapılmış ve sonuçlar incelenerek nominale en yakın çıktı performansını sağlamak üzere faktörler formülize edilmiştir. Oldukça büyük miktarda deney verileri ile yapılan bu çalışmada doğru planlama, doğru hammadde seçimi ve kaliteli çıktı elde etmek amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. İlk olarak deney verileri incelenmiş ve sonuçlar(yanıtlar) incelenmiştir.
2. Süreci etkileyen parametrelerin/faktörlerin çıktı üzerindeki etkisi deney tasarımı yöntemleri ile ortaya çıkarılmıştır.
3. Bağımlı değişkenin beklenen nominal değerine yönelik minimum sapmayı amaçlayan x değişkelerinin düzeyleri araştırılmış ve formülize edilmiştir.
4. Kontrol edilemeyen ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ ) değişkenlerinin minimum düzeye düşürülmesi üzerinde yoğunlaşmıştır.
5. Sonuç olarak faktörlerin etkileri analiz edilerek hataları azaltmaya yönelik yeterli teknik bilgiye erişilmiştir.

Deney tasarımı yöntemleri diğer istatistiksel analiz ve bilimsel problem çözme tekniklerine benzer bir metodolojisi vardır.

1. Problemi Tanımla
2. Bağımlı değişkeni belirle
3. Faktörleri, faktör seviyelerini ve aralıklarını belirle
4. Uygun deney tasarımı metodunu seç
5. Deneyi gerçekleştir
6. Verileri istatistiksel olarak analiz et
7. Sonuçları yorumla.

Deney tasarımlarına başlamadan önce faktörleri belirlemek ve öncelik düzeyini belirlemek için çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan en etkin kullanım ise sebep-sonuç diyagramları, histogramlar ve pareto analizleridir. Bu analizlerin bağımlı değişkeni etkileyen potansiyel faktörlerin ortaya çıkarılmasında önemli yöntemler olduğu birçok çalışmada görülmüştür [3].

Deney tasarımlarında anlamlı sonuçlar elde etmek için deney şartlarının uygunluğu, deneylerin sonucu tam yansıtabilecek şekilde yapılması ve kayıt altına alınması vazgeçilmez bir zorunluluktur. Rastgele yapılan deneylerin doğru bir şekilde kayıt altına alınması ve deney sayısı arttıkça değişkenliğin daha doğru ölçülebileceği ve daha doğru sonuçlar elde edilebileceği yapılan çalışmalar ile görülmüştür.



Doğru bir şekilde tasarlanan deneylerin analizler tamamladığında aşağıdaki sonuçları ortaya çıkarması gerekir [15].

1. Parametrelerin hangilerinin anlamlı etkiler yarattığı ve sonuca nasıl bir etkisi olduğu, yani parametre duyarlılıkları,
2. Aynı anda kaç parametrenin dikkate alınması gerektiği,
3. Parametrelerin sonucu açıklama kabiliyetleri,
4. Parametre düzeylerinin etkileri gibi sonuçlar elde edilmelidir.

İstatistiksel deney tasarımları, deneysel kaynakların gereksiz yere boşa harcamamasını garanti ederek hiç fikir sahibi olunmayan bir konu hakkında yanıt üzerinde çıkarımsal sonuçlar elde etmek için kullanılır [17]. Eğer bir deney tasarımı modeli bu şartı sağlıyorsa başarılı bir model olduğunu söylemek mümkündür. Bu yapısı ile deney tasarımları ve veri analizi konularının iç içe konular olduğunu söylenebilir. Zira her iki çalışma da kaynak veri ve bu verilerden doğacak yanıtı araştırmak üzere kullanılmaktadır.

*Deney tasarımının üç temel ilkesi [3];*

**Rastgelelik**, hem deney için kullanılacak ekipmanların hem de deney süreçlerinin rastgele belirlenmesi yöntemi daha doğru sonuçlar elde etmek açısından önemlidir. Rastgelelik, bilinmeyen veya kontrol edilemeyen faktörlerin sonuca etkisini azaltarak deneyin doğruluğunun artırılmasına katkı sağlamaktadır.

**Bağımsız tekrarlar**, bağımsız tekrarlar ile istatistiksel farklılıklar ve hata oranları daha etkin bir şekilde gözlemlenebilmektedir.

**Bloklama**, bloklama ile deney tasarımında yanıtı etkileyebilecek ve doğrudan ilgilenmediğimiz ya da ölçülemeyen faktörlerin sonuca etkisini azaltmak amaçlanmaktadır.

Bir deney tasarımı probleminde, örneklem boyutunun seçilmesi kritik bir karardır. Yani çalıştırılacak tekrarların sayısının belirlenmesidir. Genel olarak, ölçüm miktarlarına bağlı olarak daha önemli sonuçlar elde etmek mümkündür. Bir analiz için en önemli husus çeşitli türde, yeteri miktarda ve doğru veriyle çalışmaktır.

Bu tanımlamalardan sonra deney tasarımlarına yönelik yukarıda ifade edilen metodolojinin detayları aşağıdaki gibi ifade edilebilir [3].

1. **Problemi Tanımla:** Bir problem pratikte oldukça belirgin görülebilir. Ancak kabul gören açık bir çözüm geliştirmek için hedeflerle ilgili tüm fikirleri sürece dahil etmek ve geliştirmek gerekmektedir. Prosesin yetkin bir ekip ile bütün olarak incelenmesi, sorunların ortaya koyulması, girdilerin ve sonucu etkileyen faktörlerin tam olarak ifade edilmesi gerekir. Problemi efektif bir şekilde tanımlamak daha kapsamlı ve daha doğru sonuçlara ulaşmak için ilk aşamadır.
2. **Bağımlı Değişkeni Belirle:** Araştırmacı bağımlı değişkeni seçerken bu değişkenin çalışmakta olan süreç hakkında gerçekten yararlı bilgiler sağladığından emin olmalıdır. Genellikle, yanıtların tanımlanması ve deney gerçekleştirilmeden önce nasıl ölçüleceği ile ilgili konuları tanımlamak önemlidir.
3. **Faktörleri, Faktör Seviyelerini ve Aralıklarını Belirle:** Deneyci, tasarım faktörlerini seçtikten sonra, sonucu en az hata ile elde etmek için bu faktörlerin aralıkları ve hangi düzeylerde çalışılacağı seçilmelidir. Özellikle deneyin ilk aşamalarında veya süreç çok olgun olmadığında, önem taşıyabilecek ve geçmiş deneyimlerden aşırı derecede etkilenmemek için tüm faktörleri araştırmak önemlidir. Genellikle az sayıda faktör seviyesi ile çalışmanın daha etkin sonuçlar verdiği görülmüştür.
4. **Uygun Deney Tasarımı Metodunu Seç:** Yukarıdaki faaliyetler yapıldıktan sonra tasarımın seçimi, örneklem büyüklüğü, deneysel çalışmalar için uygun bir çalışma düzeninin seçilmesini ve bloklama veya diğer randomizasyon kısıtlamalarının dahil edilip edilmeyeceği belirlenir. İkinci dereceden modeller genellikle optimizasyon deneylerinde kullanılır.
5. **Deneyi Gerçekleştir:** Deneyin yapılmasından önce deneyin parametrelerinin ve ölçüm sistemlerinin tutarlılıkları ve ölçüm kabiliyetlerine yönelik iyi bir planlama yapılması şarttır. İlk dört adımdan etkin bir şekilde gerçekleştirildikten

sonra yapılır. Önceki yıllarda yapılan çalışmalarda deneyi gerçekleştirmeden önce birkaç pilot çalışma yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

6. Verileri İstatistiksel Olarak Analiz Et: Birçok deneyin sonuçlarını ampirik bir modelle, yani tepki ile önemli tasarım faktörleri arasındaki ilişkiyi ifade eden verilerden elde edilen bir denklemle ifade etmek mümkündür. Bir diğer analiz yöntemi ise grafik metodudur.
7. Sonuçları Yorumla: Elde edilen formülasyonlar ya da grafik çözümleri yardımıyla güvenilirlik düzeylerinin de dikkate alınarak parametrelerin duyarlılık analizlerinin yapılabilmesi bu bölümün en önemli aşamasıdır. Burada değişkenlerin bir birimlik bir değişimde ya da alt düzey veya üst düzeylerinde sonucu nasıl etkilediği yorumlanmalıdır. Yahut faktör eklemeleri ve çıkarmaları yapılarak sonucun hangi düzeyde etkilendiğini görmek önemli sonuçlar elde edilebilmesi yönünde imkânlar sağlar.

### 2.3. Deney Tasarımı Yöntemleri

#### 2.3.1. Regresyon Analizi

Sonuçları etkileyen sebeplerin olduğu süreçlerde, arzu edilen sonuçlar elde etmek için iki veya daha fazla sebep ya da sonucun aralarında ilişkili olduğu görülmüş ve bu ilişkiyi modellemek hedeflenmiştir. Genel olarak, bağımsız değişkenler  $x_1, x_2, \dots, x_k$  ve bağımlı değişken  $y$  arasındaki ilişki, regresyon modeli adı verilen bir matematiksel model ile karakterize edilmektedir. Sadece tek bir bağımsız değişken içeren modele basit doğrusal regresyon denir. Bu modellerde bağımsız değişkenin artması veya azalması durumunda bağımlı değişken üzerinde bir değişim gerçekleşir. İşte bu değişim elde edildiği takdirde sürece yönelik bağımsız değişkenlere bağlı olarak bağımlı değişkenler kontrol altına alınabilmektedir [3].

Bir deneyde bağımsız değişkenlerden yola çıkarak bir cevabı tahmin etmek isteyebiliriz. Böylece, deneydeki yanıt değişkenini tahmin etmek için bir eşitlik elde edilir. Bu eşitlik, incelenen sürecin tahmin modeli olarak ifade edilebilir. Bu tür modelleri, regresyon analizi olarak adlandırmak mümkündür. Regresyon analizi ile deney tasarımları arasında güçlü bir etkileşim olduğu bilinmektedir [8].

### 2.3.1.1. Doğrusal Regresyon Modelleri

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \epsilon \quad (1)$$

Burada  $y$  bağımlı değişkeni temsil eder,  $x_1$  ve  $x_2$  ise bağımsız değişkenleri temsil eder. Bu ilişkiye iki bağımsız değişkenli **çoklu doğrusal regresyon modeli denir**. Bağımsız değişkenler genellikle tahminleyici değişkenler veya regresörler olarak adlandırılmaktadır. Denklem (1) bilinmeyen parametrelerin yanıtı yönelik  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  ve  $\beta_2$ 'nin doğrusal bir fonksiyonudur. Bu model, iki boyutlu  $x_1$ ,  $x_2$  uzayda bir düzlemi tanımlamaktadır.  $\beta_0$  parametresi, düzlemin kesişmesini tanımlar.  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  regresyon katsayılarıdır.  $\beta_1$ ,  $x_2$  sabit olduğu zaman  $x_1$  birim değişim başına  $y$ 'deki beklenen değişimi ölçer ve  $\beta_2$ ,  $x_1$  sabit tutulduğunda  $x_2$  birim değişim başına  $y$ 'deki beklenen değişimi ölçer [16]. Bu da regresyon analizinde duyarlılık analizinin rahatlıkla yapılabileceğini gösterir. Bir süreci etkin ve sonuç odaklı yönetmenin en iyi yolu parametrelerin duyarlılıklarını tespit etmek ve bu duyarlılıklara yönelik adımlar atmaktır.

Genel olarak, yanıt değişkeni  $y$ 'nin bağımsız değişkenler ile ilişkisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (2)$$

Model,  $k$  bağımsız değişkenli çoklu doğrusal regresyon modeli olarak adlandırılır. Parametreler  $\beta_j$ ,  $j = 0, 1, \dots, k$ , regresyon katsayıları olarak adlandırılır. Bu model, bağımsız değişkenlerin  $\{x_j\}$   $k$ -boyutlu uzayında bir hiper düzlemi tanımlamaktadır.  $\beta_j$ , parametresi, kalan tüm bağımsız değişken  $x_i$  ( $i \neq j$ ) sabit tutulduğunda,  $x_j$  birim değişim başına  $y$  cevabında beklenen değişimi temsil eder.

Denklem (2)'den daha karmaşık olan modeller hala çoklu doğrusal regresyon teknikleri ile hala analiz edilebilir. Örneğin, birinci dereceden modele iki değişkenli bir etkileşim bir etkileşim söz konusu ise

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \epsilon \quad (3)$$

$\beta_{12}$  için  $\beta_3$  ve  $x_1x_2$  için  $x_3$  olarak yazılarak analiz yapmak mümkündür [16].

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \epsilon \quad (4)$$

Regresyon katsayısı tahminlerini, en küçük kareler yöntemi ile ulaşmak için yine hata karelerinin toplamını en aza indirmek gerekmektedir. Benzer şekilde, doğrusal regresyonda olduğu gibi (Denklem 4),  $y$  ve  $x_1, x_2, \dots, x_k$  için  $n$  veri olduğu varsayılırsa, hataların karelerinin toplamı:

$$SS_E = \sum_i e_i^2 = \sum_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (5)$$

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \epsilon$$

Regresyon katsayılarını belirlemek için aşağıdaki denklem 5 ve 6 kullanılır.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} ; \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (6)$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1\bar{X} \quad b_1 = \frac{\sum_i X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum_i X_i^2 - n\bar{X}^2} \quad (7)$$

$$SS_R = \sum_i e_i^2 = \sum_i (\hat{Y}_i)^2 \quad (8)$$

Orta parantez içindeki toplam,  $SS_R$  regresyonuna bağlı karelerin toplamıdır, böylece:

$$SS_T = SS_E + SS_R \quad (9)$$

$$MS_E = \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k - 1} \quad (10)$$

$F = MS_R / MS_E$  varyans analizi için hesaplanan değer  $F$  tablosu ile karşılaştırılır. Eğer  $F$  değeri  $F_{k;(n-k-1);1-\alpha}$  değerinden büyükse sıfır hipotezi reddedilir ve diğer hipotez kabul edilir.  $F$  değeri küçükse tam tersi geçerlidir. Serbestlik derecesi için ise 10 tane parametre için istatistik olarak bir sonuca varmak için 9 tanesini bilmek yeterlidir.

Çünkü sonuncu parametrenin analizi edilmesine gerek yoktur şeklinde ifade etmek mümkündür [16].

Tablo 2.1. Model için varyans analizi [16].

Değişkenlik Kaynağı	Serbestlik derecesi	SS	MS	Test İstatistiği(F)
<b>Regresyon</b>	k	$SS_E$	$MS_R = SS_R/k$	$MS_R/MS_E$
<b>Hata</b>	n-k-1	$SS_R$	$MS_E$ $= SS_E/(n - k - 1)$	-
<b>Toplam</b>	<b>n-1</b>	$SS_T$	-	-

Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur. Eğer tek bir değişken kullanılarak analiz yapılıyorsa buna tek değişkenli regresyon, birden çok değişken kullanılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilir. Regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı, eğer ilişki var ise bunun gücü hakkında bilgi edinilebilir.

### 2.3.2. Faktöriyel Tasarım

Faktöriyel tasarımlar mühendislik çalışmalarında, daha az zamanda ve daha az maliyetlerle çalışarak verimliliği artırmak ve hedeflere ulaşmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğu deneyde, iki veya daha fazla faktörün etkilerinin incelendiği görülmüş olup kayda değer sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak, faktöriyel tasarımlar bu tür deneyler için en verimli yöntemlerdir. Bir faktöriyel tasarım ile faktörlerin seviyelerinin tüm olası kombinasyonları araştırılmaktadır. Bu kombinasyonlardan yola çıkarak cevaba yönelik en iyi kombinasyonları tespit etmek mümkündür [19].

Bir faktörün etkisi, faktörün alt ve üst düzeylerinin, bağımlı değişken üzerinde oluşturduğu değişim miktarı olarak tanımlanır. Yani faktörün duyarlılığı şeklinde

yorumlamakta mümkündür. Çalışmamız boyunca Alt düzey “-1” ve üst düzey “+1” ile gösterilecektir. Bir A faktörünün bağımlı değişken üzerindeki etkisi; A faktörün alt düzeylerinin ortalama çıktıları ile üst düzeylerinin ortalama çıktıları arasındaki farka denir [3].

Örneğin, A faktörü için alt ve üst düzeyleri için yanıt değişkeninin aşağıdaki çıktıları verdiğini kabul edersek;

Tablo 2.2. Faktör düzeyleri

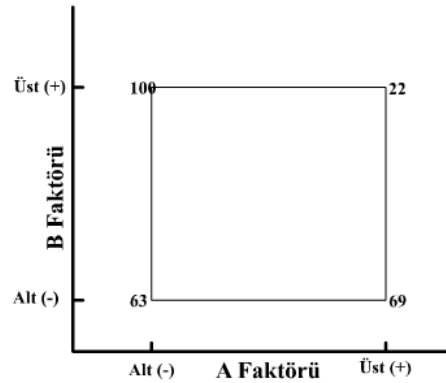
Alt Düzey	Üst Düzey
30	45
48	57
51	65

A faktörünün bağımlı değişken üzerindeki etkisi aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$Etki_A = \frac{45+57+65}{3} - \frac{30+48+51}{3} = 12,7$$

A faktörü alt düzeyden üst düzeye çıktığında bağımlı değişken üzerinde 12,7 birimlik bir artı yönlü değişim gözlemlenecektir. Bu durum iki düzeyli deneyler için gerçekleştirilir.

Bazı deneylerde, bir faktörün seviyeleri arasındaki cevaptaki farkın diğer faktörlerin tüm seviyelerinde aynı olmayabilir. Çünkü etkileşimler bu noktada önemli bir yere sahiptir. A ve B faktörü için AB etkileşimini de göz önünde bulundurmak yapılan çalışmalarda daha etkin sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Yani A faktörü artarken ya da azalırken B faktöründeki artış ya da azalış sonucu hangi yönde etkileyecektir sorusunun cevabı oldukça önemlidir.

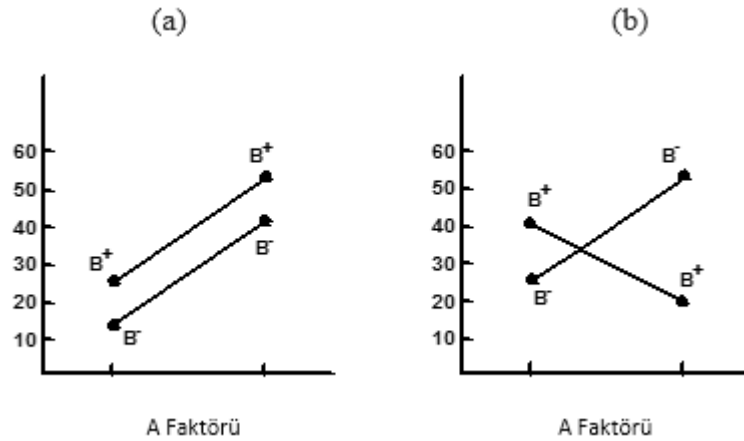


Şekil 2.3. İki faktörlü faktöriyel tasarım için faktör etkileşimleri [3].

A'nın etkisi, faktör B için seçilen seviyeye bağlı olduğundan, A ile B arasında etkileşimin olduğunu görürüz. Faktörler arasındaki etkileşimin anlamlı olup olmadığını belirleme için istatistiksel testlere başvurulabileceği gibi grafiksel yöntem de etkin olarak kullanılmaktadır. Grafiksel yöntemde A faktörünün düzeylerine karşılık B faktörünün her bir düzeyi için A ve B faktör kombinasyonlarına ait ortalamaların grafiği çizilir. Elde edilen grafik kullanılarak faktörler arasında etkileşim olup olmadığına karar verilir.

Şekil 2.4. (a)'da belirtildiği üzere A ve B faktörleri arasında B faktörünün alt ve üst düzeylerinin paralel olduğu görülmüş olup faktörler arasında bir etkileşim görülmezken Şekil 2.4. (b)'de ise faktörlerin kesiştiği gözlemlenmiş ve faktörler arasında etkileşim olduğu görülmektedir. AB etkileşim etkisinin ilk durum için istatistiksel olarak anlamlı olmadığı söylenir ve ikinci durum için ise AB etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı olduğu yorumu yapılır. Etkileşim çalışma kapsamında dikkate alınmalıdır şeklinde yorumlanır [3, 19].





Şekil 2.4. Etkileşim olmayan faktöriyel tasarım (a) ve etkileşim olan faktöriyel tasarım(b) [3].

Etkileşimi ifade etmenin en iyi yolu incelenecek faktörlerin nicel olması durumunda yahut nicel hale getirilebilir deneyler söz konusu ise regresyon modeli yaklaşımı olarak ifade edilebilir [16].

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3AB + \epsilon \quad (11)$$

Burada Y bağımlı değişkeni, A ve B, AB etkileşimi ise bağımlı değişkeni etkileyen faktörleri ifade etmektedir.  $\epsilon$  ifadesi ise rastgele daha önce de ifade edildiği gibi hata değişkeni olarak tanımlanmaktadır.

$2^k$  faktöriyel tasarımda, 2 düzey sayısını, k ise faktör sayısını gösterir.  $2^k$  faktöriyel tasarım için 2 düzey söz konusu ise,  $2^2$  faktöriyel tasarım adını alır.  $2^2$  faktöriyel tasarım her faktörün alt ve üst düzeylerinin ayrı kombinasyonları alınarak 4 farklı kombinasyon denemesinden oluşmaktadır. Yani faktör sayısı ya da düzey sayısı arttıkça kombinasyon denemesi sayısı da artacaktır. Benzer şekilde diğer durumlar için  $3^3$  faktöriyel tasarımda, toplam  $3^3 = 27$ ,  $3^k$  faktöriyel tasarımda ise toplam  $3^k$  tane deneme vardır

Deney tasarımları yöntemlerini herhangi bir probleme uygulamak için yöntemleri doğru bir şekilde seçmek gereklidir. Bunun için değişkenler arasında homojenliği en fazla sağlayan tasarım seçilmelidir [17].

### 2.3.3. $2^k$ Faktöriyel Tasarımlar

İki düzeyli ve k faktörlü faktöriyel deney tasarımlarına  $2^k$  faktöriyel tasarım ( $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ ) denir. Faktöriyel tasarımlar, faktörlerin bir yanıt üzerindeki ortak etkisini incelemek için gerekli olan birkaç faktörü içeren deneylerde yaygın şekilde kullanılır [19]. Pratikte oldukça iyi çözümleyiciler olan deney tasarımı yöntemlerinin en önemlisi olarak değerlendirilebilir.

Faktöriyel deneyler, veriler doğru analiz edildiğinde deneysel konuların çok verimli bir şekilde kullanılmasını sağladığı görülmüştür. Faktöriyel bir deney, az sayıda faktör ya da parametre olsa dahi istatistiksel gücü oldukça yüksek olabilmektedir. Ve çok faktörlü bir yapıda faktörleri seçmek için araştırma yaparken, etkileşimlerin değerlendirilmesi ve yorumlanmasında önemli bir yöntem olduğu görülmüştür [18].

$2^k$  faktöriyel tasarımlar, yanıtın optimizasyonunda yaygın olarak uygulanan güçlü ve verimli bir matematiksel yaklaşımdır. Sadece cevabı etkileyen faktörler seçilebilir [8]. İstatistiksel analiz sonuçları parametrelerin optimize edilmesi için deneysel verilerden geliştirilen modelin önemini ortaya koymuştur.

#### 2.3.3.1. $2^2$ Tasarım

$2^k$  tasarımlarındaki ilk tasarımıdır ve her biri iki seviyede çalışan yalnızca A ve B gibi iki faktöre sahiptir. Bu tasarıma  $2^2$  faktöriyel tasarım denir. Rasgele olarak yapılan deneyler kullanılır. Dört farklı kombinasyon söz konusudur. Bunlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Tablo 2.3.  $2^2$  Tasarımlarda deneme kombinasyonları [19].

Faktör		Kombinasyon
A	B	
-1	-1	A ve B alt düzeyde iken
+1	-1	A üst, B alt düzeyde iken
-1	+1	A alt, B üst düzeydeyken
+1	+1	A ve B üst düzeyde iken

A: A faktörünün etkisi

B: B faktörünün etkisi

AB: AB etkileşim etkisi

$2^2$  Dizaynlar için kombinasyonları Tablo 2.3.'deki gibi incelenebilir [3].

A faktörünün B faktörünün düşük seviyesindeki etkisi  $[a-(\partial)]/n$  ve A faktörünün B faktörünün yüksek seviyesindeki etkisi  $[ab-b]/n$ 'dir. Bu iki değer in ortalaması A faktörünün ana etkisini verir. Burada a değeri A faktörünün yüksek B faktörünün düşük olduğu durumu, b ise tam tersi durumu ifade eder.  $(\partial)$  sembolü iki faktörün düşük olduğu düzeyi, n ise tekrarların sayısını temsil etmektedir [3].

Yani bağıntı cinsinden yazacak olursak:

$$A = \frac{1}{2n} \{[ab - b] + [a - (\partial)]\}$$

$$A = \frac{1}{2n} \{ab - b + a - (\partial)\} \quad (12)$$

B faktörünün ana etkisi ise: A faktörünün düşük seviyesi için  $[b-(1)]/n$  ve A faktörünün yüksek seviyesi için  $[ab-a]/n$ 'dir.

$$B = \frac{1}{2n} \{[ab - a] + [b - (\partial)]\}$$

$$B = \frac{1}{2n} \{ab - a + b - (\partial)\} \quad (13)$$

Etkileşim etkisi ise AB etkileşimi için aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$AB = \frac{1}{2n} \{[ab - b] - [a - (\partial)]\}$$

$$AB = \frac{1}{2n} \{ab - a - b + (\partial)\} \quad (14)$$

Tablo 2.4.  $2^2$  Faktöriyel tasarım için varyans analizi [3, 16].

<b>Değişkenlik</b>	<b>f</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>Test</b>
<b>A</b>	1	$SS_A$	$MS_A$	$F_A$
<b>B</b>	1	$SS_B$	$MS_B$	$F_B$
<b>AB</b>	1	$SS_{AB}$	$MS_{AB}$	$F_{AB}$
<b>Hata</b>	$2^2(n-1)$	$SS_{Hata}$	$MS_{Hata}$	
<b>Toplam</b>	<b>N-1</b>	$SS_{Toplam}$	-	-

Hipotezleri sınamak için sırasıyla aşağıdaki test istatistikleri kullanılır.

$$F_A = MS_A / MS_{Hata}$$

$$F_B = MS_B / MS_{Hata}$$

$$F_{AB} = MS_{AB} / MS_{Hata}$$

Bu modelde  $H_0$  hipotezi altında,  $F_A$ ,  $F_B$  ve  $F_{AB}$  test istatistiklerinin her biri, 1 ve  $2^2(n-1)$  serbestlik derecesi olan F dağılımına sahiptir.

$F_A$ ,  $F_B$  ve  $F_{AB}$  test istatistiklerinin değeri,  $\alpha$  anlamlılık düzeyi için, 1 ve  $2^2(n-1)$  serbestlik dereceli F tablo değerinden daha büyükse sıfır hipotezi reddedilir. Başka bir deyişle

$$F_A > F_{\alpha;1;2^2(n-1)}$$

$$F_B > F_{\alpha;1;2^2(n-1)}$$

$$F_{AB} > F_{\alpha;1;2^2(n-1)}$$

Bu durumlar için A, B ve AB ana etkileri istatistiksel olarak anlamlıdır [3].

Bir süreçteki verimliliği artırmak için yapılan deney tasarımını aşağıdaki örnek ile açıklamak mümkündür. Tekrarlı yapılan bu deney ile amaç yanıtı maksimize etmektir.

Tablo 2.5. Örnek bir deney çalışması [3].

Faktör		Kombinasyonlar	Tekrarlar			Toplam
A	B		I	II	III	
-	-	A ve B Alt Düzey	28	25	27	80
+	-	A Üst, B Alt Düzey	36	32	32	100
-	+	A Alt, B Üst Düzey	18	19	23	60
+	+	A ve B Üst Düzey	31	30	29	90

Faktörlerin etkilerini hesaplamak için yukarıdaki tabloda verilen değerleri yerlerine yazacak olursak;

$$A = \frac{1}{2 \times 3} \{90 - 60 + 100 - 80\} = 8,33$$

$$B = \frac{1}{2 \times 3} \{90 + 60 - 100 - 80\} = -5,00$$

$$AB = \frac{1}{2 \times 3} \{90 - 100 - 60 + 80\} = 1,67$$

olarak hesaplanmıştır.

A faktörünün etkisi pozitiftir. Dolayısıyla A'nın yüksek seviyesi önerilir. B'nin Etkisi negatiftir. B'nin artırılması verimliliği düşüreceği için alt düzeyi tercih edilmelidir. Etkileşim etkisi iki temel etkiden daha küçüktür ve dolayısıyla dikkate alınmayacaktır.

Genel kareler toplamı açılımı:

$$SS_{Toplam} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (y_{ijk} - \bar{y} \dots)^2 \quad (15)$$

$$SS_{Toplam} = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_{Hata} \quad (16)$$

Genel kareler toplamları aşağıdaki şekilde bileşenlerine ayrılmaktadır.

$$SS_A = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n (\bar{y}_{i..} - \bar{y} \dots)^2 = 2n \sum_{i=1}^2 (\bar{y}_{i..} - \bar{y} \dots)^2 \quad (17)$$

$$SS_B = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n (\bar{y}_{.j.} - \bar{y} \dots)^2 = 2n \sum_{j=1}^2 (\bar{y}_{.j.} - \bar{y} \dots)^2 \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
SS_{AB} &= \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n (\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..} - (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...}))^2 \\
&= n \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 (\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..} - (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...}))^2 \quad (19)
\end{aligned}$$

$$SS_{Hata} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y}_{ij.})^2 \quad (20)$$

$$y_{i..} = \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}, \quad \bar{y}_{i..} = \frac{y_{i..}}{2n}, \quad i = 1,2 \quad (21)$$

$$y_{.j.} = \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}, \quad \bar{y}_{.j.} = \frac{y_{.j.}}{2n}, \quad i = 1,2 \quad (22)$$

$$y_{ij.} = \sum_{k=1}^n y_{ijk}, \quad \bar{y}_{ij.} = \frac{y_{ij.}}{n}, \quad i = 1,2; j = 1,2 \quad (23)$$

Olarak ifade edilmektedir. Toplam gözlem sayısı için  $N=2^2n$  sayıda toplam gözlem vardır.

$$y_{...} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}, \quad \frac{y_{...}}{N} \quad (24)$$

Denklem 23 ise sırasıyla tüm gözlemlerin toplamı ve bu gözlemlerin ortalaması olarak tanımlanır.

$2^k$  tasarımları içeren deneylerde, hangi değişkenlerin önemli olabileceğini belirlemek için faktör etkilerinin büyüklüğünü ve yönünü incelemek her zaman önemlidir. Varyans analizi genel olarak bu yorumlamayı doğrulamak için kullanılabilir (t-testleri de kullanılabilir). Etki büyüklüğü ve yönü daima ANOVA ile birlikte düşünülmelidir, zira ANOVA tek başına bu bilgiyi iletmez.  $2^k$  tasarımlarını kurmak ve analiz etmek için kullanışlı birkaç mükemmel istatistik yazılım paketi vardır [3, 19].

$$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{2^k n} \quad (25)$$

$$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{2^k n} \quad (26)$$

$$SS_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{2^k n} \quad (27)$$

Denklem 25-26 ve 27 kullanılarak kareler toplamını hesaplanabilmektedir.

$$SS_A = \frac{(50)^2}{4(3)} = 208.33$$

$$SS_B = \frac{(-30)^2}{4(3)} = 75$$

$$SS_{AB} = \frac{(10)^2}{4(3)} = 8.33$$

Toplam kareler toplamı ise aşağıdaki gibi hesaplanır. Genel kareler toplamı, A, B, AB etkileşim etkileri ve hataların kareleri toplamını verir.

$$SS_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (y_{ijk})^2 - \frac{y^2}{4n} \quad (28)$$

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E \quad (29)$$

2 faktörlü bir deney için denklem 24 dikkate alınmıştır ve buna bağlı olarak ortaya koyulan örneğe ait kareler toplamları hesaplanmıştır. Deney için aşağıdakiler sonuçlara varılmıştır.

$$SS_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (y_{ijk})^2 - \frac{y^2}{4(3)}$$

$$= 9398 - 9075 = 323$$

$$SS_E = 323 - 208,33 - 75 - 8,33$$

$$=31,34$$

Varyans analizi Tablo 2.6.'da özetlenmiştir. P anlamlılık değerlerine dayanarak, temel etkilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve bu faktörler arasında herhangi bir etkileşim olmadığı sonucuna varılmıştır. P anlamlılık değeri 0,05'ten küçük ise faktör değişken anlamlıdır yorumu yapılmaktadır.

Tablo 2.6. 2<sup>k</sup> Faktöriyel tasarım örneği varyans analizi [3].

Değişkenlik	SS	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F <sub>q</sub>	P- Değeri
<b>A</b>	208,33	1	208,33	53,15	0,0001
<b>B</b>	75,00	1	75,00	19,13	0,0024
<b>AB</b>	8,33	1	8,33	2,13	0,1826
<b>Hata</b>	31,34	8	3,92		
<b>Toplam</b>	323,00	11			

2<sup>k</sup> faktöriyel tasarımda deney sonuçlarını bir regresyon modeli olarak ifade etmek gerekirse

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \epsilon \quad (30)$$

x<sub>1</sub>, A faktörünü temsil eden değişkendir; x<sub>2</sub>, B faktörünü temsil eden değişkendir ve β ise regresyon katsayılarıdır.

Faktörler için alt düzey (-1) ve üst düzey(+1) alınır;

β<sub>0</sub> kesişim katsayısı 12 adet gözlemin ortalaması (27,5) alınmıştır ve etkiler iki düzeye sahip faktör veya faktörler söz konusu olduğu 2'ye bölünmüştür. İki düzeyli deneylerde alt ya da üst düzey söz konusu olacağı için;

$$\hat{y} = 27,5 + \frac{(8,33)}{2} x_1 + \frac{(-5)}{2} x_2$$



Elde edilen regresyon denkleminde(y)  $x_1$  ve  $x_2$  yerine çeşitli kombinasyonlarda -1 veya +1 yazarak cevap bulunabilmektedir. Bu yaklaşımı özetlemek gerekirse; ilk adım, faktör etkilerini tahmin etmek ve işaret ve büyüklüklerini incelemektir. Bu, deneyciye hangi faktörlerin ve etkileşimlerin önemli olabileceği ve yanıtın iyileştirilmesi için bu faktörlerin hangi yönde yönlendirileceği konusunda ön bilgi verir. Daha sonra 2. adımda, ana etkilerin ve etkileşimin önemini tam olarak test etmek için varyans analizi kullanılır. Tablo 2.7 ise n tekrarlamalı  $2^k$  faktöriyel tasarım için varyans analizinin genel şeklini göstermektedir.

Sonraki adımda, model önem düzeyi düşük değişkenlerin çıkarılması ile daha hassas hale getirilmelidir. Daha sonra model yeterliliği ve varsayımları kontrol edilmelidir. Son adım genelde grafik analizi veya regresyon formülleri kullanılarak etkiler veya etkileşimler analiz edilmelidir [19].

Tablo 2. 7.  $2^k$  Tasarımlar için varyans analizi [3, 19].

Değişkenlik Kaynağı	SS	Serbestlik derecesi
<b>Ana Etkiler</b>		
<b>A</b>	$SS_A$	1
<b>B</b>	$SS_B$	1
...	...	...
<b>K</b>	$SS_K$	1
<b><math>\binom{k}{2}</math> iki faktör etkileşimi</b>		
<b>AB</b>	$SS_{AB}$	1
<b>AC</b>	$SS_{AC}$	1
...	...	...
<b>JK</b>	$SS_{JK}$	1
<b><math>\binom{k}{k}</math> k faktör etkileşimi</b>		
<b>ABC... K</b>	$SS_{ABC...K}$	<b>1</b>
<b>Hata</b>	$SS_E$	<b><math>2^k(n-1)</math></b>
<b>Toplam</b>	$SS_T$	<b><math>n2^k-1</math></b>

Bu çalışmada en çok ikili etkileşimler incelenmiştir. Dolayısıyla Tablo 2.7.'de görülen varyans analizi tablosu için iki faktör etkileşimi bölümü dikkate alınmıştır.

### 2.3.3.2. Tek Tekrarlı $2^k$ Faktöriyel Tasarımlar

Çok sayıda faktör için bile  $2^k$  faktöriyel tasarımdaki toplam çözümleme kombinasyonu sayısı oldukça büyüktür. Örneğin,  $2^7$  dizayn 128 çözüm kombinasyonuna, sahiptir. Kaynakların sınırlı olması durumunda deneyci tekrarların sayısını zorunlu olarak azaltır [16]. Bu yöntem eğer deneycinin elinde yeterince ölçüm yok ise tam olarak yeterli olmamaktadır. Faktörlerin etkilerini hesaplarken hata oranlarının daha yüksek gerçekleşmesi mümkün olmaktadır. Dolayısıyla sonuçlar gözlemlenerek deney tasarımı yöntemleri seçimi ve ölçümler yeni kararlar alınmalıdır. Yani ölçüm sayısı ve çeşitliliğinde artış, kullanılan deney tasarımı yönteminde değişiklik kararları alınarak deney daha etkin bir şekilde yürütülmelidir.

### 2.3.3.3. Bloklama

Birçok durumda homojen koşullar altında  $2^k$  faktöriyel deneyde tüm işlemlerin gerçekleştirilmesi imkansızdır. Örneğin, hammaddenin tek bir partisi gerekli olan tüm işlemleri yapmak için yeterince büyük olmayabilir. Diğer durumlarda, uygulamaların karşılaştırılması muhtemel birçok durumda tedavilerin aynı derecede etkili (yani sağlam) olmasını sağlamak için kasıtlı olarak deney koşullarının değiştirilmesi istenebilir. Örneğin, bir kimya mühendisi, farklı kalite kalitelerinin farklı hammadde yığınlarının gerçek tam ölçekli proseste kullanılacağını bildiği için, bir pilot fabrika deneyini çeşitli ham madde yığınlarıyla gerçekleştirebilir [19].

$2^k$  faktöriyel tasarımın n kez tekrarlandığını varsayalım. Eğer n kez tekrar varsa, her homojen olmayan koşul kümesi bir blok tanımlanır. Tablo 2.8. hammaddelerin her partisinin bir bloğa tekabül ettiği tasarımı göstermektedir [3].

Tablo 2.8. Üç bloklu kimyasal proses deneyi [3].

	Blok 1	Blok 2	Blok 3
	(1) = 28	(1)= 25	(1)= 27
	A=36	A=32	A=32
	B=18	B=19	B=23
	AB=31	AB=30	AB=29
Blok Toplamı	B <sub>1</sub> =113	B <sub>1</sub> =106	B <sub>1</sub> =111

$$SS_{blok} = \sum_{i=1}^3 \frac{B_i^2}{4} - \frac{y^2 \dots}{12}$$

$$= \frac{(113)^2 + (106)^2 + (111)^2}{4} - \frac{(330)^2}{12}$$

$$= 6,50$$

Tablo 2.9. Üç bloklu kimyasal proses deneyi anova analizi [3].

Değişkenlik	SS	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F <sub>q</sub>	P- Değeri
<b>Bloklar</b>	6,50	2	3,25		
<b>A</b>	208,33	1	208,33	50,32	0,0004
<b>B</b>	75,00	1	75,00	18,12	0,0053
<b>AB</b>	8,33	1	8,33	2,01	0,2060
<b>Hata</b>	24,84	6	4,14		
<b>Toplam</b>	323,00	11			

Tasarımın blok halinde yapılmasıyla birlikte Tablo 2.9.'da verilen sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 2.6.'da bloklama işlemi yapılmadan elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında önemli bir farklılığın olmadığı görülmüştür.

### 2.3.4. Yanıt-Yüzey Tasarımı

Yanıt Yüzeyi Metodolojisi (YYM), yanıtları iki veya üç boyutlu bir hiper yüzey olarak etkileyen gerçek ortalama etkiler ve girdi değişkenleri arasındaki neden ve etki ilişkisini belirlemek ve göstermek için kullanılan bir tekniktir ve hedef yanıtı optimize etmektir [11, 19].

Örneğin, bir prosesin verimini ( $y$ ) maksimize eden  $x_1$  ve  $x_2$  değişkenlerini bulmak için aşağıdaki gibi bir fonksiyon kullanılabilir.

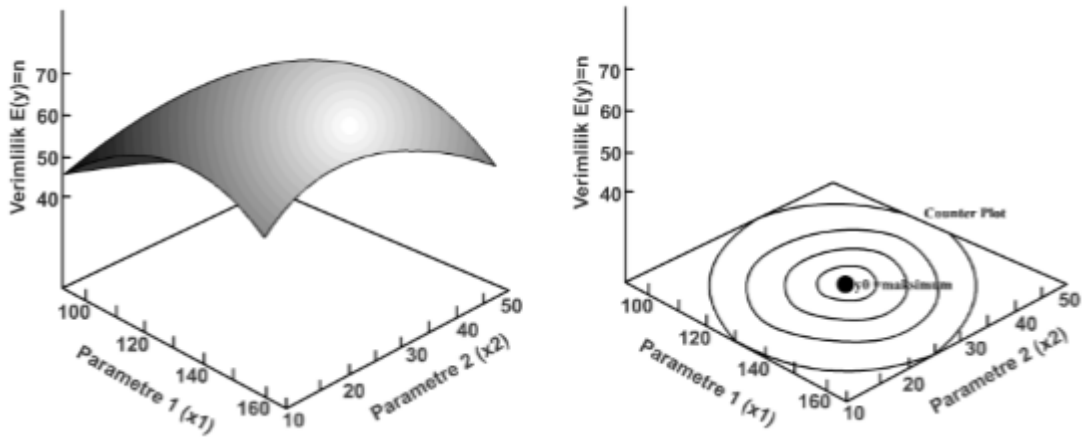
$$y = f(x_1, x_2) + \epsilon \quad (31)$$

Burada  $y$  değişkeni yanıtı ve  $\epsilon$  ise gözlemlenen hatayı temsil eder. Beklenen yanıt değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$E(y) = f(x_1, x_2) = \eta \quad (32)$$

$$\eta = f(x_1, x_2) \quad (33)$$

Yanıt yüzeyi ise 32 numaralı denklem ile ifade edilir. Buna tepki yüzeyi denir [19].



Şekil 2.5. Parametrelere bağlı olarak yüzeyin counter plot diyagramı [3].

Şekil 2.5.'te olduğu gibi yanıt yüzeyi grafiksel olarak temsil edilebilmektedir. Burada  $\eta$ ,  $x_1$  ve  $x_2$  düzeylerine göre çizilmektedir. Aynı zamanda yanıt yüzeyinin konturları  $x_1$  ve  $x_2$  düzleminde sık sık çizilerek her konturun tepki yüzeyinin belirli bir yüksekliğine karşılık geldiğini görmek mümkündür.

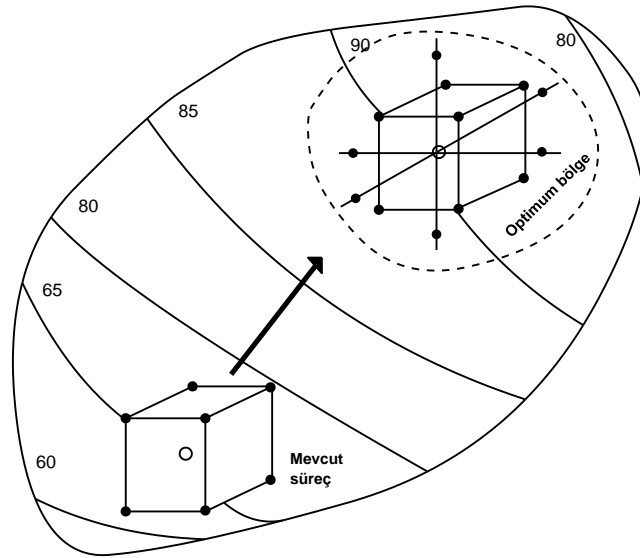
YYM'deki ilk adım diğer ilişki modellerinde olduğu gibi yanıt ve bağımsız değişkenler arasındaki gerçek işlevsel ilişkiyi tespit etmektir. Genellikle uygulamalarda bağımsız değişkenlerin düşük dereceli yani doğrusal ilişkilerinden oluşan denklemler elde etmek amaçlanmaktadır. Yanıt için bağımsız değişkenlerin doğrusal fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (34)$$

Gerçek hayat problemlerini genellikle doğrusallıktan uzak olduğu bilinen bir gerçektir. Böyle durumlarda etkili sonuçlar elde etmek için ikinci dereceden yani doğrusal olmayan modeller kullanılmaktadır.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (35)$$

Hemen hemen tüm YYM problemleri bu modellerden birini veya her ikisini birden kullanmaktadır. Diğer deney tasarımı yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de yapılan uygulamalar, doğrulamalar ve güvenilirlik düzeyleri dikkate alınmalıdır. Verilerin doğru bir şekilde toplanması ve doğru analiz yönteminin belirlenmesi model parametreleri en etkin şekilde kullanılarak yanıtın doğruya daha yakın tahmin edilmesine olanak sağlar.

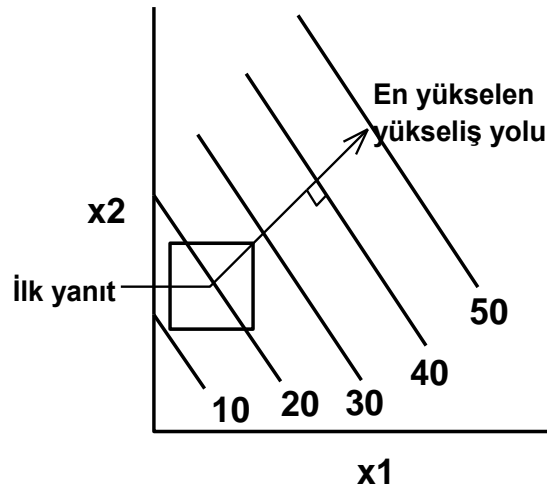


Şekil 2.6. YYM modeli doğal şeması [3].

YYM için verilen Şekil 2.6.'te örnek bir maksimizasyon modeli ele alınmış ve modelin doğrudan çözümü maksimum konturlar arasında aradığını görmek mümkündür. Diğer deney tasarımı yöntemlerinden daha avantajlı olduğunu anlatmanın en güzel yolu olarak ifade edilebilir. Çünkü öncelik olarak yanıtın bulunabileceği bölge tercih edilir ve bu bölgede daha az sayıda veri ile çalışılarak daha hızlı ve etkin sonuçlar elde edilir [3].

#### 2.3.4.1. En Dik Yükseliş Yöntemi

Sıklıkla, sistem için optimum çalışma koşullarının ilk tahmini gerçek optimumdan çok uzak olacaktır. Bu gibi durumlarda, deneycinin amacı, ekonomik bir şekilde optimum bölgenin geneline hızla geçmektir. Optimumdan uzaktayken, genellikle bir birinci mertebeden bir modelin(Denklem 34),  $x$ 'in küçük bir bölgesindeki gerçek yüzeye yeterli bir yaklaşım olduğunu varsayılmaktadır. En dik tırmanış yöntemi, yanıtta azami artış veya azami azalmalar sağlayarak yanıt yönünde sıralı hareket sağlamaktadır. Maksimizasyon problemleri için en dik çıkış yöntemi, minimizasyon problemleri için en dik iniş yöntemi olarak isimlendirmek mümkündür.



Şekil 2.7. İlk yanıt ve en yükselen yükseliş yolu [3, 19].

Birinci derece tepki yüzeyi, yani konturlar Şekil 2.7.'da gösterildiği gibi bir dizi paralel çizgidir. En dik yükselmenin yönü, en hızlı artan yöndür. Çoğunlukla en dikkatli bölgenin merkezinden geçerek ve donatılmış yüzeye dik olan en dik yoldan yükselen yol olarak alınmaktadır. Böylece yol boyunca kat edilen basamakların regresyon katsayılarıyla orantılı olduğunu görmek mümkündür.

Konturlar için gerçek adım büyüklüğü, deney bilgisi veya diğer pratik hususlara dayalı deneyci tarafından belirlenir. Deneyler, tepede daha fazla artış gözlenmeyene kadar en dik yükselme yolu boyunca yürütülür. Daha sonra yeni bir birinci derece model uygun olabilir, en dik tırmanış yönünde yeni bir yol belirlenir ve işlem devam eder. Son aşamada deneyci optimum çevresine ulaşır. Eğer cevap yeterli bulunmaz ise ya da daha iyi bir cevap aranma gereksinimi duyulursa daha kesin bir tahmin elde etmek için ilave deneyler yapılır [3].

#### 2.3.4.2. İkinci Dereceden Yanıt Yüzeyi Analizi

Yanıt yüzeyi metodolojisinin temeli herhangi bir sisteme ya da sürece ait  $k$  sayıdaki bağımsız  $x$  değişkenine bağlı olarak meydana gelen etki ve cevap ölçümüne dayanmaktadır.

Optimuma yakın bir bölgeye yaklaşıldığında, yanıtı yaklaşık olarak belirlemek için genellikle doğrusal olmayan modeller kullanılır. Birçok çalışmada ikinci derece modellerin bu konuya ışık tutarak kayda değer sonuçlar verdiği görülmüştür [16].

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (35)$$

- y: Sürecin yanıtı
- $\beta_0$  : Model sabiti
- $\beta_{i,ii,ij}$ : Değişken katsayıları
- $x_{i,j}$ : Bağımsız değişkenler
- $\epsilon$ : Deney hatası

#### 2.3.4.3. Yanıt Yüzeyi Uyumu için Deney Tasarımları

Yanıt yüzeylerini analiz etme, deneysel bir tasarımın doğru bir şekilde seçilmesiyle kolaylaşır. Bu kapsamda değerlendirilmesi gereken bazı durumlar söz konusudur. Bir yanıt yüzeyi tasarımını seçerken, istenen tasarımın bazı özellikleri şunlardır:

1. İlgi alanı boyunca makul bir veri noktası dağılımı (ve dolayısıyla bilgi) sağlar.
2. Sorunun eksikliği de dahil olmak üzere model yeterliliği araştırılır.
3. Deneylerin bloklar halinde yapılmasına izin verir.
4. Üst düzey tasarımların sıralı olarak oluşturulmasına izin verir.
5. Dahili bir hata tahminini sağlar.
6. Model katsayılarının kesin tahminlerini sağlar.
7. Deneysel bölgedeki tahmin varyansının iyi bir profilini sunar.
8. Aykırı değerlere karşı makul dayanıklılık veya eksik değerler sağlar.
9. Çok sayıda tekrar veya iterasyon gerektirmez.
10. Bağımsız değişkenlerin çok fazla seviyesini gerektirmez
11. Model parametrelerinin hesaplanmasını kolaylaştırır.



Bu özellikler bazen çelişkili olabilir. Tasarım seçimi sırasında çelişkiler sorgulanarak doğru seçime gidilmelidir [3, 17, 19].

**Rotasyon kabiliyeti:** İkinci dereceden modelin ilgi bölgesi boyunca iyi tahminler vermesi önemlidir. Yani tahmin edilen yanıtın makul ölçüde tutarlı ve istikrarlı bir varyansına sahip olması anlamına gelmektedir. Rotasyon, bir tepki yüzeyi tasarımının seçimi için makul bir temel oluşturmaktadır. YYM'nin amacı optimizasyon olduğundan ve optimumun bulunduğu yer deneyi çalıştırmadan önce bilinmiyorsa, her yönden eşit tahmin kestirimi sağlayan bir tasarım kullanmak mantıklıdır.

**Küresel CCD:** Döndürülebilirlik küresel bir özelliğidir; yani, ilgi bölgesi bir küre olduğunda tasarım kriteri olarak en etkin tercih olarak değerlendirilir. Bununla birlikte, iyi bir tasarıma sahip olmak için kesin dönebilme özelliği önemli değildir.

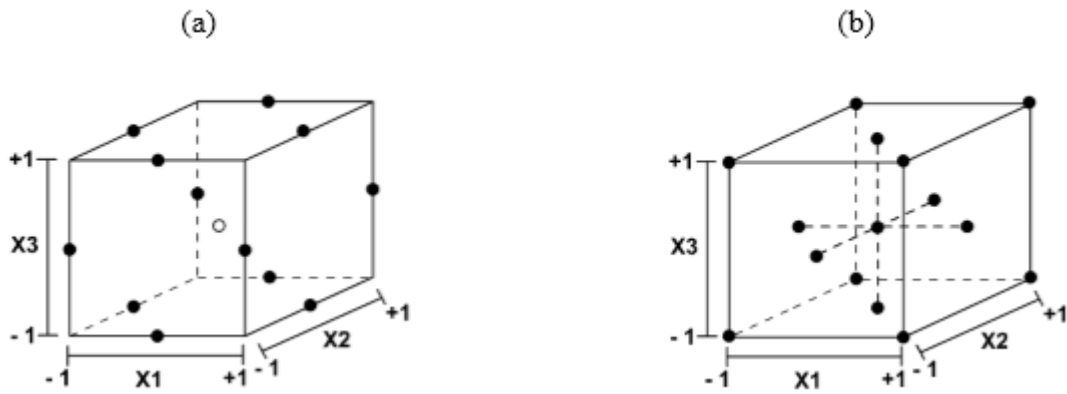
**Merkezi CCD:** CCD öncelikle ilgilenilen bölge tarafından belirlenir. Bu bölge bir küre olduğunda, tasarım, tahmin edilen cevabın makul derecede dengeli bir varyansını sağlamak için merkez çizgileri içermelidir. Genellikle, üç ila beş merkez çalışması önerilir.

**Box-Behnken Tasarım:** Box ve Behnken, yanıt yüzeylerini uydurmak için bazı üç seviyeli tasarımlar önermişlerdir. Bu tasarımlar,  $2^k$  faktöriyelleri tamamlanmamış blok tasarımlarıyla birleştirilerek oluşturulmuştur. Ortaya çıkan tasarımlar, gerekli çalıştırma sayısı açısından genellikle çok etkilidir ve bunlar ya rotasyon kabiliyetine sahip ya da rotasyon kabiliyetine yakın tasarımlardır. Tablo 2.10. üç değişken Box-Behnken tasarımını göstermektedir. Tasarım da Şekil 2.8.'de geometrik olarak gösterilmiştir. Box-Behnken tasarımının tüm noktalarla birlikte küresel bir tasarım olduğuna dikkat edin [3].

Bu çalışmada ana etkileri ve ikili etkileşimlerin bir arada incelenmesini sağlayan Merkezi Kompozit Tasarım yöntemine başvurulmuştur. Çünkü bu yöntem ikinci derece etkilerin tahmin edilmesinde diğerlerinden daha etkin bir yöntemdir [3].

Tablo 2.10. Üç değişkenli Box-Behnken Tasarımı [3].

Run	x1	x2	x3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0



Şekil 2.8. Tek yüzeyli merkezi kompozit tasarım(a) ve üç faktör için Box-Behnken tasarımı(b) [3].

Box-Behnken tasarımının küre biçiminde bir tasarım olduğunu ve tüm noktaların bir yarıçap küresinde olduğunu unutmayın. Ayrıca, Box-Behnken tasarımında herhangi bir nokta bulunmamaktadır. Kübik bölgenin köşeleri, her değişkene ilişkin üst ve alt limitlerle oluşturulmuştur. Küpün köşelerindeki noktalar, fiziksel işlem kısıtlamaları nedeniyle yasakça pahalı veya test edilemeyen faktör seviyesi kombinasyonlarını temsil ettiğinde, bu avantajlı olabilir [3, 19].

**Yanıt Yüzey Tasarımlarında Bloklama:** Yanıt yüzeyi tasarımlarını kullanırken sık sık gürültü değişkenlerini ortadan kaldırmak için bloklama yapılmaktadır. Bir yanıt yüzeyi tasarımının, blok etkilerinin yanıt yüzey modelinin parametre tahminlerini etkilemeyeceği şekilde bloklara bölünmesi olarak ifade edilmektedir [19].

$$SS_{Blok\lar} = \sum_{b=1}^m \frac{B_b^2}{n_b} - \frac{G^2}{N} \quad (11,20)$$

Tablo 2.11. Merkezi kompozit tasarımda bloklama [3].

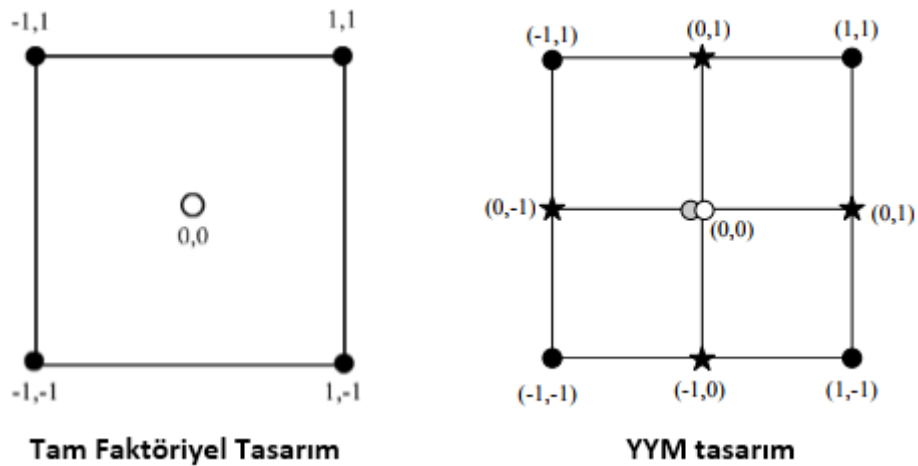
k	2	3	4	5
<b><u>Faktoriyel Bloklar</u></b>				
<b>n<sub>F</sub></b>	4	8	16	32
<b>Blok sayısı</b>	1	2	2	4
<b>Her bloktaki nokta sayısı</b>	4	4	8	8
<b>Her bloktaki merkez noktaları sayısı</b>	3	2	2	2
<b>Her bloktaki toplam nokta sayısı</b>	7	6	10	10
<b><u>Eksen Blok</u></b>				
<b>n<sub>A</sub></b>	4	6	8	10
<b>n<sub>CA</sub></b>	3	2	2	4
<b>Eksenlerdeki toplam nokta sayısı</b>	7	8	10	14
<b>Tasarımdaki toplam nokta sayısı(N)</b>	14	20	30	54
<b><u>α değeri</u></b>				
<b>Ortogonal bloklama</b>	1,4142	1,633	2	2,3664
<b>Rotasyon kabiliyeti</b>	1,4142	1,6818	2	2,3784

Burada  $B_b$ , b bloğundaki  $n_b$  gözlemlerin toplamı ve  $G$ , tüm  $m$  blokların içindeki tüm  $N$  gözlemlerin toplamıdır. Bloklar tam olarak ortogonal olmadığında farklı durumlar söz konusu olmaktadır [3].

Yanıt yüzey tasarımı bloklarda yürütülürken varyans analizi ile ilgili iki önemli nokta vardır. Birincisi, saf hata tahminini hesaplamak için merkez noktalarının kullanımıyla ilgilidir. Aynı blokta çalışan yalnızca merkez noktalar çoğaltılmış olarak düşünülebilir, bu nedenle saf hata terimi ancak her blokta hesaplanabilir. Değişkenlik bloklar arasında tutarsa, bu saf hata tahminleri toplanabilir. İkinci nokta blok etkisiyle ilgilidir. Tasarım, m bloklar halinde ortogonal olarak engellenirse, blokların karelerinin toplamı aşağıdaki gibi ifade edilir [3, 19].

#### 2.3.4.4. Tam Faktöriyel Tasarım ve Yanıt Yüzeyi Metodolojisi Arasındaki

##### Farklılıklar



Şekil 2.9. Tam faktöriyel tasarım ve yanıt yüzeyi metodolojisi yaklaşımları [21].

Tam faktöriyel tasarım, tüm köşe noktası deneylerini kullanmaktadır. Bu tasarım genellikle ilk taramalar için önerilmektedir. Faktörlerin ve faktör etkileşim etkileri hakkında bilgi verir. Optimizasyon çalışmaları için, özellikle doğrusal olmayan durumlar söz konusu olursa, temel tam faktöriyel tasarım, yanıt yüzeyi modelleme tasarımında yıldız noktası deneyleri olarak adlandırılan ek deneylerle genişletilmektedir. Yıldız noktaları eğrilikler için algılama yeteneğini geliştirmektedir. Ana faktör etkileri, faktör etkileşimi ve eğrilik hakkında bilgiler verir [21].

## 3. BÖLÜM

### UYGULAMA VE BULGULAR

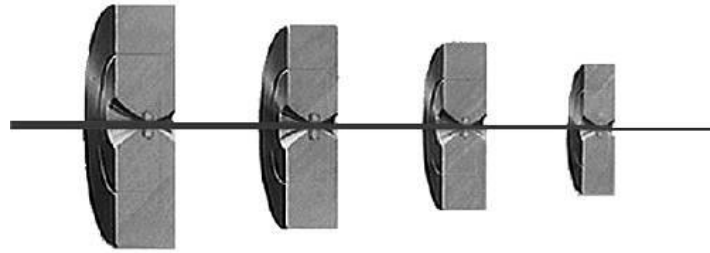
#### 3.1. Bir Üretim İşletmesinde Uygulama

Bu çalışma çeşitli amaçlar doğrultusunda çelik tel üretimi yapan bir firmada gerçekleştirilmiştir. Temel olarak iki farklı ve aynı zamanda bütünleşik bir hat halini almış tel çekme ve patentleme prosesleri incelenmiştir. Süreçlerde yapılan istatistik analizler sonucunda kalite kusurları ortaya çıkarılmıştır. Kalite kusurlarının önemli maliyetler getirdiği görülmüş ve bu maliyetleri ortadan kaldırmak üzere oluşan hatalara yönelik deney tasarımı yöntemleri ışığında çözüm aranmıştır.

İstatistik analizler nihayetinde pareto analizi yardımıyla hatalar önceliklendirilmiştir. En çok karşılaşılan kalite kusurunun mukavemet kusurları olduğu görülmüştür. Sonrasında ise sebep-sonuç analizi yardımıyla hataların oluşmasına sebep olan parametreler ortaya atılmıştır. Tel mukavemetini etkileyen parametreler ve ölçümler kayıt altına alınarak çeşitli deney tasarımı yöntemleri incelenmiştir.

##### 3.1.1. Tel Çekme ve Patentleme Prosesi

Tel çekme, kalın kesitli bir tel veya metal çubuğun bir hadde içinden geçirilerek daha küçük kesitlerde tel veya çubuk elde etmek için kullanılan bir imalat yöntemidir. Şekil 3.1.'de belirtildiği gibi silindirik haddeler kullanılır. Ayrıca soğuk çekme olarak da isimlendirilmektedir. Tel çekme prosesleri genellikle dairesel kesitli malzemeler elde etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Tel çekme için silindirik haddeler ile işleyiş

Patentleme, Soğuk çekme işlemi yapıldıktan sonra telde mukavemet artışları söz konusu olur. Mukavemetin artmasıyla çelik tel bir sonraki proste işlenemeyecek kadar sertleşir ve pekleşmenin giderilmesi ve daha kolay işleme için yeniden kristalleşme tavi yapılmaktadır. Ayrıca bu proste çinko ve fosfat kaplama yapılmaktadır. Fosfat kaplama işlemi sonraki prosesler için bir hazırlık prosesi olmakla birlikte telin paslanmaya karşı korunmasında en önemli görevi üstlenmektedir. Çinko kaplı tellerde ise tamamen kullanım alanlarına bağlı olarak telin kullanım sahasındaki korozyonlara daha fazla dayanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.2. Patentleme prosesi genel görünümü

Patentleme prosesi ülkemizde sadece birkaç firma da bulunan katma değeri yüksek bir prostedir. Oldukça büyük olan ve yüksek maliyetlerle kurulan bu prosesin hata maliyetleri de yüksek olmaktadır. Dolayısıyla hata oranlarındaki küçük bir azalma dahi bu sürecin maliyetlerine önemli ölçüde katkılar sağlayabilecek potansiyele sahiptir.

Bütün bu işler ve kontroller Avrupa Standartları'na uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Yapılan deneyler standartlara uygun bir şekilde yapılarak düzenli olarak kayıt altına alınmaktadır. Günlük olarak yüzlerce deney yapılmakta ve bu deneyler araştırmacılara süreçlerin analiz edilmesi ve yorumlanması için büyük fırsatlar sunmaktadır. Maliyetleri

azaltmaya yönelik yapılan bu çalışmada deney verilerinden elde edilebilecek bir fırsat üzerinde durulmuştur.

Bu proste üretilen teller, halatlarda, kablo sanayisinde, yaylık sanayisinde, tarımda ve inşaat sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Bunlardan bir kaçını ifade etmek gerekirse;

- Endüstriyel yaylık teller
- Çelik halatlar için teller
- Kaplamalı veya kaplamasız genel amaçlı teller şeklinde özetlemek mümkündür.

Yukarıda belirtilen genel ürün gamı biraz daha detaylandırılmış ve analiz için aşağıdaki ürün grupları değerlendirmeye alınmıştır.

K: Kaplamasız çelik tel

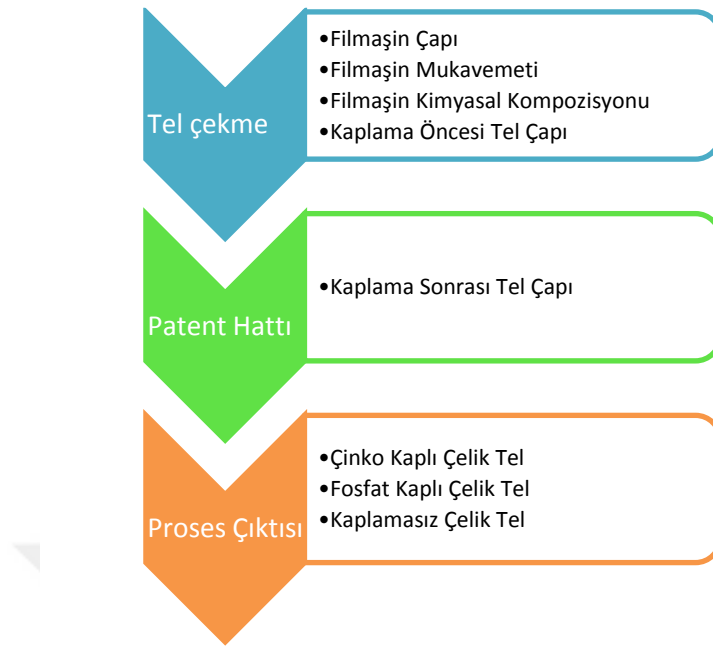
L: Fosfat kaplı çelik tel

M: Galvaniz kaplı çelik tel(Tavlamasız)

N: Galvaniz kaplı çelik tel

Bu ürünlerin tamamı, tel çekme ve patentleme prosesinden oluşan bütünleşik prosesin nihai çıktılarıdır.

Süreçleri ilk olarak analiz ettiğimizde iş sırası ve süreç sonunda oluşan sonuçlara yönelik değerlendirmeler yapmak için aşağıdaki parametrelerin önemli fırsatlar sunabileceği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla ölçülebilirlik konuları tartışılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda bu parametrelerin ölçülebileceği ve kayıt altına alınabileceği görülmüştür. Bütün ölçümler, oluşan sonuçlar ile birlikte kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.3. Üretim prosesleri ve bazı parametreler

Süreçlerdeki veriler elde edildikten sonra çeşitleri analiz yöntemlerine başvurularak verilerin analizi ve ayrıştırılması sağlanmıştır.

Toplam kalite yönetiminde problemlerin tespiti ve önceliklendirilmesi için kullanılacak birçok yöntem olduğu bilinmektedir. Bunlardan başlıcaları; pareto analizi, sebep sonuç diyagramları, serpilme ve grup diyagramları, korelasyon analizleri gibi birçok yöntem mevcuttur. Öncelikli olarak istatistiksel kalite kontrol tekniklerine başvurulmuştur. Bu çalışmada kalite hatalarına yönelik problemleri ortaya çıkarmak ve bu problemlere sistematik bir yaklaşım ve öncelik derecesi kazandırmak üzere pareto ve sebep-sonuç analizlerinden faydalanılmıştır. Bu analizler asıl çözüme geçmeden önce kullanılması gereken başarılı teknikler olarak ifade edilebilir. Bir problemin çözümüne etkin ve hızlı bir şekilde ulaşmak için problemin başlangıç noktasını belirlemek en önemli yaklaşımdır. Yani nereden başlanması gerektiğinin cevabını veren teknikler olarak tanımlamak mümkündür.

### 3.1.2. Kalite Hataları

Üretim sektöründe birçok süreçte kalite hataları ile karşılaşmak mümkündür. Bu hatalar çeşitli sebeplere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Hammaddeye bağlı, sürece bağlı, operatöre bağlı ve daha birçok sebep kalite hatalarının ortaya çıkmasında rol



oyunmaktadır. Hataları ortadan kaldırmak veya kabul edilebilir bir düzeye kadar azaltmak ise kar amacı ile çalışan tüm firmaların vazgeçilmez hedefleri arasındadır. Hataların azaltılmasına yönelik çeşitli yöntemler mevcuttur ancak bu yöntemlerin kök nedenleri ortaya çıkartarak kalıcı çözümler üretmesi ise olması gerekmektedir. Bunun için bilimsel yöntemler bizlere çeşitli imkânlar sunmaktadır. Bu imkânlar ya da teknikler sayesinde bir probleme bütünüyle yaklaşım ve nokta atışı çözümler geliştirilebilir. Deneysel tasarımları da geliştirilen bu yöntemlerden bir tanesidir. Pratikte oldukça hızlı ve etkili çözümler veren bu yöntemin yaptığımız ve incelediğimiz çalışmalarda mükemmele yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

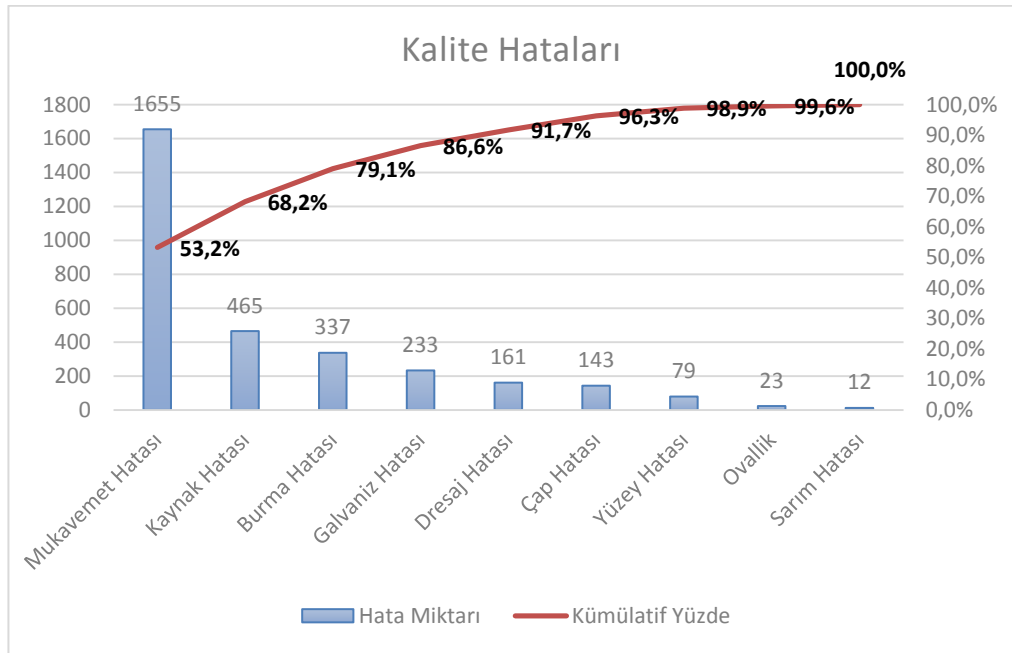
Deneysel için üretim yerindeki işleyiş ise bütün yıl boyunca aynı şekilde devam etmektedir. Testler rutin olarak yapılmakta ve ERP yazılımında bütün ölçümler kayıt altına alınmaktadır.

Prosesler için ilk olarak kalite kontrol birimi tarafından yapılan rutin test sonuçları dikkate alınmıştır. Bu sonuçlar hata gruplarına ayrılarak elde edilen hata tipleri ve sayıları pareto analizi ve sebep-sonuç analizleri yardımı ile incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı hatalara karşı çözümler üreterek iş gücü, malzeme ve zaman kayıplarını önlemek ve daha da önemlisi tek seferde kaliteli ürün elde etmektir. Dolayısıyla yeniden işleme maliyetlerinin ve kalitesizlik maliyetlerinin minimum düzeye indirilmesi yönünde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

#### **a. Pareto Analizi**

İlk olarak İtalyan iktisatçı Vilfredo Pareto tarafından ortaya atılmış bir yöntemdir. Pareto'ya göre İtalya halkının nüfusunun 20% oranında bir kısmı ülkenin gelirinin 80%'nine sahip ve diğer 20%'lik gelirin ise halkın 80%'i arasında paylaşıldığını ifade etmektedir [22]. Oldukça etkili bir yöntem olan pareto analizini birçok çalışmada görmek mümkündür.

Öncelikle 12 aylık bir zaman dilimi için hata kayıtları incelenmiştir. Elde edilen hata miktarları frekanslarına göre pareto analizi yardımı ile değerlendirilmiştir.

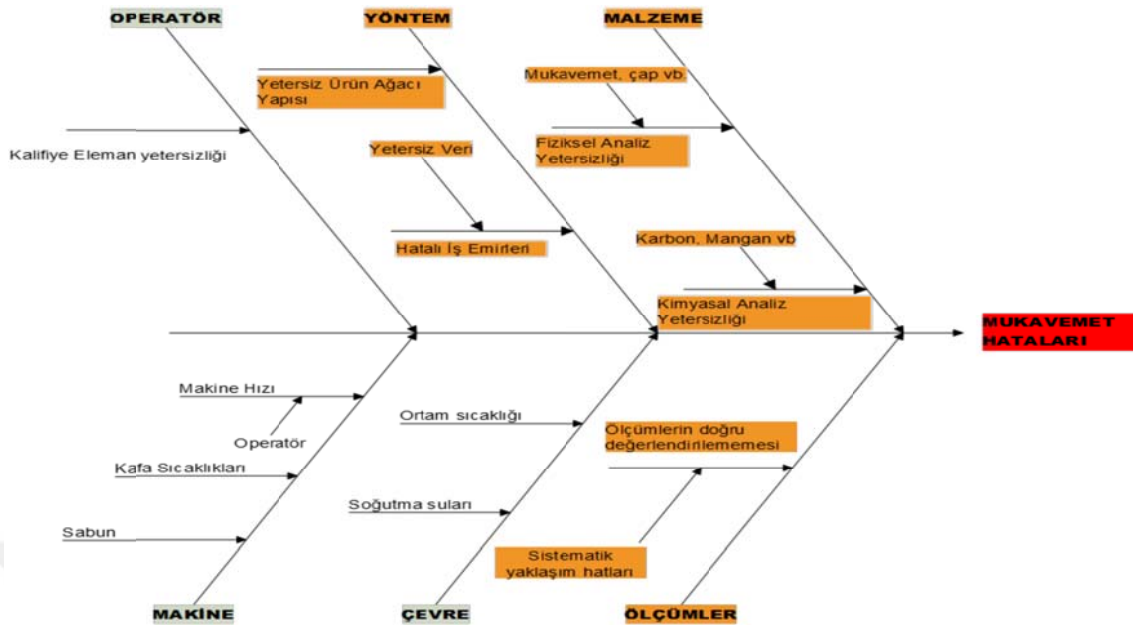


Şekil 3.4. Kalite hataları için pareto analizi yaklaşımı

Şekil 3.4.'te kalite hataları için yapılmış olan pareto analizi görülmektedir. Bu analize göre 2016 yılında ortaya çıkan hataların 53,2% oranında mukavemet hatalarından kaynaklı olduğu görülmektedir. Ya da diğer bir ifade ile hataların 53,2%'si ilk sebepten kaynaklı olarak ortaya çıkmaktadır. Burada öncelik verilmesi gereken ilk konunun mukavemet hataları olduğu görülmektedir. Yani mukavemet hatalarını azaltmaya yönelik yapılacak bir iyileştirici faaliyet toplam hataların 53,2% oranında azaltılabileceği fırsatını bizlere sunmaktadır. Dolayısıyla çalışmamızda mukavemet hataları üzerinde durulmuştur. Bu hatalara yönelik sebepler araştırılarak sebep sonuç ilişkisi kurulmuştur.

#### b. Sebep-Sonuç Analizi

Sebep-Sonuç analizi, bir problem için sürecin bütün yönlerini dikkate alarak düşünmemizi sağlayan sistematik bir yaklaşımdır. Süreci doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen bütün parametreler kolay bir şekilde tek tabloda özetlenerek bütünsel bir analiz yapmak mümkündür. Nitekim yapılan bu çalışmada bu yöntemle başvurularak problemi çözmeden önce süreci bir bütün olarak görmek hedeflenmiştir.



Şekil 3.5. Mukavemet hatası için sebep-sonuç analizi

Şekil 3.5.'te mukavemet hatasının ortaya çıkmasına yol açan sebepler detaylı bir şekilde görülmektedir. Ölçülebilir sonuçlar açısından yöntem, malzeme ve ölçümler ana başlıkları dikkate alınmıştır. Süreçler gözlemlendiğinde sonucu etkileyen parametrelerin gerek yöntem, gerekse malzeme kaynaklı doğru bir şekilde yönetilemediği görülmüştür. Yani sebeplere yönelik duyarlılıkların ölçülemiyor olması süreçlerde yanılırlara sebep olmuştur. Çizgileri tam olarak ifade edilemeyen know-how ile hatalı ürünlerin ortaya çıkması üzerinde yoğunlaşmıştır. Çünkü bu parametreler üzerinde daha önce yapılmış bir duyarlılık analizi gözlemlenmemiştir. Çalışmada bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi araştırılmış olup parametrelerin duyarlılık düzeyleri elde edilen formüller yardımıyla kolayca belirlenmiştir.

### 3.1.3. Değişkenlerin Belirlenmesi

İmal edilen ürünün çıktısı olan mukavemet değişkenini etkileyen birçok bağımsız değişken olduğu bilinmektedir. Üretim süreçleri içerisinde ölçüm yapılarak elde edilebilen bütün sonuçlar ele alınmıştır. Bir takım parametreler ortaya koyularak bu parametrelerin mukavemet hatası üzerindeki etkisi tartışılmış ve analizlere dahil edilecek olan parametreler belirlenmiştir.

Ürün kalitesini etkileyen ve nicel olarak ölçülebilen değişkenler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

A: Filmaşın çapı (Hammadde)

B: Filmaşın mukavemeti

Filmaşın kimyasal analiz değerleri:

C: Karbon oranı

D: Mangan Oranı

E: Fosfor Oranı

F: Kükürt Oranı

G: Silisyum Oranı

H: Kaba tel çapı

J : Tel çapı

Ölçülebilen 9 farklı bağımsız değişken olduğu görülmektedir. Filmaşın, kaba tel ve tel çapı için ölçü birimi milimetredir. Filmaşın mukavemeti için ölçü birimi megapascal'dır. Diğer değişkenler ise yüzde oran olarak ölçülmüştür. Çalışma kapsamında mukavemet değişkenini teorik olarak tahminleyebilmek için bu 9 parametreye başvurulmuştur. Mukavemeti etkileyebileceği düşünülen farklı değişkenler olma ihtimali olmasına karşın nicel olarak ifade edilememesi veya kayıt altına alınamıyor olması sebebiyle bu değişkenler çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

Deneyleer için iki düzey belirlenmiştir. Tablo 3.1.'de L ürün grubu için faktörlere ait alt ve üst düzeyler görülmektedir. Bu veriler yapılmış olan deneyleer sonucunda elde edilmiştir. Bu değerler aynı zamanda yapılan deneyleerin minimum ve maksimum noktalarını ifade etmektedir. Diğer ürün grupları için faktör düzeyleri Ek 1.'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Faktörler için alt ve üst düzeyler

Değişken(Faktör)	Alt Düzey (-1)	Üst Düzey (+1)
A	5,50	8,00
B	742	1295
C	0,4100	0,8210
D	0,4850	0,7110
E	0,0047	0,1300
F	0,0003	0,1400
G	0,1632	0,2730
H	1,25	7,00
J	1,22	7,01

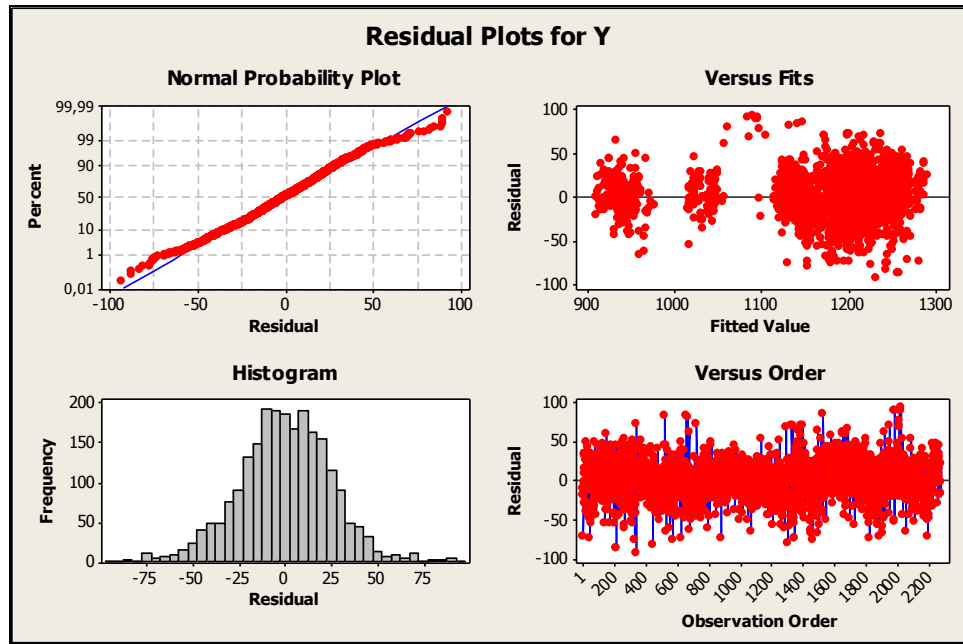
Çalışmada amaç mukavemet hatalarını asgari düzeye indirmektir. Öncelikli olarak çoklu regresyon yöntemine başvurulmuştur. Bu yöntem ile parametrelerin sonuca olan etkileri doğrusal olarak ifade edilmiştir. Ancak gerçek hayat problemlerine doğrusal olmayan yaklaşımların daha etkin ve güvenilir sonuçlar verdiği bilindiği için deney tasarımı yöntemlerine başvurulmuştur. Tam faktöriyel tasarım ile değişkenlerin / faktörlerin etkileşimleri analiz edilmiştir. Bu analize ek olarak yanıt-yüzeyi metodolojisi kullanılarak optimum düzey veya düzeyler aranmıştır.

#### 3.1.4. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Çalışmamızda binlerce ölçüm söz konusu olduğu için verilerin yeterliliklerini fazlasıyla sağladığı görülmüştür. Ölçülmüş olan bu veriler ışığında bağımlı değişkenin diğer değişkenlerden hangi ölçülerde etkilendiği tahmin edilmiştir. Başlangıç olarak da analize doğrusal yaklaşım ile giriş yapılmıştır.

#### 3.1.5. Regresyon Analizi ve Sonuçlar

Daha önce ifade edilen tüm ürün gruplarında ilk olarak çoklu regresyon analizi çalışması yapılmıştır. Bu analiz türünde değişken ve sonuç arasında korelasyon ilişkisi kurularak aralarındaki ilişkinin gücünü görmek mümkündür. Ancak tüm faktörlerin etkilerinin tam olarak gözlemlenmesi adına korelasyon yöntemine başvurulmamıştır. Dolayısıyla analiz direkt olarak değişkenler ile bağımlı değişken odaklı yapılmıştır. L grubu ürünler için ilk olarak yapılan analizde Şekil 3.6.'daki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.6. L grubu ürünler için dağılım grafikleri

L grubu ürünler için elde edilen normal olasılık dağılımı dikkate alındığında verilerin normal dağılıma uygun olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 3.2. Regresyon analizi sonuçları

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	632,47	13,83	45,74	0,000
A	5,714	2,023	2,82	0,005
B	-0,0303	0,01423	-2,13	0,033
C	1072,88	15,25	70,35	0,000
D	-198,48	17,19	-11,55	0,000
E	34,69	83,12	0,42	0,676
F	358,66	77,71	4,62	0,000
G	82,21	42,37	1,94	0,052
H	-70,62	14,42	-4,9	0,000
J	54,37	14,47	3,76	0,000

$$S = 30,0517 \quad R\text{-Sq} = 93,9\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 93,9$$

Mukavemet değeri için yapılan bu analizde fosfor oranı değişkeninin (E) ve silisyum elementinin p anlamlılık değerinin 0,05'ten büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu

analiz için fosfor miktarı ve silisyum miktarlarının değerlendirilmeye alınması gerekmez ancak ilk aşamada hiçbir değişken analizden çıkartılmamıştır.

Tablo 3.3. Varyans analizi sonuçları

Source	DF	SS	MS	F	P
<b>Regression</b>	9	27918964	3102107	3434,94	0,000
<b>Residual Error</b>	2015	1819753	903		
<b>Total</b>	2024	29738717			

Tablo 3.3.'de yer alan varyans analizi sonuçlarını incelediğimizde aşağıdaki gibi iki tip hipotez kurulmuştur.

$H_0$ : Gözlemlerin regresyon doğrusu için uyumu önemsizdir. (Model geçersizdir)

$H_a$ : Gözlemlerin regresyon doğrusu için uyumu önemlidir. (Model Geçerlidir)

P anlamlılık değeri yardımıyla hipotez testlerinin geçerliliği sorgulanmıştır. Dolayısıyla p değeri 0,05'ten küçük olduğu için  $H_0$  hipotezi reddedilmiştir. Yani gözlemlerin regresyon doğrusu için uyumu önemlidir ve kullanılacak parametreler ile anlamlı sonuçlar elde etmenin mümkün olacağını görülmüştür.

L grubu ürünler için regresyon denklemi Tablo 3.2.'te belirtildiği gibi olup R-Sq(adj) değerinin 93,9% olarak hesaplandığı görülmektedir. Yani verilerimiz modelimizi 93,9% oranında açıklar yorumu yapılabilir. Bu oran ise bu tür bir analiz için oldukça iyi sonuçtur. Diğer ürün gruplarını incelediğimizde ise Tablo 3.4.' te ölçülen elde edilen değerleri görmek mümkündür. K ve M ürün gruplarının L ve M'ye göre sapmalarının fazla ve güvenilirlik düzeylerinin düşük olmasının sebebi ise üretim hatlarında K ve M ürünleri için tavlama prosesinin olmamasının bir kanıtı olarak gösterilebilir. Çünkü tavlama prosesi mekanik özellikleri homojenize edici özelliğe sahiptir. Bu aşamada ise K ve M ürün gruplarının tavlama işlemi olmadığı için elde edilen sonuçlar ile birlikte hammadde hakkında fikir yürütülebileceği görülmüştür.

Çalışmada 4 farklı ürün grubu için aynı analizler yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.4. Dört ürün grubu için elde edilmiş olan regresyon denklemler

Ürün	Regresyon Denklemi	Sapma	R-Sq	R-Sq(adj)
<b>K Grubu</b>	$Y = 502 + 6,44*A + 0,0776*B + 1024*C - 103*D - 121*E + 978*F + 67,3*G + 33,5*H - 52,6*J$	19,33	83,70%	82,40%
<b>L Grubu</b>	$Y = 632 + 5,71*A - 0,0303*B + 1073*C - 198*D + 34,7*E + 359*F + 82,2*G - 70,6*H + 54,4*J$	30,05	93,90%	93,90%
<b>M Grubu</b>	$Y = 700 + 93,5*A + 0,395*B + 716*C + 69,0*D + 170*E - 138*F + 26,0*G + 797*H - 1002*J$	34,12	77,90%	77,90%
<b>N Grubu</b>	$Y = 608 - 10,2*A - 0,0559*B + 1075*C - 144*D + 257*E + 40,8*F + 258*G + 241*H - 244*J$	24,87	92,90%	92,90%

R-Sq değerleri ve R-Sq(adj) değerleri arasında farklılık var ise bu modelde anlamlı olmayan değişkenlerin olduğu anlamına gelir. Eğer farklılık yoksa modeldeki parametreler anlamlıdır denilebilir [20]. Bu kapsamda K, L, M ve N grupları için yapmış olduğumuz modelleri incelediğimizde bağımsız değişkenler içerisinde analiz için anlamlılık ifade etmeyen değerlerin olmadığı söylenebilir çünkü R-Sq ve R-Sq(adj) değerlerinin diğer ürün grupları için eşit olduğu görülmektedir. Diğer yandan K grubu için hazırlanan modelde ise anlamlı olmayan bağımsız değişkenlerden söz etmek mümkündür. Çünkü R-Sq ve R-Sq(adj) değerleri arasında farklılık söz konusudur.

Yukarıdaki tabloda elde edilen regresyon formülleri yardımıyla değişkelere bağlı teorik mukavemet( $\hat{Y}$ ) değeri elde edilmiştir. Gerçekleşen değer(Y) ile teorik değer arasındaki farklar(Sapma) ise oldukça küçük ve kabul edilebilir farklar olduğu görülmektedir. İstatistiksel çalışmalarda yanılma payı her zaman söz konusu olabileceği için mümkün olan bütün çalışmalar uygulamaya başlanmadan önce pilot denemeler ile sağlamalar yapılmalıdır. Bu denemeler belirli bir pilot alanda ya da belirli deneyler yapılarak sonucun gözlemlenmesi ile gerçekleştirilebilir.



Tablo 3.5. Regresyon formülü doğrulama

A	B	C	D	E	F	G	H	J	Y	Ŷ	Sapma
6	1028	0,69	0,542	0,01	0,008	0,202	3,5	3,48	<b>1256</b>	<b>1230</b>	<b>26</b>
6	1028	0,69	0,542	0,01	0,008	0,202	3,5	3,48	<b>1222</b>	<b>1230</b>	<b>8</b>
6	1028	0,69	0,542	0,01	0,008	0,202	3,5	3,47	<b>1263</b>	<b>1230</b>	<b>33</b>
6	1028	0,69	0,542	0,01	0,008	0,202	3,5	3,47	<b>1263</b>	<b>1230</b>	<b>33</b>
6	1028	0,69	0,542	0,01	0,008	0,202	3,5	3,48	<b>1241</b>	<b>1230</b>	<b>11</b>
5,5	1086	0,756	0,593	0,014	0,009	0,19	3,5	3,48	<b>1315</b>	<b>1286</b>	<b>29</b>
5,5	1092	0,746	0,614	0,016	0,12	0,227	3,5	3,47	<b>1311</b>	<b>1313</b>	<b>2</b>
7	1016	0,693	0,552	0,011	0,012	0,222	3,5	3,51	<b>1218</b>	<b>1242</b>	<b>24</b>
7	1016	0,693	0,552	0,011	0,012	0,222	3,5	3,5	<b>1218</b>	<b>1242</b>	<b>24</b>
5,5	1086	0,756	0,593	0,014	0,009	0,19	3,5	3,48	<b>1276</b>	<b>1286</b>	<b>10</b>
6	1018	0,713	0,595	0,014	0,01	0,185	3,5	3,45	<b>1217</b>	<b>1243</b>	<b>26</b>

### 3.1.6. Faktöriyel Tasarım ve Sonuçları

Problemin çözümünde tam faktöriyel 2 düzeyli ve 9 faktörlü yani  $2^9$  tasarım kullanılmıştır. Faktörler alt ve üst düzeyler olmak üzere iki düzeyde incelenmiştir. Yapılan gözlemler sonucu çalışmaya ikili etkileşimlerde dahil edilmiştir. Tasarımlarda birden çok tekrarlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Veri sayısının oldukça fazla olması sebebiyle birçok tekrar kombinasyonu kullanılmıştır. Deneyler 5 kez tekrarlanarak analizler yapılmıştır.

Tablo 3.6. Beklenen etkiler ve katsayıları

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		700	161,21	4,34	0,000
A	-467	-234	41,04	-5,69	0,000
B	-935	-467	118,87	-3,93	0,000
C	1187	593	94,46	6,28	0,000
D	-486	-243	48,25	-5,04	0,000
E	-922	-461	187,78	-2,46	0,014
F	-794	-397	178,77	-2,22	0,026
G	438	219	67,65	3,24	0,001
H	8232	4116	1164,74	3,53	0,000
J	-8048	-4024	1178,39	-3,41	0,001

Tablo 3.6.'te Tek faktör düzeyin bütün faktörlerin p değerinin 0,05'ten küçük olduğu ve faktörlerin tamamının tek başlarına anlamlı olduğu söylenebilir. İkili etkileşimler için aynı durum söz konusu değildir. İkili etkileşimlere yönelik sonuçları Tablo 3.5. yardımıyla görmek mümkündür.

Tablo 3.5. Beklenen etkiler ve katsayıları(devamı)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
A*B	-65	-32	54,81	-0,59	0,555
A*C	168	84	49,47	1,69	0,091
A*D	71	36	16,18	2,2	0,028
A*E	-442	-221	36,59	-6,04	0,000
A*F	7	4	16,56	0,22	0,829
A*G	-39	-19	10,66	-1,81	0,071
A*H	-147	-74	252,93	-0,29	0,771
A*J	12	6	256,97	0,02	0,982
B*C	-92	-46	4,63	-9,96	0,000
B*D	144	72	16,14	4,46	0,000
B*E	-493	-246	103,75	-2,37	0,018
B*F	-487	-243	78,81	-3,09	0,002
B*G	94	47	19,39	2,42	0,015
B*H	4826	2413	1077,59	2,24	0,025
B*J	-4737	-2368	1080,81	-2,19	0,029
C*D	-78	-39	12,17	-3,19	0,001
C*E	454	227	79,77	2,85	0,004
C*F	234	117	60,49	1,94	0,053
C*G	-32	-16	14,79	-1,09	0,275
C*H	-2822	-1411	881,8	-1,6	0,110
C*J	2798	1399	884,32	1,58	0,114
D*E	129	64	29,44	2,18	0,029
D*F	-689	-344	41,66	-8,26	0,000
D*G	21	10	8,04	1,3	0,195
D*H	496	248	429,37	0,58	0,563
D*J	-567	-284	433,67	-0,65	0,513
E*F	-876	-438	209,52	-2,09	0,037
E*G	289	144	62,28	2,32	0,021
E*H	632	316	632,78	0,5	0,617
E*J	-88	-44	638,43	-0,07	0,945
F*G	168	84	36,11	2,32	0,020
F*H	7583	3792	1173,52	3,23	0,001
F*J	-7783	-3892	1190,7	-3,27	0,001
G*H	-1664	-832	401,6	-2,07	0,038
G*J	1707	853	406,22	2,1	0,036
H*J	49	24	8,64	2,83	0,000

S = 27,5167

R-Sq = 94,96% R-Sq(pred) = 94,68% R-Sq(adj) = 94,85%

Bazı ikili etkileşimlerin 0,05'ten oldukça büyük oldukları görülmektedir. Filmaşın çapı(A) ve filmaşın mukavemeti(B) etkileşimi anlamlılık düzeyi 0,05'ten oldukça büyük olduğu görülmektedir Bu şekilde gerçekleşen etkileşimler çalışma için anlamlı değildir. Bu etkileşimler modele dahil edilmeyebilir ancak bu çalışmada regresyon denkleminde tamamı dahil edilmiştir.

Tablo 3.7. Faktöriyel tasarım için varyans analizi sonuçları

Source	DF	Seq SS	Adj SS	F	P
Main Effects	9	27918964	149921	22,00	0,000
A	1	2549211	24550	32,42	0,000
B	1	19167523	11702	15,45	0,000
C	1	5704020	29872	39,45	0,000
D	1	158290	19231	25,40	0,000
E	1	1205	4565	6,03	0,014
F	1	18670	3736	4,93	0,026
G	1	673	7949	10,50	0,001
H	1	306627	9455	12,49	0,000
J	1	12745	8830	11,66	0,001
2-Way Interactions	2	36	321314	11,79	0,000
A*B	1	985	263	0,35	0,555
A*C	1	15090	2170	2,87	0,091
A*D	1	33	3657	4,83	0,028
A*E	1	6885	27598	36,45	0,000
A*F	1	320	35	0,05	0,829
A*G	1	3599	2472	3,27	0,071
A*H	1	8379	64	0,08	0,771
A*J	1	1629	0	0,00	0,982
B*C	1	72994	75163	99,27	0,000
B*D	1	15203	15091	19,93	0,000
B*E	1	36	4269	5,64	0,018
B*F	1	3104	7226	9,54	0,002
B*G	1	18586	4451	5,88	0,015
B*H	1	34615	3796	5,01	0,025
B*J	1	26	3636	4,80	0,029
C*D	1	893	7710	10,18	0,001
C*E	1	8071	6136	8,10	0,004
C*F	1	19300	2841	3,75	0,053
C*G	1	881	901	1,19	0,275
C*H	1	464	1938	2,56	0,110
C*J	1	1236	1896	2,50	0,114

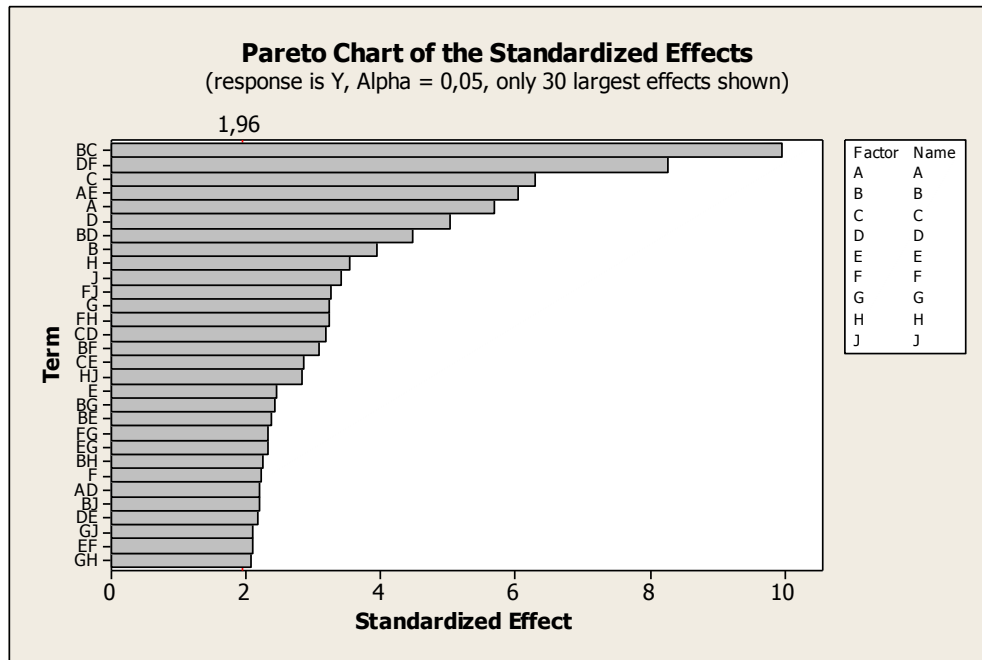
Tablo 3.6. Faktöriyel tasarım için varyans analizi sonuçları(devamı)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	F	P
D*E	1	11908	3612	4,77	0,029
D*F	1	47542	51709	68,29	0,000
D*G	1	2407	1273	1,68	0,195
D*H	1	4031	253	0,33	0,563
D*J	1	172	324	0,43	0,513
E*F	1	283	3307	4,37	0,037
E*G	1	5607	4064	5,37	0,021
E*H	1	14257	189	0,25	0,617
E*J	1	7	4	0,00	0,945
F*G	1	3526	4077	5,38	0,020
F*H	1	1621	7904	10,44	0,001
F*J	1	7390	8088	10,68	0,001
G*H	1	1198	3251	4,29	0,038
G*J	1	2981	3341	4,41	0,036
H*J	1	6051	6051	7,99	0,005
Residual Error	1979	1498439	1498439		
Lack of Fit	931	1138472	1138472	3,56	0,000
Pure Error	1048	359967	359967		
Total	2024	29738717			

Tablo 3.6. incelendiğinde ana etkilerden oluşan model için p değerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla model anlamlıdır. İkili etkileşimler içinde yine aynı durum söz konusudur. Modele ikili etkileşimlerin dahil edilmesi p değerinin 0,05'ten küçük olması sebebiyle anlamlıdır.

Bu çalışmada malzeme yapısı ve makine yoğun bir süreç için yapıldığından sürecin etkileri büyük ölçüde nicel olarak ifade edilebilmektedir. Dolayısıyla bloklama süreci çalıştırılmamıştır. Elde edilen bütün faktörlerin mukavemet üzerinde az ya da çok etkisi olduğu daha önceki tecrübelerden bilinmektedir. Ancak faktörlerin etkileri noktasında yanılmamak ve etkileşimlerin sürece etkilerini tespit etmek için tüm faktörler incelenmiştir.

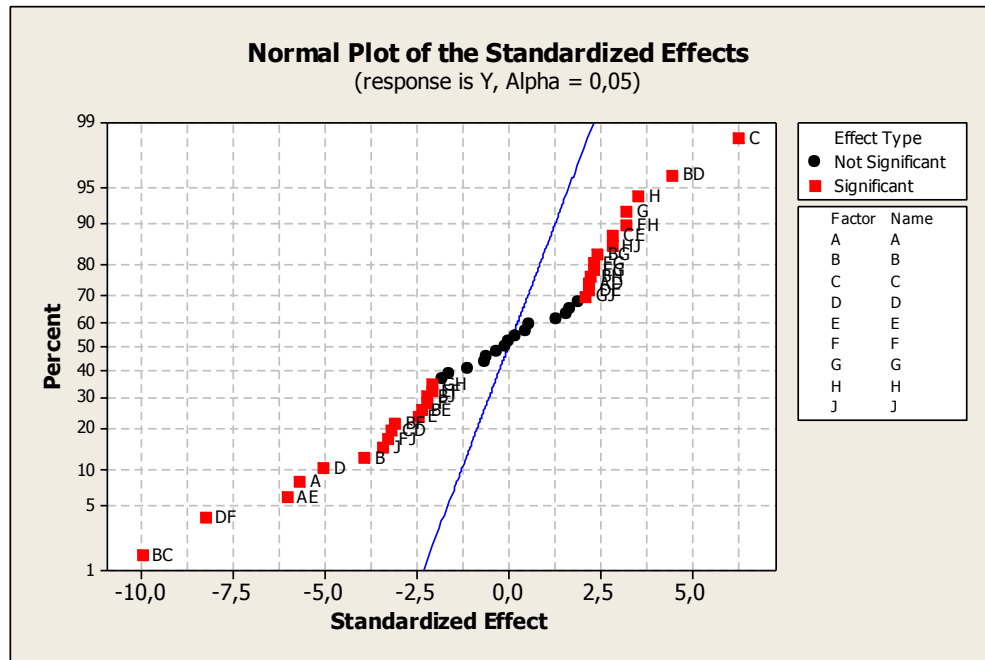
Faktörler için oluşturulan pareto grafiği üzerinde belirtilen eşik değerini geçen faktör ve faktör etkileşimleri kayda değer parametrelerdir. P anlamlılık düzeyi için 1,96 eşik değeridir.



Şekil 3.7. Faktörler için pareto grafiği

Şekil 3.7.'te görüleceği gibi yanıt üzerindeki en büyük etkinin BC(filmaşın mukavemeti x karbon oranı) etkileşimi olduğu görülmektedir. DF(mangan x kükürt) etkileşimin süreç için ikinci sırada en önemli etkileşim olduğu görülmektedir. C(karbon) ise mukavemet değişkeni için en önemli ana parametre olarak elde edilmiştir. Yani bu faktör veya faktör etkileşimlerinde meydana gelecek küçük bir değişiklik yanıt üzerinde önemli sonuçlar doğuracaktır. Bu faktörler ve etkileşimler üst veya alt düzeylerinde sürece dahil edilirse yanıt üzerinde en büyük artışları ya da azalışları görmeyi sağlarlar. Etkileşimleri oluşturan faktörlerden biri üst düzey diğeri alt düzeyde ise yanıt üzerinde artış ya da azalma değişkenlik gösterir. Her ikisi alt düzeyde kullanılması durumunda ise yanıt üzerinde en büyük azalışlar meydana gelir. Diğer değişkenleri de benzer şekilde ifade etmek mümkündür. Ancak bizim çalışmamızda bir formülizasyon elde etmek hedeflendiği için faktörler formül üzerinden değerlendirilmiştir.

Grafik analizi ile elde edilen eşik değeri deneysel varyansa göre hesaplanır. Normal dağılıma uygun olduğu kabul edilen veriler için p anlamlılık değerinin standart normal dağılım tablosunda(Z) tablosundaki karşılığıdır. Bu değer yanıt üzerinde söz sahibi kayda değer faktörlerin görsel olarak ifade edilmesi için kullanılır [23, 24].



Şekil 3.8. Faktör etkileri grafiği

Yukarıdaki faktör etkileri grafiğini incelediğimizde faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin kayda değer olanlarını açıkça görmek mümkündür. Faktör sayısı fazla olan analizlerde grafik yöntemlerini etkin olarak kullanmak oldukça zor olduğu için regresyon eşitliklerini kullanılmıştır. Ancak az olanlarda ise denklem yönteminin yanında iyi yöntem olarak değerlendirilebilir. Grafik üzerinde elde edilen bilgiler yardımıyla proseslerdeki kritik noktalara hızlı müdahaleler yapılabilir. Bu şekilde sonuçları hızlı bir şekilde elde etmek mümkündür.

Sonuç olarak bağımlı değişkeni elde etmek üzere faktöriyel tasarım Tablo 3.8.'de belirtilen eşitlikleri sağlamıştır. Bu denklemler yardımıyla çelik tellere ait mukavemet rahatlıkla hesaplamak mümkündür. Standart sapma ve güvenilirlik oranları bu tür çalışmalarda öncelikli olarak dikkate alınmalıdır. Çünkü güvenilirlik oranları düşük yahut standart sapma miktarları yüksek olan analizler etkin sonuçlar vermemektedir ve bu tür yaklaşımlar süreçleri olumsuz etkileyebilir.

Tablo 3.8. Yanıt değişkeni için regresyon formülleri(Faktöriyel Tasarım)

Ürün	Formül	Sapma	R-Sq	R-Sq(adj)
L	$Y = 2222,45 - 116,687*A - 1,11577*B + 1236,46*C - 2672,09*D + 1499,31*E + 31221,5*F - 2093,43*G - 813,466*H + 867,064*J - 0,093547*A*B + 326,069*A*C + 251,713*A*D - 2820,53*A*E + 40,906*A*F - 280,592*A*G - 20,4761*A*H + 1,5912*A*J - 0,811769*B*C + 2,30605*B*D - 14,2216*B*E - 12,6056*B*F + 3,09679*B*G + 3,03519*B*H - 2,95885*B*J - 1672,48*C*D + 17639,4*C*E + 8162,61*C*F - 1429,81*C*G - 2387,91*C*H + 2351,93*C*J + 9081,89*D*E - 43616,8*D*F + 1680,48*D*G + 763,99*D*H - 867,15*D*J - 100062*E*F + 41951,9*E*G + 1755,32*E*H - 241,77*E*J + 21846,6*F*G + 18880,3*F*H - 19244,7*F*J - 5272,37*G*H + 5368,54*G*J + 2,9337*H*J$	27,52	94,96%	94,85%
N	$Y = 781,683 - 0,7016*A - 1,20887*B + 1773,93*C + 578,4*D + 11814,5*E - 13296,4*F - 842,825*G + 303,956*H - 301,823*J + 0,0417441*A*B - 76,47*A*C - 38,4897*A*D - 1290,83*A*E + 86,3169*A*F + 185,037*A*G - 201,82*A*H + 202,481*A*J + 0,144346*B*C + 0,457408*B*D - 1,29132*B*E + 15,6396*B*F + 2,83208*B*G - 0,28175*B*H + 0,24312*B*J - 169,391*C*D + 7408,35*C*E - 18078,3*C*F - 2219,76*C*G + 1281,37*C*H - 1185,94*C*J - 3136,72*D*E - 4942,26*D*F - 2873,91*D*G + 2711,55*D*H - 2721,29*D*J - 22721,1*E*F - 33859,2*E*G - 15845,2*E*H + 16375,5*E*J + 56761*F*G - 2230,38*F*H + 2151,45*F*J - 2440,2*G*H + 2403,33*G*J - 4,71239*H*J$	21,43	94,81%	94,70%

Tablo 3.8.'de görüldüğü gibi L ürün grubu için sapma miktarı 27,52MPa ve R-Sq(adj) 94,85% olarak elde edilmiştir. Yani faktörlerimiz yanıtı 94,85% oranında açıklama gücüne sahiptir. Sapma miktarı ise çelik teller için kabul edilebilir bir değerdir. Bu iki sonuçta analizin güvenilir olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde N ürün grubu içinde benzer ifadeleri kullanmak mümkündür. Standart sapması L ürününden daha düşük ve güvenilirlik düzeyi de L ürününe çok yakındır. Analizler güvenilir olarak elde edilmiş olsa bile muhakkak doğrulama yapılmalıdır. Yapılan bu doğrulamalar ile birlikte elde edilen denklemlerin regresyon analizine oranla sapması düşük ve daha tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Diğer eşitlikler ise Ek 2.'de belirtilmiştir.

### 3.1.7. Yanıt-Yüzey Metodolojisi ve Sonuçlar

YYM yaklaşımlarının tamamıyla denemeler yapılmış ancak bu çalışma için kendi içerisinde bir farklılık gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla merkezi kompozit tasarım yaklaşımı yardımı ile 9 faktör ve her faktörün iki düzeyi olmak üzere YYM yöntemi ile deneyler analiz edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır.

Merkezi kompozit tasarım yöntemi iki düzeyli tasarımlar için diğer YYM yöntemlerine göre daha etkin sonuçlar vermektedir. Merkezi kompozit tasarımın ana faktör etkileri ve etkileşimleri tahmin etmede daha başarılı olduğu görülmüştür. İki düzeyde etkin sonuçlar veren bu yöntem zaman ve maliyet açısından da diğer yöntemlerden daha avantajlıdır.

Tablo 3.9. L grubu ürünler için varyans analizi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	54	28268980	2826890	523500	701,69	0,000
Linear	9	27918964	97017	10780	14,45	0,000
A	1	2549211	19641	19641	26,33	0,000
B	1	19167523	14575	14575	19,54	0,000
C	1	5704020	33784	33784	45,28	0,000
D	1	158290	5047	5047	6,77	0,009
E	1	1205	5	5	0,01	0,936
F	1	18670	209	209	0,28	0,597
G	1	673	6198	6198	8,31	0,004
H	1	306627	4127	4127	5,53	0,019
J	1	12745	3853	3853	5,16	0,023
Square	9	135249	28702	3189	4,27	0,000
A*A	1	20963	6	6	0,01	0,930
B*B	1	29612	5706	5706	7,65	0,006
C*C	1	26256	3906	3906	5,24	0,022
D*D	1	139	9177	9177	12,30	0,000
E*E	1	7470	1068	1068	1,43	0,232
F*F	1	36021	12488	12488	16,74	0,000
G*G	1	8759	4923	4923	6,60	0,010
H*H	1	1707	10	10	0,01	0,906
J*J	1	4321	6	6	0,01	0,930



Tablo 3.9. L grubu ürünler için varyans analizi(devamı)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Interaction	36	214767	214767	5966	8,00	0,000
A*B	1	29945	94	94	0,13	0,723
A*C	1	224	1385	1385	1,86	0,173
A*D	1	285	3275	3275	4,39	0,036
A*E	1	2432	28334	28334	37,98	0,000
A*F	1	414	1011	1011	1,35	0,245
A*G	1	340	1778	1778	2,38	0,123
A*H	1	1702	23	23	0,03	0,862
A*J	1	4567	0	0	0,00	0,988
B*C	1	274	1993	1993	2,67	0,102
B*D	1	14386	25676	25676	34,42	0,000
B*E	1	1665	10975	10975	14,71	0,000
B*F	1	987	638	638	0,86	0,355
B*G	1	12607	3607	3607	4,84	0,028
B*H	1	22174	2176	2176	2,92	0,088
B*J	1	0	2100	2100	2,81	0,094
C*D	1	93	16257	16257	21,79	0,000
C*E	1	20872	15666	15666	21,00	0,000
C*F	1	4367	42	42	0,06	0,812
C*G	1	906	851	851	1,14	0,286
C*H	1	1158	988	988	1,32	0,250
C*J	1	402	983	983	1,32	0,251
D*E	1	5998	9798	9798	13,13	0,000
D*F	1	39278	54265	54265	72,74	0,000
D*G	1	5681	4320	4320	5,79	0,016
D*H	1	4718	69	69	0,09	0,762
D*J	1	185	102	102	0,14	0,712
E*F	1	457	213	213	0,29	0,593
E*G	1	871	533	533	0,71	0,398
E*H	1	17802	105	105	0,14	0,708
E*J	1	150	1	1	0,00	0,966
F*G	1	10027	12166	12166	16,31	0,000
F*H	1	3105	3450	3450	4,62	0,032
F*J	1	3733	3534	3534	4,74	0,030
G*H	1	728	2117	2117	2,84	0,092
G*J	1	2230	2181	2181	2,92	0,087
H*J	1	5	5	5	0,01	0,933
Residual Error	1970	1469737	1469737	746		
Lack-of-Fit	922	1109770	1109770	1204	3,50	0,000
Pure Error	1048	359967	359967	343		
Total	2024	29738717		Total		

Tablo 3.9.'de verilen varyans analizinde YYM ile ana etkilerde E ve F faktörlerinin diğer yöntemlerden farklı olarak p değerinin 0,05'in altında kalarak anlamsız olduğu gözlemlenmiştir. Diğer faktörlerinde analiz için anlamlı oldukları görülmektedir.

Tablo 3.10. Yanıt değişkenleri için regresyon formülleri(YYM).

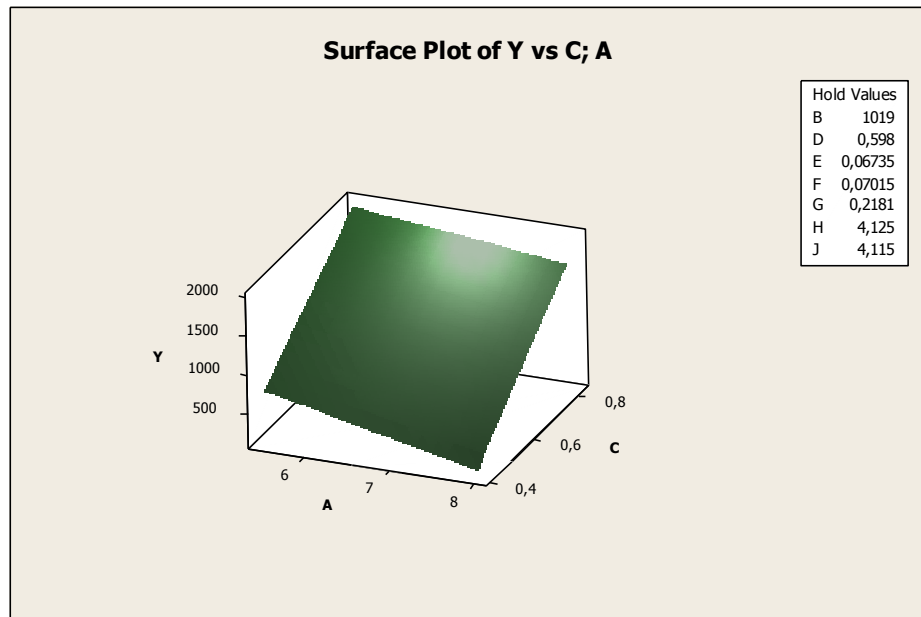
Ürün	Formül	Sapma	R-Sq	R-Sq(adj)
L	$Y = 1813,88 - 139,434*A - 0,87623*B + 1328,27*C - 1863,71*D - 970,087*E + 24948,8*F - 757,957*G - 581,445*H + 629,338*J + 0,500324*A*A - 0,00106417*B*B - 623,546*C*C - 1470*D*D + 6704,8*E*E - 11892,2*F*F - 5628,3*G*G + 7,1664*H*H + 3,39542*J*J - 0,0611444*A*B + 278,72*A*C + 253,216*A*D - 2934,44*A*E + 238,36*A*F - 240,364*A*G - 19,0345*A*H + 1,66743*A*J + 0,887589*B*C + 3,76586*B*D - 28,3436*B*E - 4,72551*B*F + 2,95069*B*G + 2,39335*B*H - 2,3395*B*J - 3336,64*C*D + 35600,2*C*E - 1261,49*C*F - 1443,95*C*G - 1754,82*C*H + 1740,7*C*J + 25316,2*D*E - 46478,2*D*F + 3387,57*D*G + 412,125*D*H - 502,975*D*J + 33150,8*E*F + 16081,2*E*G + 1343,46*E*H + 153,792*E*J + 43087*F*G + 18886,5*F*H - 19270,4*F*J - 4360,03*G*H + 4443,75*G*J - 7,66106*H*J$	27,31	95,06%	94,92%
N	$Y = 1091,2 - 28,671*A - 2,392*B + 3027,4*C + 417,26*D - 2738,7*E - 4938,4*F - 1037,5*G - 665,93*H + 689,33*J + 1,8889*A*A + 0,0015475*B*B + 1724,8*C*C + 5,5859*D*D - 49105*E*E + 2418*F*F - 3981,3*G*G - 789,74*H*H - 611,94*J*J + 0,08471*A*B - 129,23*A*C - 67,098*A*D + 314,53*A*E - 18,116*A*F + 248,12*A*G - 33,067*A*H + 31,705*A*J - 3,1139*B*C + 0,27794*B*D + 9,1773*B*E + 6,6394*B*F + 3,9627*B*G + 0,7905*B*H - 0,86427*B*J + 25,899*C*D - 4031,7*C*E - 7761,4*C*F - 3098*C*G + 799,39*C*H - 674,49*C*J - 1294,7*D*E - 6631,6*D*F - 1158,9*D*G + 2227,5*D*H - 2244,3*D*J - 3901,6*E*F - 21314*E*G - 18398*E*H + 18876*E*J + 33986*F*G + 608,61*F*H - 668,19*F*J - 2737,1*G*H + 2695,2*G*J + 1397,5*H*J$	21,1	94,99%	94,87%

İkili etkileşimlerde yine birçok etkileşimin anlamsız olduğunu söylemek mümkündür. Bunun yanında birçok faktörün veya faktör etkileşiminin p anlamlılık düzeylerinin 0,05'ten küçük olduğunu görmek mümkündür. Örneğin, A faktörü doğrusal modeller için tek başına anlamlı bir faktördür. E ve F faktörleri ise tek başına anlamlı olmadığı

görülmüştür. Çünkü p anlamlılık değerlerinin 0,05 değerinden oldukça büyük olduğu gözlemlenmektedir. Çalışma boyunca bütün faktörler dikkate alınmıştır. Tablo 3.10.'da belirtilen regresyon formülleri elde edilmiştir.

Tablo 3.10.'da elde edilen sonuçları incelediğimizde L ürünü için 27,31MPa düzeyinde bir sapma ve 94,92% oranında ise bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri açıklama kabiliyeti olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde N ürünü için 21,1MPa düzeyinde bir sapma gerçekleşirken 94,87% oranında güvenilirlik söz konusudur. Bu verileri bir istatistik analiz için oldukça güçlüdür şeklinde yorumlamak mümkündür. Ayrıca regresyon analizi ve faktöriyel tasarıma göre hata oranlarının daha düşük olduğu ve güvenilirlik düzeylerinin arttığı gözlemlenmiştir. Diğer eşitlikler Ek 3.'te verilmiştir.

Şekil 3.9.'de belirtildiği gibi YYM yöntemleri için yüzey grafiklerinden de önemli bilgiler elde etmek mümkündür. L grubu ürünler için yüzey grafikleri aşağıdaki gibidir.

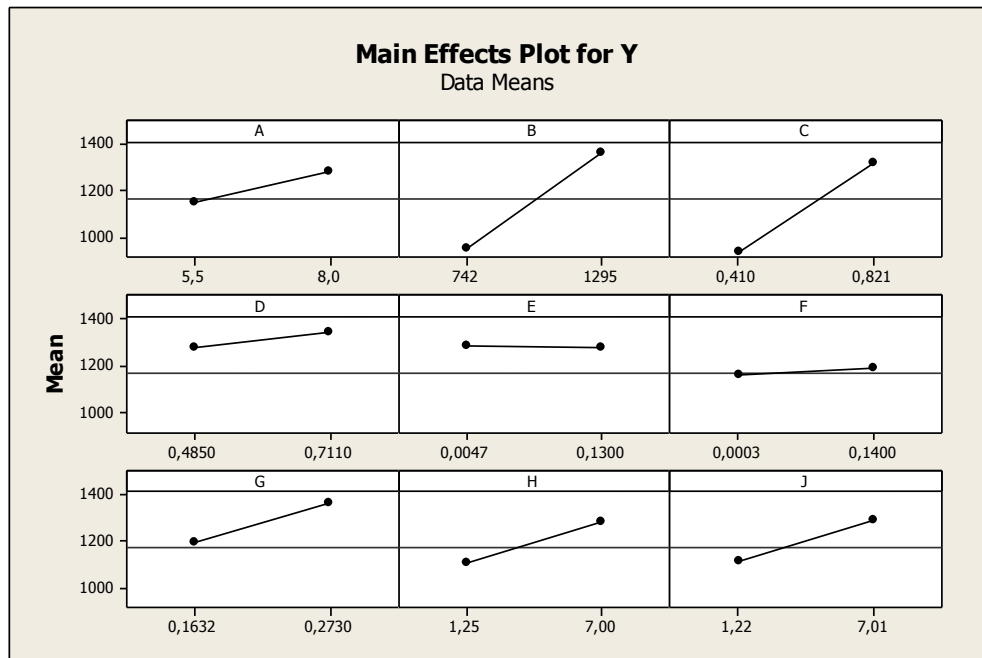


Şekil 3.9. Karbon ve Hammadde Çapı etkileşimi için yanıt yüzeyi grafiği

Şekil 3.9.'de belirtilen ikili etkileşimler için kayda değer sonuçlar elde etmek mümkündür. Hammadde Çapı(A) ve Karbon(C) değişkenleri arasında eğrisel bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Mukavemeti artırmak için ikili etkileşimde karbon oranı azaltmak ve hammadde çapını asgari düzeye çekmekle sağlanacağı görülmektedir. Azaltmak için de tam tersini söylemek mümkündür. Ancak grafikten nicel olarak ifade

etmek mümkün olmadığı için hammadde çapındaki artış ve azalış (eğim dikkate alınarak) çok büyük etkiye sahip olmadığı söylenebilir. Buradan çıkarılacak sonuç grafik metotlarının çok sayıda faktör olan problemler için etkin olmadığını göstermektedir. Bu çalışmada bu çözüm yöntemi sadece know-how sağlamak için kullanılmıştır.

Yine önemli bir konu olan ana etkileri ana etkiler grafik çözümü ile elde etmek mümkündür. Grafik yöntemleri oldukça pratik yöntemler olduğu için uygulamalarda hızlı sonuçlar almak için kullanılabilirler. Şekil 3.10.'de de görüleceği üzere bütün faktörleri tek bir çerçevede incelemek mümkündür.



Şekil 3.10. Faktörler için ana etkiler diyagramı

Ana etkiler diyagramı sayesinde yanıt için ana faktörlerin etkilerini gözlemlemek mümkündür. Yapmış olduğumuz bu çalışma için oldukça efektif bir yöntem olduğunu söylemek mümkündür. Doğrudan bir parametrenin alt düzeyi ve üst düzeyi için yorumlar yapılabilir. Örneğin mukavemet için maksimum bir düzey öngörülüyorsa etkiler diyagramlarında en üstteki noktalar dikkate alınır. Eğer minimum bir düzey isteniyorsa da en altta kalan noktalar dikkate alınır. L grubu ürün için verilen bu diyagramda mukavemeti maksimum düzeyde elde etmek için A, B, C, D, F, G, H ve J faktörleri için faktör düzeylerinin üst olanı tercih edilmelidir. E faktörü içinde alt

düzyey seçilmelidir. Yani E faktörü azaldığında diğeryeleri de arttığında maksimum tel mukavemetlerini elde etmek mümkündür.

### 3.2. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Mukavemet hatalarını azaltmak üzere yaptığımız bu çalışmada farklı yöntemlere başvurularak daha az hata miktarı ile en güvenilir yöntem araştırılmıştır. Bütün ürün grupları için 3 farklı analiz yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 3.11. Yöntemlerin karşılaştırılması

Ürün	Yöntem	Sapma	R-Sq	R-Sq(adj)
<b>K</b>	Regresyon	19,33	83,70%	<b>82,40%</b>
	Faktöriyel Tasarım	17,83	86,08%	<b>84,98%</b>
	Yanıt-Yüzey Metodolojisi	17,51	86,79%	<b>85,52%</b>
<b>L</b>	Regresyon	30,05	93,90%	<b>93,90%</b>
	Faktöriyel Tasarım	27,52	94,96%	<b>94,85%</b>
	Yanıt-Yüzey Metodolojisi	27,31	95,06%	<b>94,92%</b>
<b>M</b>	Regresyon	34,12	77,90%	<b>77,90%</b>
	Faktöriyel Tasarım	32,4	80,16%	<b>80,09%</b>
	Yanıt-Yüzey Analizi	31,85	80,83%	<b>80,75%</b>
<b>N</b>	Regresyon	24,87	92,90%	<b>92,90%</b>
	Faktöriyel Tasarım	21,43	94,81%	<b>94,70%</b>
	Yanıt-Yüzey Metodolojisi	21,1	94,99%	<b>94,87%</b>

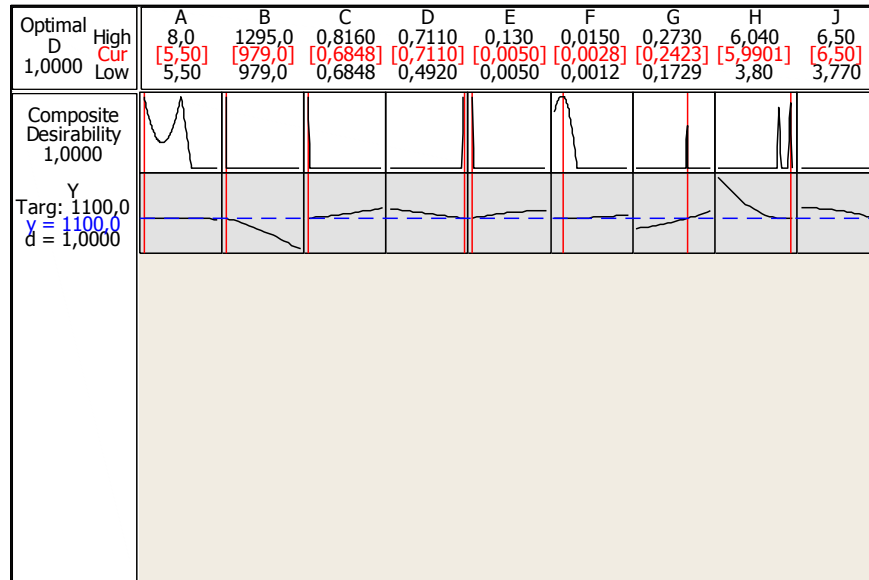
Deney tasarımlarında R-Sq(adj) değeryerinin yüksek olması analizden elde edilecek sonuçların daha doğru ve daha sağlıklı olması anlamına gelir [25]. Determinasyon katsayısı değeryerşkenlerin yanıtı hangi oranda açıkladığı ifade eder. Tablo 3.11.'dan bir örnek vermek gerekirse K ürün grubu için YYM ile elde edilen çözümün R-Sq(adj) değeryerinin 85,52% olduğu görölmektedir. Yani bu yanıt için analiz ettiğimiz değeryerşkenler yanıt değeryerşkeninin 85,52%'lik bir alanını kapsamaktadır yorumu yapılır.

Tablo 3.11'da belirtilen karşılaştırmalara göre ilk olarak sapmalar ve güvenilirlik düzeyleri dikkat çekmektedir. YYM'nin bütün ürün grupları için sapmalarının daha düşük ve güvenilirlik düzeylerinin daha yüksek olduğu görölmüştür. Sapma oranı düşük ve güvenilirliği yüksek olan yöntemler her zaman daha avantajlıdır. Bu kapsamda YYM yönteminin bu çalışma için daha etkin bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

M ürün grubu için yapılan deney sayısının diğerlerinden fazla olmasına rağmen aynı faktör miktarına rağmen daha düşük güvenilirliklerde sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Bu ürün grubunun üretim süreçleri boyunca sadece tavlama işlemine tabi tutulmadığını doğrular niteliktedir. Bu verilere dayanarak direkt olarak hammadde üzerinde yorumlar yapılabilir. Filmaşınlarındaki değişkenliklerin kabul edilebilirlik düzeyleri belirlenebilir. Bunun yanında tedarikçilere etkin dönüşler yapılarak üretim hatlarında hammaddenin değişkenliği azaltılabilir.

YYM ile ana faktör etkilerini ise Şekil 3.10.'de belirtilen veriler ışığında yorumlamak mümkündür. Bu şekilde belirtilen grafiklerde grafiğin eğiminin sonuca olan etkisinin yüksek olacağını söylemek mümkündür. O halde B ve C faktörleri için faktörlerin etkisinin çok yüksek olduğu ifade edilebilir. Diğerleri ise daha az etkilidir şeklinde yorumlanabilir. B ve C faktörlerinin artmasıyla birlikte mukavemet yanıt değişkeninde de önemli artışlar görülür.

Yanıt optimizasyonu yaklaşımı ile arzu edilen değere yönelik parametrelerin optimum düzeylerini tahmin etmek mümkündür. Bütün ürün grupları için birer örnek çalışma yapılmış ve YYM yaklaşımı ile yanıtın optimum parametreleri gözlemlenmiştir.

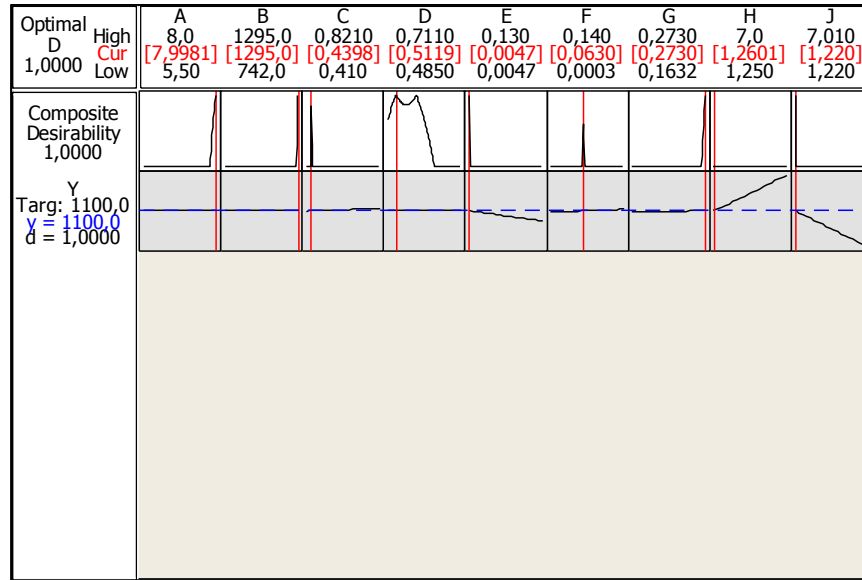


Şekil 3.11. K ürünü için yanıt optimizasyonu yaklaşımı

Şekil 3.11.'de K ürünü için 1100MPa değerinde bir çelik tel elde etmek istediğimizde bu değere yönelik optimum parametreler görülmektedir. Burada elde edilen optimum

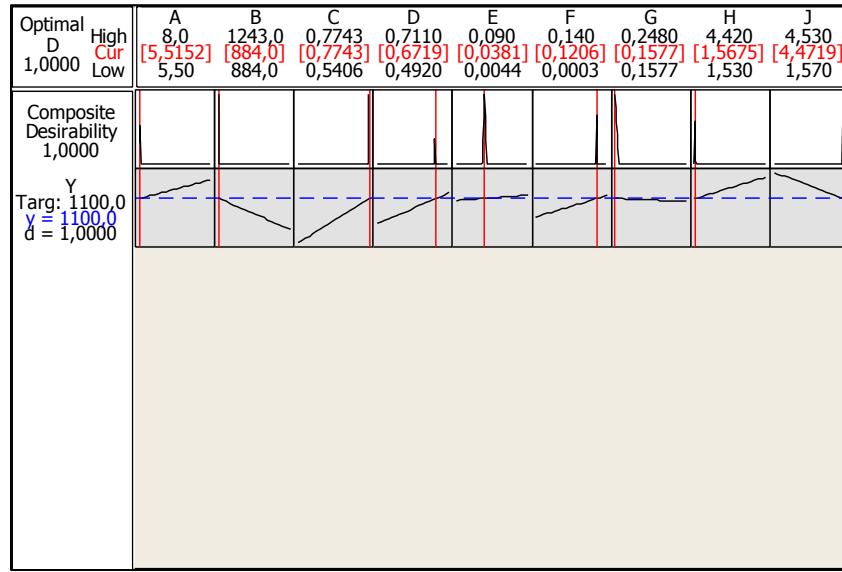
faktör sevipleri için proseslerde bir seçim yapılması gerekir bu düzeyleri sağlayan hammadde ve iş emirlerinin üretime verilmesi gerekir. Dolayısıyla bu parametreler yardımıyla arzu edilen mukavemet kabul edilebilir sapmalar dahilinde elde edilir.

Yanıt optimizasyonu yaklaşımı ile birlikte çeşitli parametrelere yönelik elde edilen kombinasyonlar mümkün olduğu gibi parametrelere yönelik sezgisel kontroller sağlamakta mümkündür. Yani herhangi bir veya birden çok parametreyi sabit alarak süreçte rahatlıkla diğer parametrelerin değişimini ve buna bağlı olarak yanıt değişkeninin değişimini izlemek mümkündür.



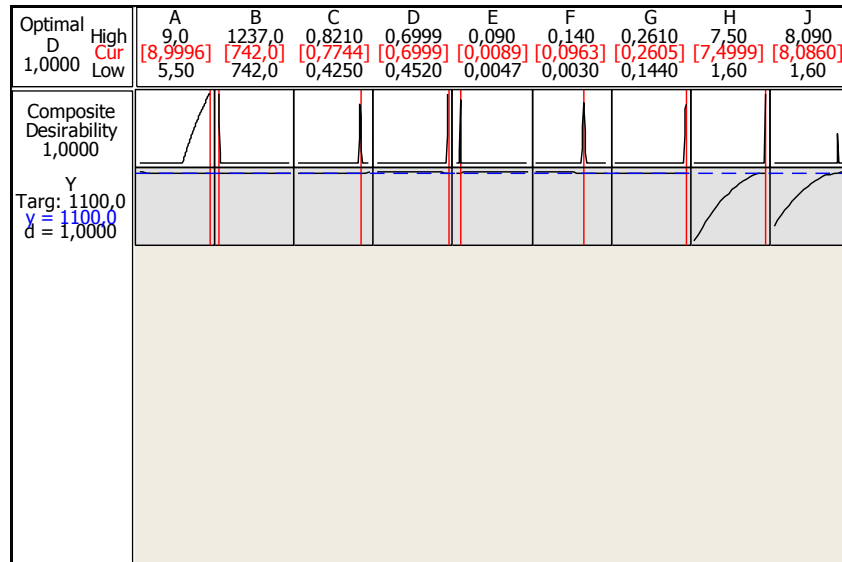
Şekil 3.12. L ürünü yanıt optimizasyonu yaklaşımı

Şekil 3.12.'de L ürün grubuna ait yanıt optimizasyonu yaklaşımı görülmektedir. Yanıt optimizasyonu yaklaşımında hedef bir nokta olabileceği gibi bir aralıkta olabilir dolayısıyla bu ürün gruplarında hedef yerine aralık belirlemekte mümkündür. Eğer aralık söz konusu olursa hedeflenen aralık için optimum değerler belirlenmiş olur. Bu kullanımlar amaca göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bizim çalışmamızda da hedef bir mukavemet değeri belirlenmiştir.



Şekil 3.13. M ürünü için yanıt optimizasyonu yaklaşımı

Şekil 3.13.'te M ürün grubuna ait yanıt optimizasyonu yaklaşımı görülmektedir. Yanıtla yönelik optimum parametreler elde edilmiştir. Optimum parametrelerin sadece alt ve üst düzeyler arasında olduğuna dikkat edilmelidir. Zira deney tasarımı yöntemleri genellikle çalışılan veriler kapsamında anlamlı sonuçlar verir ve çalışılan veri kümesinin dışında elde edilen sonuçlar tutarlı olmayabilir. Bu yüzden analizlerde hatalara sebebiyet vermemek ve bir sürecin yanlış yorumlanmasına sebebiyet verilebilir.



Şekil 3.14. N ürünü için yanıt optimizasyonu yaklaşımı

Şekil 3.14.'te N ürün grubuna ait optimum yanıt parametreleri aynı şekilde elde edilmiştir.



Tablo 3.12. Hedef yanıt değişkeni için optimum faktör değerleri

<b>Faktörler</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>Birim</b>
<b>A</b>	5,50	7,9981	5,5152	8,9996	mm
<b>B</b>	979	1295	884	742	MPa
<b>C</b>	0,6848	0,4397	0,7743	0,7744	%
<b>D</b>	0,7110	0,5118	0,6719	0,6999	%
<b>E</b>	0,0050	0,0047	0,0381	0,0089	%
<b>F</b>	0,0028	0,0629	0,1206	0,0963	%
<b>G</b>	0,2423	0,27	0,1577	0,2605	%
<b>H</b>	5,9901	1,2601	1,5675	7,4999	mm
<b>J</b>	6,50	1,22	4,4719	8,0860	mm
<b>Ý</b>	<b>1100</b>	<b>1100</b>	<b>1100</b>	<b>1100</b>	<b>MPa</b>

Üretim planlama süreçlerinin en önemli sorunlarından biri olan hammaddelerin efektif kullanılmamasıdır. Yanlış ürün ağaçlarının üretimde hatalı ürünlere sebebiyet verdiği bilinmektedir. Bu süreçlerde ürün ağaçlarının ve iş emirlerinin daha doğru oluşturulması adına süreci etkileyen parametrelerin duyarlılıklarının ölçülmesi ve formül haline getirilmesi ile birlikte optimum noktaları elde etmek mümkündür.

Bütün ürün grupları için elde edilen sonuçlar Tablo 3.12.'de görülmektedir. Eğer ana faktörler burada belirtildiği gibi süreçlere dahil edilirse Ý yanıt değişkenini 1100MPa olarak elde etmek mümkündür. Burada gerçekte birebir aynı değeri elde etmek mümkün olmayabilir. Dolayısıyla sapma miktarları da dikkate alınır. Analizler boyunca elde edilen sadece 20-30MPa'dan fazla olmadığı görülmüştür. Bu değerler çelik tel üretimi için oldukça küçük ve kabul edilebilir değerlerdir. Sapmalarda dikkate alınarak istenen mukavemet kalitesine sahip ürünü elde etmek mümkün hale gelmiştir.

## 4. BÖLÜM

### TARTIŞMA – SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 4.1. Tartışma – Sonuç ve Öneriler

Kalite hatalarını ve dolayısıyla maliyetleri azaltmaya yönelik yapılan bu çalışmada üç farklı analiz metodu kullanılarak bu analizlerin kendi aralarında karşılaştırmaları ve gerçek hayatta verdiği sonuçların etkinliği elde edilmiştir. Faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin birçoğunun yanıt için anlamlı olduğu görülmüştür. Bunun yanında birden çok tekrarlı deneylerin tek tekrarlı deneylerden daha etkin sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada bir ürün grubu için ölçülebilen maksimum düzeyde çeşitlilik sağlanarak en düşük 630 adet deney incelenmiştir. Çeşitlilik ve veri sayılarındaki artışın daha etkin sonuçlar verdiği ve sapmaların daha az olduğu görülmüştür.

Bütün bu analizlerin sonunda mukavemet bağımlı değişkeni formülize edilerek elde edilen bu formüller süreçlerde kullanıma sunulmuştur. Kullanılan yöntemler içerisinde en etkili yöntemin YYM yöntemi olduğu görülmüştür. Çünkü bütün ürün grupları için en düşük hata oranı ve en yüksek güvenilirliği sağlamıştır. Çalışmada kullanılan 2<sup>9</sup> tam faktöriyel tasarımında oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak YYM yöntemin diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermesi bu yöntemin tercih sebebi olmuştur.

Süreçlere YYM ile elde edilen bu formüller dahil edilmiş ve süreçler izlenmiştir. Teoride elde edilen duyarlılık düzeylerinin üretim süreçlerinde hemen hemen aynı sonuçlar verdiği görülmüştür. Analizlerin doğrulukları ve problemlere karşı çözüm kabiliyetleri uygulama ile doğrulanmıştır.

Faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin etkileri ölçülmüş ve hammadde kullanımını daha etkin yönetmek üzere efektif bir metot geliştirilmiştir. Faktörlerin sürece olan etkileri proses için önemli know-how sağlamıştır. Analiz boyunca faktör etkileri tespit edilerek

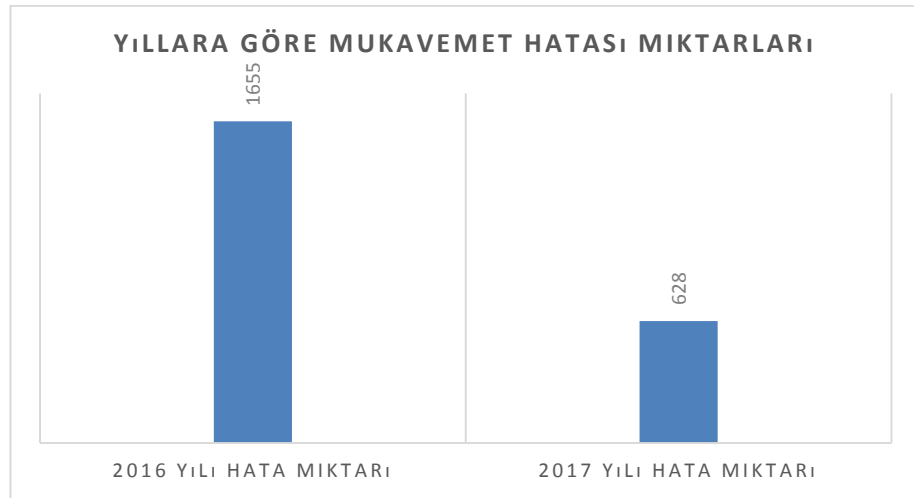
Tablo 3.9.'da belirtildiği üzere hangi parametrelerin tel mukavemeti için ne kadar payı olduğunu ya da elde edilen formüller yardımıyla teorik olarak kolay bir şekilde gözlemlemek mümkündür.

İstenilen mukavemet düzeyine sahip teller elde etmek için duyarlılıkların biliniyor olması süreci daha efektif bir şekilde yönetme fırsatı sunmuştur. Örneğin, L grubu teller için elde edilen sonuçlara göre yüksek mukavemette teller elde etmek için tüm faktörlerin üst düzeyleri baz alınması gerektiği Fosfor oranının ise alt düzeyinin dikkate alınması gerektiği görülmüştür. Bu verileri formüller yardımıyla spesifik bir şekilde belirlemek mümkündür.

Çalışmada elde edilen know-how yeni ürünlerin elde edilmesi için gerekli parametrelerin nasıl belirleneceği konusunda bir yöntem oluşturmuştur. Bu yönüyle eşitliklerin ve sonuçların AR-GE, Tasarım ve özel proses gerektiren çalışmalar içinde önemli katkılar sağlayacağı beklenmektedir. Yüksek ya da düşük mukavemetli çelik teller üretmek için gereken parametreleri elde edilen formüllerle rahatlıkla hesaplamak mümkündür.

Çelikler içerisindeki karbon miktarının çeliğin ana maliyet unsuru olarak biliniyor olması da önemli noktalardan biridir. Çelik alaşımlarının maliyetleri büyük ölçüde içerisinde karbon miktarı ile orantılıdır. Dolayısıyla süreçlerde sadece hatalı ürünlerin getirdiği maliyetlerin yanında bir de gizli ama miktarı büyük maliyetler söz konusudur. Bir üründe yüksek karbonlu çelik kullanılarak elde edilen ürünün maliyeti ile düşük karbonlu çelik kullanılarak elde edilen aynı mukavemette telden yüksek karbonlu olan telin maliyeti hammaddeden dolayı daha yüksektir. Bu maliyeti herhangi bir kayıt olmadığı için ölçmek zordur ancak yüksek karbonlu çelikler maliyetler daha yüksektir. Yani 0,75% karbon oranına sahip bir çelik ile 0,70 karbon oranına sahip çeliğin maliyeti farklıdır.

Çalışmada bir yıl süresince kayıt altına alınan deneyler yardımıyla edinilen regresyon denklemleri uygulama süreçlerinde sonraki için yıl aktif olarak kullanılmıştır. 2017 yılı içerisinde süreç yeni YYM yöntemi sonucu elde edilen denklemler yardımıyla yeniden yönetilmiş ve sonuç olarak mukavemete bağlı kalite hataları %62 oranında azaltılmıştır.



Şekil 4.1. Yıllara göre hata miktarları

Bu süreçte hesaplanamayan doğru ürün kullanım maliyetleri ve bu yöntem sayesinde elimine edildiği bilinen bir takım maliyetler de söz konusudur. Ancak ölçülmediği için belirtilmemiştir. Bunlardan bazıları karbon miktarına bağlı maliyetler, yeniden işleme maliyetleri ve ekstra işçilik maliyetleri olarak tanımlamak mümkündür. Hesaplanmayan bu maliyetler ise kalite hatalarındaki bu denli bir azalış ile önemli azalışlara sebep olacağını görmek mümkündür. Dolaylı olarak artan mukavemet hataları ile birlikte verimliliğin artacağı süreçlerin tekrarlanmasının önüne geçileceğini söylemek mümkündür.

Deney tasarımı yöntemlerinin şirketin bir politikası olan “Tek seferde doğru ürün” anlayışıyla paralel bir yöntem olduğunu söylemekte mümkündür. Çünkü bir ürünün daha üretilmeden önce parametrelere bağlı olarak karakteristiklerini tahmin etmek mümkün hale gelmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Evans, J. R., & Lindsay, W. M. 2002. The Management and Control of Quality (Vol. 5, pp. 115-128). Cincinnati, OH: South-Western. 912 s.
2. Şirvancı, M. 1997. Kalite İçin Deney Tasarımı" Taguchi Yaklaşımı". Literatür, İstanbul, 110 s.
3. Montgomery, D. C. 2014. Textbook: Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 752 s.
4. Akman, G., & Özkan, C. 2011. Sac imalatında karşılaşılan yapışma probleminin deney tasarımı ile çözümü. **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, **12** (2), 187-199.
5. Baynal, K., & Terzi, Ü. 2005. Çoklu kalite başarımlarının özelliklerinin hedef programlama ve Taguchi yöntemi kullanılarak eniyilenmesi., 5. *Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 25-27 Kasım, İstanbul.
6. Savaşkan, M., Taptık, Y., & Ürgen, M. 2010. Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu. **İTÜDERGİSİ/d**, **3** (6).
7. Wasmer, K., Pochon, P. M., Sage, D., & Giovanola, J. H. 2017. Parametric experimental study and design of experiment modelling of sapphire grinding. **Journal of Cleaner Production**, **141**, 323-335.
8. Regti, A., Laamari, M. R., Stiriba, S. E., & El Haddad, M. 2017. Use of response factorial design for process optimization of basic dye adsorption onto activated carbon derived from Persea species. **Microchemical Journal**, **130**, 129-136.
9. Pandey, R. K., Senthil, P., Boriwal, L., & Malviya, A. 2017. Experimental investigation on influence of ECM process parameters on responses using full factorial design. **Materials Today: Proceedings**, **4** (2), 3666-3671.
10. García-Cuadrado, J., Rodríguez, A., Cuesta, I. I., Calderón, V., & Gutiérrez-González, S. 2017. Study and analysis by means of surface response to fracture behavior in lime-cement mortars fabricated with steelmaking slags. **Construction and Building Materials**, **138**, 204-213.

11. Gunaraj, V., & Murugan, N. 1999. Application of response surface methodology for predicting weld bead quality in submerged arc welding of pipes. **Journal of Materials Processing Technology**, **88** (1), 266-275.
12. Pačaiová, H., Sinay, J., Turisová, R., Hajduová, Z., & Markulík, Š. 2017. Measuring the qualitative factors on copper wire surface. **Measurement**, **109**, 359-365.
13. Lundstedt, T., Seifert, E., Abramo, L., Thelin, B., Nyström, Å., Pettersen, J., & Bergman, R. 1998. Experimental design and optimization. **Chemometrics and intelligent laboratory systems**, **42** (1), 3-40.
14. Michaelis, M., & Leopold, C. S. (2015). A measurement system analysis with design of experiments: Investigation of the adhesion performance of a pressure sensitive adhesive with the probe tack test. **International journal of pharmaceutics**, **496** (2), 448-456.
15. Efendioğlu, D. 2013. PEM Yakıt Hücresi Performansının Deney Tasarımı Kullanılarak Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 171 s.
16. Lazic, Z. R. 2004. Design of Experiments in Chemical Engineering: A Practical Guide. John Wiley & Sons., Weinheim, Baden-Württemberg, 620 s.
17. Mason, R. L., Gunst, R., F., Hess J., L. 2003 “Statistical Design and Analysis of Experiments With Applications to Engineering and Science” Second Edition Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 549 s.
18. Collins, L. M., Dziak, J. J., Kugler, K. C., & Trail, J. B. 2014. Factorial experiments: efficient tools for evaluation of intervention components. **American journal of preventive medicine**, **47** (4), 498-504.
19. Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. 2016. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. John Wiley & Sons., Hoboken, New Jersey, 856 s.
20. Vasandani, P., Mao, Z. H., Jia, W., & Sun, M. 2016. Design of simulation experiments to predict triboelectric generator output using structural parameters. **Simulation Modelling Practice and Theory**, **68**, 95-107.

21. He, Z., Zhang, X. T., & Xie, G. Q. 2010. Product quality improvement through response surface methodology: A case study. **Phuket, Thailand, S4.**
22. Knights, P. F. 2001. Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic scatterplots. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, **7** (4), 252-263.
23. Dhat, S., Pund, S., Kokare, C., Sharma, P., & Shrivastava, B. 2017. Risk management and statistical multivariate analysis approach for design and optimization of satranidazole nanoparticles. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, **96**, 273-283.
24. Dos Reis, G. S., Wilhelm, M., de Almeida Silva, T. C., Rezwan, K., Sampaio, C. H., Lima, E. C., & de Souza, S. M. G. U. 2016. The use of design of experiments for the evaluation of the production of surface rich activated carbon from sewage sludge via microwave and conventional pyrolysis. **Applied Thermal Engineering**, **93**, 590-597.
25. Chen, L., Zhang, Z., Gong, W., & Liang, Z. 2015. Quantifying the effects of fuel compositions on GDI-derived particle emissions using the optimal mixture design of experiments. **Fuel**, **154**, 252-260.
26. Behjoomanesh, M., Keyhani, M., Ganji-azad, E., Izadmehr, M., & Riahi, S. 2015. Assessment of total oil production in gas-lift process of wells using Box–Behnken design of experiments in comparison with traditional approach. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, **27**, 1455-1461.

## EKLER

### EK 1.

K, M ve N ürün grupları için faktör alt ve üst düzeyleri aşağıdaki aşağıda ki gibidir.

Değişken (Faktör)	K Ürünü		M Ürünü		N Ürünü	
	Alt Düzey (-1)	Üst Düzey (+1)	Alt Düzey (-1)	Üst Düzey (+1)	Alt Düzey (-1)	Üst Düzey (+1)
A	5,50	8,00	5,50	8,00	5,50	9,00
B	979	1295	884	1243	742	1237
C	0,6848	0,8160	0,5406	0,7743	0,4250	0,8210
D	0,4920	0,7110	0,4920	0,7110	0,4520	0,6999
E	0,0050	0,1300	0,0044	0,0900	0,0047	0,0900
F	0,0012	0,0150	0,0003	0,1400	0,0030	0,1400
G	0,1729	0,2730	0,1577	0,2480	0,1440	0,2610
H	3,80	6,04	1,53	4,42	1,60	7,50
J	3,77	6,50	1,57	4,53	1,60	8,09



**EK 2.**

K ve M ürünleri için Tam Faktöriyel Tasarım ile aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir.

Ürün	Formül	Sapma	R-Sq	R-Sq(adj)
K	$1116,56-281,069*A-5,71942*B+4079,49*C-87,13*D+196459*E-272278*F+17189,2*G-2319,96*H+2535,73*J+0,046125*A*B+199,428*A*C+410,633*A*D-6035,16*A*E+7502,85*A*F+54,699*A*G+453,035*A*H-480,877*A*J+7,65551*B*C+0,0015*B*D+3,1812*B*E-83,2903*B*F-2,3414*B*G+10,8299*B*H-10,6233*B*J-4697,39*C*D-198906*C*E+357411*C*F-33417,7*C*G-16564*C*H+15897,9*C*J-40805,3*D*E+89181,1*D*F+7876,26*D*G+393*D*H-608,83*D*J-250912*E*F+32546,4*E*G-1621,75*E*H+1479,44*E*J+109091*F*G-21320,6*F*H+18824*F*J-1962,25*G*H+2423,42*G*J+23,8372*H*J$	17,83	86,08%	84,98%
M	$2970,92+70,0146*A+1,05145*B-1706,44*C-4961,65*D+17768,8*E-23481,3*F-2644,15*G+3373,26*H-3374,11*J+0,120038*A*B-188,417*A*C+41,8798*A*D+1198,78*A*E-244,932*A*F+19,364*A*G-146,158*A*H+136,026*A*J-1,0222*B*C-0,651429*B*D+13,251*B*E-3,73024*B*F+2,21188*B*G+1,74855*B*H-1,99559*B*J+7588,49*C*D-34330,1*C*E+12484*C*F-1177,44*C*G-3417,73*C*H+3490,55*C*J-10957,6*D*E+29607,3*D*F+1723,83*D*G-1982,66*D*H+1748,69*D*J+200851*E*F-29189,8*E*G+4707,54*E*H-5674,6*E*J-13950,4*F*G+42,79*F*H+560,99*F*J-218,14*G*H+303,27*G*J+39,1539*H*J$	32,4	80,16%	80,09%

**EK 3.**

K ve M ürünleri için Yanıt Yüzeyi Metodolojisi ile aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir.

Ürün	Formül	Sapma	R-Sq	R-Sq(adj)
K	$5320,48 - 152,583*A + 4,69568*B - 18622,9*C - 15879,9*D + 405525*E - 557865*F + 44679,2*G - 3806,98*H + 3891,94*J - 16,2785*A*A - 0,0051866*B*B + 10086,6*C*C - 1025,49*D*D - 22923,3*E*E + 1145947*F*F + 38822,6*G*G + 506,089*H*H - 73,3117*J*J + 0,255795*A*B + 107,014*A*C + 352,296*A*D - 115,916*A*E + 4389,97*A*F + 28,5355*A*G - 66,0928*A*H + 23,8816*A*J + 10,4844*B*C + 1,52154*B*D + 1,83865*B*E - 24,0501*B*F - 24,9142*B*G + 5,82398*B*H - 5,5692*B*J + 17713,3*C*D - 515683*C*E + 703920*C*F - 64027,1*C*G - 7001,17*C*H + 6449,41*C*J - 75760,7*D*E + 115695*D*F + 10675,2*D*G + 2084,52*D*H - 2393,25*D*J - 857477*E*F + 36545,8*E*G - 1556,02*E*H + 1413,05*E*J - 264,083*F*G - 22848*F*H + 19738,6*F*J - 6016,38*G*H + 6600,37*G*J - 396,811*H*J$	17,51	86,79%	85,52%
M	$485,269 - 16,1875*A - 3,0326*B + 6953,91*C + 1966,79*D + 7954,72*E - 17020,8*F - 4014,33*G + 3127,02*H - 3197,04*J + 18,6725*A*A + 0,00321658*B*B - 413,233*C*C - 3236,64*D*D + 11672,1*E*E + 11613,9*F*F + 5252,34*G*G - 1666,44*H*H - 1604,18*J*J + 0,25875*A*B - 427,309*A*C - 53,5869*A*D + 539,153*A*E - 171,574*A*F + 150,778*A*G - 134,638*A*H + 94,1631*A*J - 5,39962*B*C + 0,285909*B*D + 5,92626*B*E - 9,13992*B*F - 1,49874*B*G + 1,6197*B*H - 1,92952*B*J + 1948,11*C*D - 18827,9*C*E + 16814,3*C*F + 1692,41*C*G - 3237,33*C*H + 3556,29*C*J - 2387,48*D*E + 33735,2*D*F + 2497,42*D*G - 2102,16*D*H + 1983,44*D*J - 24603*E*F + 2050,1*E*G + 6507,87*E*H - 7671,43*E*J - 29102,2*F*G + 78,167*F*H + 63,2647*F*J + 256,141*G*H - 306,799*G*J + 3329,05*H*J$	31,85	80,83%	80,75%

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Yusuf Ziya ÇİÇEK

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 10 Eylül 1991, K.Maraş

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 531 881 0659

email: [ieziyacicek@gmail.com](mailto:ieziyacicek@gmail.com)

Yazışma Adresi: Mevlana Mah. Cemil Baba Cad. Leylak Apart. No. 43

Talas/KAYSERİ

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üni. Müh. Fak. End. Müh.	2014
Lise	Kahramanmaraş Lisesi, Kahramanmaraş	2009

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014- Halen	Has Çelik ve Halat San. Tic. A.Ş.	Uzman

### YABANCI DİL

İngilizce

### YAYINLAR

1. Cicek Y. ve Gurbuz F. "Product Quality Improvement In Patenting Process With Response Surface Methodology" International Conference, ICENTE Konya, Turkey, December 07-09, 2017, Abstract Book 2017, ss 74.