

**KAUÇUK ÜRETİMİNDE İSTATİSTİKSEL
DENEY TASARIM YÖNTEMİYLE
MAKİNE-SÜREÇ PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU
NEJLA DİKMEN ÖZKAN
Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ**

2019

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAUÇUK ÜRETİMİNDE İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIM
YÖNTEMİYLE MAKİNE-SÜREÇ PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

Nejla DİKMEN ÖZKAN

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ danışmanlığında, Nejla DİKMEN ÖZKAN tarafından hazırlanan “Kauçuk Üretiminde İstatistiksel Deney Tasarım Yöntemiyle Makine-Süreç Parametrelerinin Optimizasyonu” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Haldun TURAN

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Filiz GÜRTUNA

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAUÇUK ÜRETİMİNDE İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIM YÖNTEMİYLE MAKİNE-SÜREÇ PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Nejla DİKMEN ÖZKAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

Bu tezin amacı, istatistiksel deneysel tasarım uygulanarak bir kauçuk üretim işletmesinde kalite hatalarını minimize eden makine süreç parametrelerinin optimizasyonunu sağlamaktır. Bu amaçla, üretim sürecinde kalite özellikleri üzerinde etkisi önemli olan enjeksiyon makine parametreleri incelenmiştir. İstatistiksel deneysel tasarım sürecinde etkisi incelenen parametreler; kalıp sıcaklığı, pişme zamanı ve enjeksiyon hızı olarak belirlenmiştir. Deneyler, Çerkezköy/Tekirdağ bölgesinde bulunan ve sektöründe lider bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, faktöriyel deneysel tasarım uygulanarak çamaşır makinesinde kullanılan conta üretimi için deneysel tasarım noktaları oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarım noktalarında üretilen ürünlerin tepki değişkenleri (patlak olmaması, yırtık olmaması, yanık olmaması ve çapak olmaması) ölçülmüş ve her bir tepki değişkeni için regresyon modeli geliştirilmiş ve tepki değişkenlerini optimize eden makine süreç parametreleri belirlenmiştir. Geliştirilen modeller için güvenilirlik analizi yapılarak sonuçların uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Faktöriyel Tasarım, Optimizasyon, Deneysel Tasarım, Kauçuk, Makine-Süreç Parametreleri

2019, 79 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

OPTIMIZATION OF MACHINE-PROCESS PARAMETERS WITH STATISTICAL EXPERIMENT DESIGN METHOD IN RUBBER PRODUCTION

Nejla DİKMEN ÖZKAN

Tekirdag Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

The aim of this thesis is to provide optimization of machine process parameters which minimizes quality errors in a rubber production enterprise by applying statistical design of experiments. For this purpose, injection machine parameters which are important on quality characteristics in production process have been investigated. In the experimental experimental design process the effect of the following parameters are examined; mold temperature, burning period and injection rate. The experiments were carried out in a leading company in the Çerkezköy / Tekirdağ region. In this study, design points have been formed for the production of gasket used in the washing machines by applying full factorial experimental design. Reaction variables of the products produced at the design points created (no break, no tear, no burns and no burr) were measured and regression model was developed for each response variables and machine process parameters that optimize response variables are determined. Reliability analysis was performed for the developed models and the applicability of the results was evaluated

Keywords: Factorial Design, Optimization, Experimental Design, Rubber, Machine-Process Parameters

2019, 79 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET .....	.i
ABSTRACT .....	.ii
İÇİNDEKİLER.....	.iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	.v
ŞEKİL DİZİNİ.....	.vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	.vi
TEŞEKKÜR.....	.ix
1. GİRİŞ.....	.1
1.1 Problem Tanımı .....	.2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	.5
1.3 Çalışmanın Adımları ve İş Akışı .....	.6
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	.8
3. MATERYAL ve YÖNTEM	13
3.1 Deneyleerin Yapıldığı İşletme.....	13
3.2 Deneyleerde Kullanılan Hammadde.....	14
3.3 Deneyleerde Kullanılacak Ürün (FX 887 Conta) İçin Üretim Süreci	17
3.4 Hammaddeye Uygulanan Testler ve Ölçüm Cihazları	24
3.4.1 Rheometre Testi.....	25
3.4.2 Sertlik Ölçme Testi	26
3.4.3 Yoğunluk Testi.....	27
3.5 Deneysel Tasarım Yöntemi	28
3.5.1 Deneysel Tasarım Türleri.....	35
3.5.2 Tepki Yüzeyleri Tasarımı	36
3.5.3 Faktöriyel Tasarım	40
3.5.4 Deneysel Tasarım Uygulaması	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	49
4.1 Patlak Olmaması Durumu İçin Verilerin Analizi	50
4.2 Yırtık Olmaması Durumu İçin Verilerin Analizi	54
4.3 Yanık Olmaması Durumu İçin Verilerin Analizi	59

4.4 Çapak Olmaması Durumu İçin Verilerin Analizi.....	64
4.5 Çoklu Tepki Optimizasyonu.....	69
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	71
6. KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Deneysel tasarım uygulanarak geliştirilen optimizasyon çalışmaları	12
Çizelge 3.1 : Kauçukların kullanım alanlarına göre sınıflandırılması.....	15
Çizelge 3.2: FX 887 contanın iş akış süreci	18
Çizelge 3.3: Karşılaşılan hataların gruplandırılması	23
Çizelge 3.4: EPDM malzemenin alt ve üst kabul limitleri	25
Çizelge 3.5: 2 faktörlü deney için ANOVA çizelgesi	43
Çizelge 3.6: EPDM conta üretiminde karşılaşılan hata türleri	45
Çizelge 3.7: Girdi faktörleri ve seviyeleri	47
Çizelge 3.8: Kodlanmış faktörler ve gerçek faktörler	47
Çizelge 3.9: Deney sonuçları.....	48
Çizelge 4.1: Deney sonuçlarının minitab çıktıları	49
Çizelge 4.2: Patlak olmaması için varyans analizi tablosu.....	50
Çizelge 4.3: Patlak olmaması model istatistikleri	53
Çizelge 4.4: Yırtık olmaması için varyans analizi tablosu	55
Çizelge 4.5: Yırtık olmaması model istatistikleri.....	58
Çizelge 4.6: Yanık olmaması için varyans analizi tablosu	60
Çizelge 4.7: Yanık olmaması model istatistikleri.....	63
Çizelge 4.8: Çapak olmaması için varyans analizi tablosu	65
Çizelge 4.9: Çapak olmaması model istatistikleri	67

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kauçuk mamul üretimi (PAGEV-Türkiye kauçuk sektör izleme raporu 2017)	2
Şekil 1.2 : FX 887 conta üretimi sırasında karşılaşılan hata adetleri (2017).....	4
Şekil 1.3 : FX 887 conta üretimi sırasında karşılaşılan hata adetleri (2018).....	4
Şekil 1.4 : Çalışmada uygulanacak iş akış şeması.....	7
Şekil 3.1 : FX 887 sızdırmazlık contası.....	14
Şekil 3.2 : EPDM malzemenin kullanım alanları	17
Şekil 3.3 : Çalışma kapsamında üretilen conta örneği.....	19
Şekil 3.4 : Deneyin yapıldığı enjeksiyon makinesi	20
Şekil 3.5 : Çapak temizliği yapılacak malzeme örneği	20
Şekil 3.6 : Kalite kontrolü yapılacak malzeme örneği.....	21
Şekil 3.7 : Kalite kontrolü yapılacak malzemedeki kontrol noktaları ve özellikleri	22
Şekil 3.8 : Sevk edilecek contalar.....	23
Şekil 3.9 : Karşılaşılan hata örnekleri.....	24
Şekil 3.10 : Rheometre test cihazı.....	26
Şekil 3.11 : Sertlik ölçme cihazı-Shoremetre	27
Şekil 3.12 : Yoğunluk ölçme cihazı.....	28
Şekil 3.13 : Amerika ve Japonya’ da üç temel yöntemin kalite seviyesine katkısı (1950-1990). 30	
Şekil 3.14 : Bir sürecin genel modeli	32
Şekil 3.15 : Deney tasarımının aşamaları	33
Şekil 3.16 : Beklenen verimin (η), sıcaklık (x_1) ve basınçla (x_2) değişimini gösteren üç-boyutlu tepki yüzeyi (a) ve izdüşüm çizimleri (b).....	37
Şekil 3.17 : İki faktörlü merkezi birleşik tasarımın şema ile gösterimi.....	41
Şekil 3.18 : 2^2 tam faktöriyel tasarım kombinasyonları	42
Şekil 3.19 : FX 887 conta üretimi sırasında karşılaşılan hatalar (2017-2018).....	46
Şekil 4.1 : Patlak olmaması tepki değişkeni için ana faktör etkileri grafiği.....	51
Şekil 4.2 : Patlak olmaması tepki değişkeni için ikili etkileşimler grafiği	52
Şekil 4.3 : Patlak olmaması tepki değişkeni için 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği	53
Şekil 4.4 : Patlak olmaması durumu için izdüşüm grafiği.....	54
Şekil 4.5 : Yırtık olmaması tepki değişkeni için ana faktör etkileri grafiği	56

Şekil 4.6 : Yırtık olmaması tepki değişkeni için ikili etkileşimler grafiği	57
Şekil 4.7 : Yırtık olmaması tepki değişkeni için 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği	58
Şekil 4.8 : Yırtık olmaması durumu için izdüşüm grafiği	59
Şekil 4.9 : Yanık olmaması tepki değişkeni için ana faktör etkileri grafiği	61
Şekil 4.10 : Yanık olmaması tepki değişkeni için ikili etkileşimler grafiği	61
Şekil 4.11 : Yanık olmaması tepki değişkeni için 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği.....	63
Şekil 4.12 : Yanık olmaması durumu için izdüşüm grafiği.....	64
Şekil 4.13 : Yanık olmaması tepki değişkeni için ana faktör etkileri grafiği	66
Şekil 4.14 : Yanık olmaması tepki değişkeni için ikili etkileşimler grafiği	66
Şekil 4.15 : Yanık olmaması tepki değişkeni için 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği.....	68
Şekil 4.16 : Yanık olmaması durumu için izdüşüm grafiği.....	69
Şekil 4.17 : Girdi değişkenleri için optimum noktalar	70
Şekil 5.1 : Üretime kazandırılan ürün miktarı-önlenebilir hata oranları grafiği	72

KISALTMALAR

NR	:	Doğal Kauçuk
BR	:	Butadien Kauçuğu
IIR	:	Butil (zobuten-zopren) Kauçuğu
EPDM	:	Etilen Propilen Dien Termopolimeri
NBR	:	Nitril (Akrlnitril Butadien) Kauçuk
ACM	:	Poliakrilik Kauçuk
CM	:	Klor Polietilen Kauçuğu
EVM	:	Vinilasetat Etilen Kauçuğu
ECO	:	Epiklorhidrin Kopolimeri
EU	:	Polieter Üretan Kauçuğu
Q	:	Silikon Kauçuk
MPVQ	:	Metil-Fenil-Vinil Silikon Kauçuk
T.P.E	:	Termoplastik Elastomerler
IR	:	Sentetik İzopren Kauçuğu
SBR	:	Stiren Butadien Kauçuğu
EPM	:	Etilen Propilen Kopolimeri
CR	:	Kloropren Kauçuk
EACM	:	Etilen-Akrilat Kauçuğu
CSM	:	Klorsulfonlanmış Polietilen Kauçuk
CO	:	Epiklorhidrin Homopolimeri
AU	:	Poliester Üretan Kauçuğu
T	:	Polisülfür Kauçuğu
MVQ	:	Metil-Vinil Silikon Kauçuk
MFQ	:	Florosilikon Kauçuğu
FKM	:	Karbonlanmış Floro Kauçuk

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başlamamdan tez çalışmamın tamamlanmasına kadar olan tüm süreçlerde bana yol gösteren, destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ'a, teşekkürü bir borç bilirim. Tezin deneysel sürecinde sahip olduğu bilgi ve tecrübesi ile destek veren ve emeği geçen Yunus KANDEMİR'e çalışma kapsamında işletmesinde deneme yapabilme imkanı veren Mehmet Y.' ye teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen saygıdeğer babam Şaban DİKMEN'e, sevgili annem Zülbiye DİKMEN'e, canım ablam Leyla GÖGERÇİN'e ve benim ikinci ailem olan ÖZKAN ailesine en içten sevgilerimi sunarım.

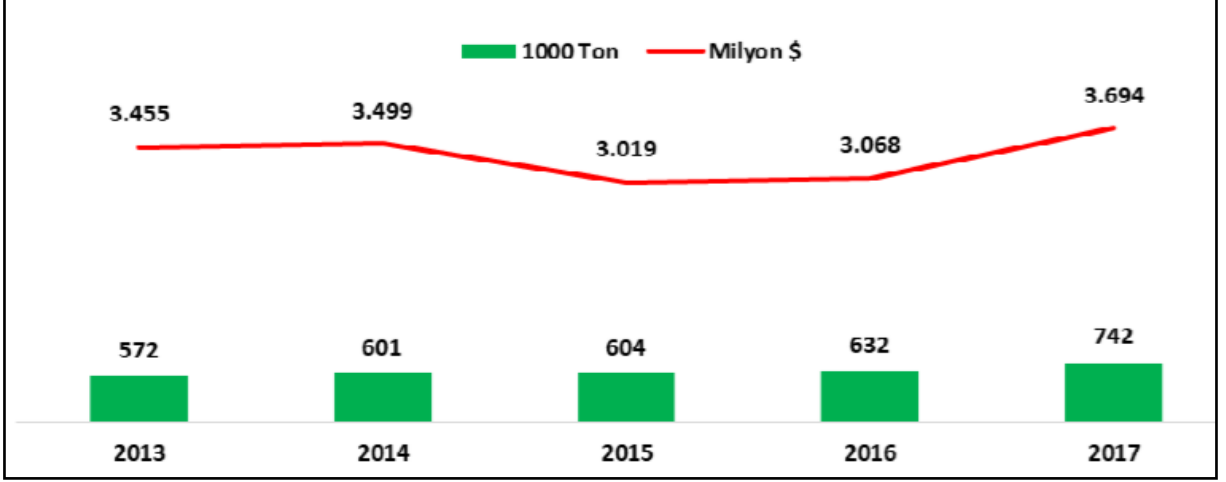
Yüksek lisansa başlamamdan tezin sonuna kadar, çok büyük desteğini gördüğüm eşim Fevzi ÖZKAN' a daima artarak devam eden sabrından ve anlayışından dolayı minnettarım.

1. GİRİŞ

Optimizasyon, bir sistemde yer alan hammadde, ekipman, işgücü, kapasite, zaman vb. kaynakların, verimli şekilde kullanılarak kar maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu, kapasite kullanımının eniyilenmesi ve verimliliğin ençoklanması gibi belirli amaçlara ulaşmayı sağlayan bir teknik olarak tanımlanmaktadır (Montgomery 2001, Eken ve Kokangül, 2018). Optimizasyon, ekonomik olarak sağladığı kazanımların yanında müşteri, işveren ve çalışanların tercih ve kısıtlarının karar aşamasında yer almasında ve sistemde yer alan kaynakların kalitesinin maksimize edilmesinde de etkin bir şekilde başvurulan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır.

Deney tasarımı ise, belirlenmiş olan bir tasarım matrisine göre, süreç üzerinde etkili olması beklenen proses değişkenlerinin sistematik olarak değiştirilerek, deneylerin gerçekleştirilmesi şeklindedir (Montgomery 2001, Eken ve Kokangül, 2018). Endüstriyel şartlar göz önünde bulundurulduğunda; hem bu deneyleri ekonomik şartlar ve zaman kısıtlarını gözetenek verimli şekilde oluşturabilmek, hem de sonuçları doğru anlamak ve yorumlayabilmek için (kontrol edilebilen ve edilemeyen girdi değişkenleri ile tepki değişkenleri arasındaki ilişkiyi belirlemek ve optimizasyonu gerçekleştirebilmek için) deney tasarımı yöntemlerinin uygulaması verimli bir yaklaşımdır. Ayrıca kalite ve verimliliği artırmak için uygulanan yöntem ve metotları destekleyici, yönlendirici bir rolü de vardır (Montgomery 2001, Savaşkan vd., 2004).

Günümüz endüstrisinde yoğun bir kullanım alanı olan, kauçuk ağacından elde edilen dayanıklı, esnek bir madde olması ve birçok alanda (tekstil, otomotiv, beyaz eşya, inşaat, gıda, hayvancılık vb.) kullanılması nedeniyle kauçuk, üretim sektörleri arasında önemli bir yere sahiptir. Şekil 1.1' de görüldüğü gibi yıllara göre kauçuk mamul üretimi giderek artmaktadır.



Şekil 1.1.Kauçuk mamul üretimi (PAGEV-Türkiye kauçuk sektör izleme raporu 2017)

Kauçuk hammaddesi kullanılarak gerçekleştirilecek enjeksiyon işlemlerinde performans artışları (makine proses parametrelerinin optimizasyonu) maliyetlere ve kaliteye büyük katkı sağlar. Kauçuk hammaddesinin pahalı olması ve ürünün işlem görerek yeniden kullanılması mümkün olmadığı için hurdaya ayrılan ürünlerin azaltılması maliyet ve kalite açısından son derece önemlidir. Bu nedenle kauçuk üretim sürecinde makine süreç parametrelerinin ürün performansına etkisinin tahmin edilmesi de süreçte önemli katkı sağlayacaktır.

Çalışmada ilk olarak problemin belirlenmesi, çalışmanın amacı, çalışmanın adımları ve iş akışına yer verilmiştir. Daha sonra çalışmada kullanılan metodoloji (deney tasarımı ve tepki yüzey tasarımı) malzeme ve üretim süreci açıklanmıştır. Son olarak da, tepki yüzeyi tasarımlarından faktöriyel tasarım kalite ve maliyet optimizasyonu amacıyla uygulanarak bu ekseninde makine proses parametrelerinin tahmin edilmesi Minitab v16.2 paket programı yardımı ile değerlendirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

1.1 Problem Tanımı

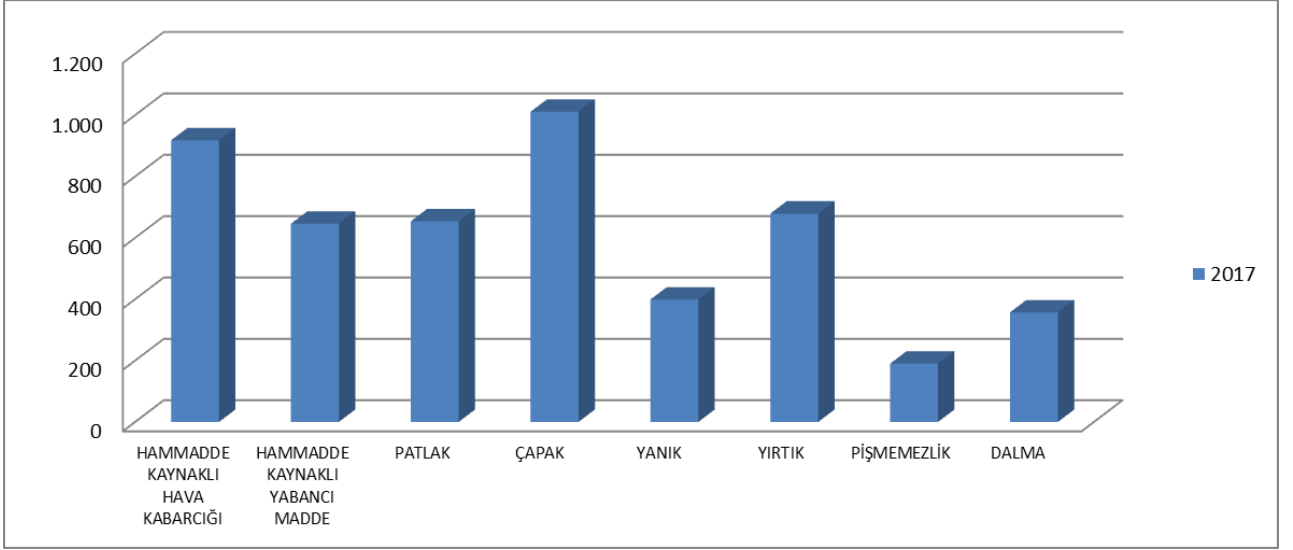
Çoğu üretim işletmesinde olduğu gibi kauçuk üreten işletmelerde de elde edilen ürünlerde iki önemli özellik aranır. Bu özellikler; elde edilen ürünün toplam maliyetinin minimum olması ve üretilen ürünün belirli kalite standartlarını sağlamasıdır. Bu iki özelliğin aynı anda sağlanması,

işletmenin başarısı için esastır. Çünkü, elde edilen ürünün kalitesi ne kadar yüksek olursa olsun, maliyeti düşük değilse istenilen başarı elde edilememiş demektir. Üretim kalitesinde etkili olan faktörler; hammadde, üretim süreci (uygun makine seçimi ve makine ayarları, uygun teknolojik donanım, bakım, kalite ve denetleme), başlangıçta sağlanan bilgi ve tecrübe (know-how) ve iyi eğitilmiş, sorumluluk sahibi, motive olmuş personeldir. Bu faktörler içerisinde hammadde ve üretim sürecinin payı büyüktür. Bu iki faktör büyük ölçüde ürün kalitesini belirleyen faktörlerdir. Elde edilecek ürün için gerekli hammadde ve üretim süreci doğru seçilmemiş ise, istenilen kalitede ürünü üretmek mümkün değildir.

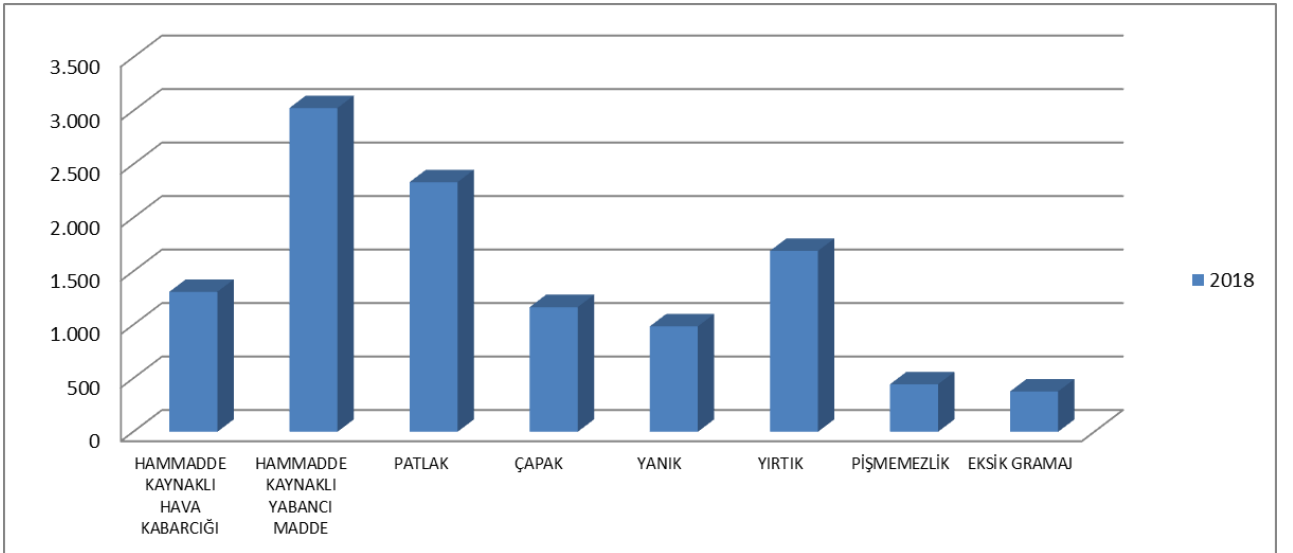
Lastik firmalarının prosesleri sırasında enjeksiyon işlemlerinden önce gerçekleşen bazı hatalar (elektrik kesilmesi, operatör hataları, ısı artışı, yanlış ayar vb.) malzemenin erkenden pışmesi veya aşırı vulkanizasyonuna neden olacağından elastiki özelliğini yitirir. Elastik özelliğini yitiren malzeme tekrar işlem göremez ve hasarlı ürün olarak hurdaya ayrılır (Acıgöz, 2014).

Tezin gerçekleştirildiği işletmede hammadde tedarikçilerinde bir değişiklik yapılamadığı için proses parametreleri üzerinde çalışılarak, toplam maliyetin minimizasyonu ve istenilen kalitenin elde edilmesi için bir deneysel tasarım oluşturulması ve tahmin modeli kurularak ürün kalitesine etki eden süreç parametrelerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Kauçuk hammaddesinin pahalı olması nedeniyle kalite problemlerinden kaynaklı yüksek maliyetin azaltılması, işlem görerek oluşan maddenin yeniden kullanılması mümkün olmadığı için hurdaya ayrılan ürünlerin azaltılması ve makine proses parametrelerinin optimizasyonu konularında daha önceden herhangi bir çalışma yapılmamış olması çözümü araştırılan ve model geliştirilmeye çalışılan problemi daha önemli bir hale getirmektedir.

Çalışma yapılan işletmede 2017-2018 yıllarında proses şartlarından kaynaklanan hatalar sebebiyle hurdaya ayrılan malzemelere ait veriler için oluşturulan hata grafikleri Şekil 1.2. ve Şekil 1.3.'de verilmiştir.



Şekil 1.2. FX 887 conta üretimi sırasında karşılaşılan hata adetleri (2017)



Şekil 1.3. FX 887 conta üretimi sırasında karşılaşılan hata adetleri (2018)

Yapılan tez çalışmasının uygulamada devreye alınması ile kalite, maliyet ve müşteri memnuniyeti açısından önemli avantajlar sağlayacağı tahmin edilmektedir. Ele alınan konu ile ilgili işletmede herhangi bir iyileştirme çalışması yapılmaz ise, üretimin günden güne artması ile doğru orantılı olarak hurda miktarının artması, bunun sonucunda da maliyetin artması ve karlılığın azalarak günümüz piyasa koşullarındaki rekabetin ve tercih edilebilirliğin azalması kaçınılmaz bir sonuçtur.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı; kullanım alanı çok geniş olan “EPDM” kauçuk maddeden elde edilen belli kalite değerini sağlayan enjeksiyon makinesinde üretilmiş ürünün ve maliyetinin minimum olması için üretim sürecinin optimizasyonu ve elde edilen faydanın işletmeye sağlayacağı maddi tasarrufun belirlenmesidir. Problemden Şekil 1.2. ve Şekil 1.3. grafikleri incelendiğinde en çok karşılaşılan hatalar (patlak, yırtık, yanık, çapak, pişmemelik, dalma ve eksik gramaj) göz önünde bulundurularak, bu hatalardan en çok karşılaşılanlar; üründe patlak olmaması, yırtık olmaması, yanık olmaması ve çapak olmaması tepki değişkenleri olarak belirlenmiştir. Bu tepki değişkenlerini optimize eden makine süreç parametrelerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. İşletmede yapılan araştırmalar, işletmenin geçmiş tecrübesi (know-how) ve literatürden de faydalanarak karar değişkenleri (girdi değişkenleri) ise; kalıp sıcaklığı, pişme süresi ve enjeksiyon hızı olarak seçilmiştir. Problem ele alınırken bazı kısıtlayıcı noktalarla karşılaşmıştır. Çalışmanın uygulandığı işletmenin seçiminde önemli zorluklar yaşanmıştır. Deneylede kullanılacak hammadde maliyetinin yüksek olması nedeniyle işletmelerin yapılacak araştırmaya olumlu bakmaması, elde edilen ürün maliyetinin yüksek olması ve tekrar kullanılamaması nedeniyle deney sayılarında kısıtlar oluşmuştur. Ayrıca, belirlenen probleme çözüm getirilmesi konusunda malzeme özellikleri ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmasına izin verilmemiş olması, sadece proses parametrelerindeki değişikliğe izin verilmesi tez çalışmasının önemli bir kısıtıdır.

Bu çalışmada hammadde olarak “EPDM” kauçuk kullanılmış olup, testler “EPDM” kauçuk maddesinden üretilen çamaşır makinesi sızdırmazlık contası (FX 887) üzerinde

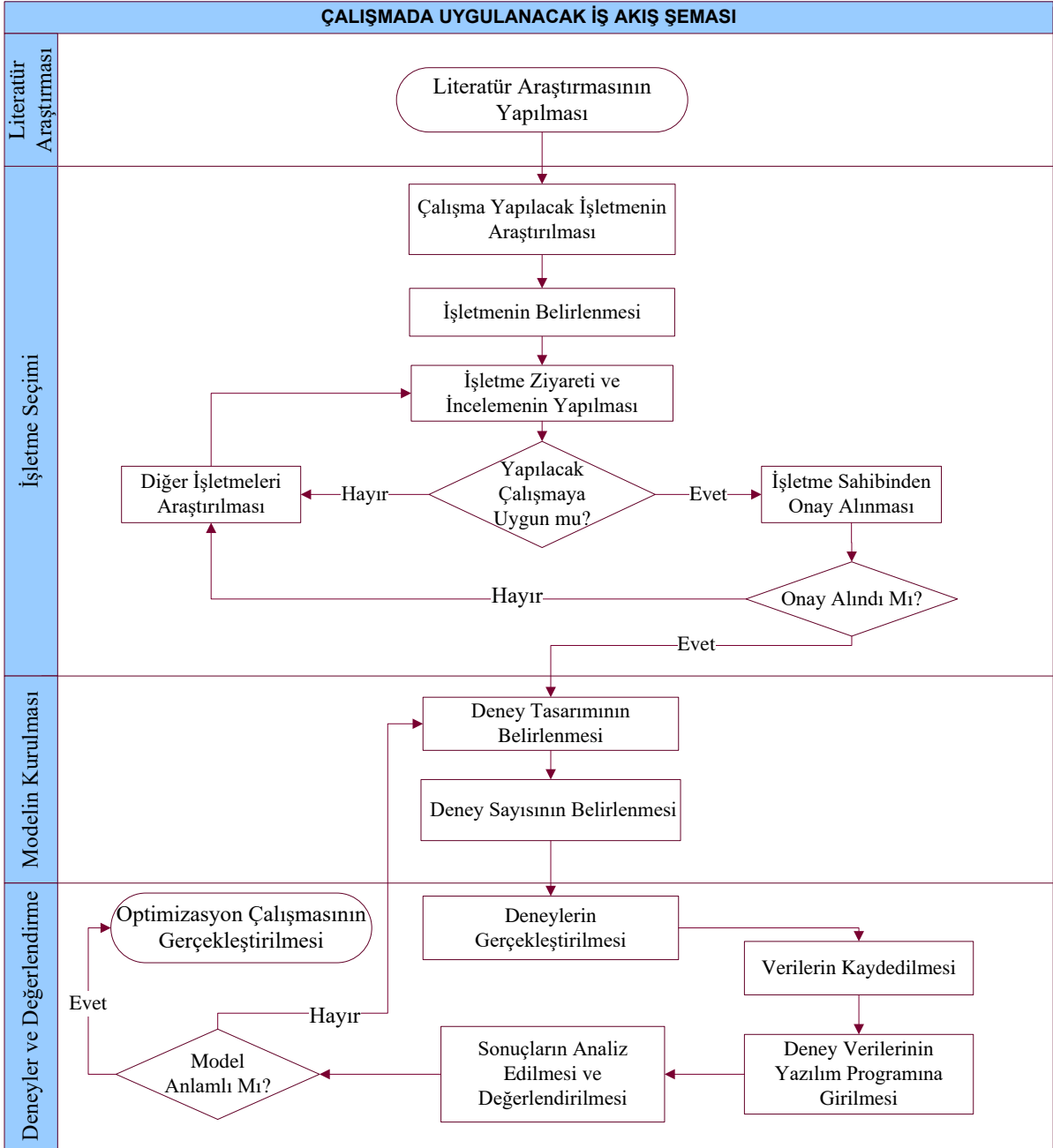
yapılmıştır. Elde edilen ürünlerdeki bazı kalite özellikleri göz ile kontrol edilmiş, bazıları ise belli sayıda teste tabi tutulmuştur.

Literatürde kauçuk malzemeden üretilen ürünün kalite özelliklerinin eniyilenmesi için değişik metotlar uygulanarak birçok çalışma yapılmıştır. Ancak faktöriyel deney tasarımı kullanılarak kauçuk malzeme üretiminde proses parametrelerinin optimizasyonunun sağlanması çalışmasına rastlanmamıştır.

Çalışmanın gerçekleştirilmesi sonucunda, çalışmanın yapıldığı işletmenin önemli maddi kazanımlar sağlaması beklenmektedir. Ülke ve dünya genelinde kauçuk hammadde kullanımının boyutu düşünüldüğünde bu tasarrufun daha da artması beklenmektedir.

1.3 Çalışmanın Adımları ve İş Akışı

Bu çalışmada; literatür araştırması, işletme seçimi, modelin kurulması, deneyler ve değerlendirme olmak üzere 4 adımda iş akış şeması (Şekil 1.4.) oluşturularak çalışmalar yürütülmüştür.



Şekil 1.4. Çalışmada uygulanacak iş akış şeması

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatür araştırması sırasında kauçuk malzemelerle yapılan ve tepkiyi optimize etmeyi amaçlayan deney tasarımı çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Khed ve ark. (2018) hibrit elyaf takviyeli çimentolu kompozit malzemenin akışkanlık ve basınç dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu deneyi yapmak için farklı ebatlarda kauçuk kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışma, tepki yüzey metodolojisi (RSM) kullanılarak matematiksel ve istatistiksel analizlerle gerçekleştirilmiştir. Daha ince ebatlı kırıntı kauçuğun dahil edilmesinin, daha büyük boyuta kıyasla daha iyi işlenebilirlik ve daha yüksek basınç dayanımı sağladığı ve kırıntı kauçuğun, basınç dayanımı üzerinde olumsuz bir etkiye ve işlenebilirlik üzerinde ise olumlu bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Optimizasyon sonuçlarının, deneysel sonuçlarla oldukça iyi bir uyum sağladığı görülmüştür.

Adamu ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, ince agreganın kırıntı kauçuk malzemeleriyle kısmen değiştirilmesinin ve nano silisin ilave edilmesinin, sıkıştırılmış lastik tabakanın aşınma direnci üzerindeki etkisinin tasarlanması, değerlendirilmesi ve analiz edilmesi için tepki yüzeyi metodolojisi ve Box-Behnken tasarım yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, sıkıştırılmış lastik tabakanın aşınma direncinin kırıntı kauçuk muhtevsındaki artışla azaldığını ve nano silika ilavesinin artmasıyla arttığı gösterilmiştir.

Kolahdooz ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada sonlu elemanların analiz entegrasyonu ve PEM yakıt hücreleri için metalik bipolar plakaların kauçuk tamponunda kritik faktörleri incelemişler ve faktöriyel deney tasarımı uygulamışlardır. Deney tasarımı kritik parametreleri bulma ve problemin optimizasyonu için kullanılmıştır. Çalışmanın iki önemli katkısı olmuştur. Birincisi, tabakadaki hasar başlangıcını simüle etmek için 3D sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Bu model, şekillendirme yapısının tamamen 3D olduğu akış kanallarının dönüş konumlarındaki şekillendirme işleminin çalışılması için bir araç olarak kullanılabilir. Çalışmanın ikinci katkısı ise, çeşitli faktörlerin optimizasyon oluşturma üzerindeki etkilerini incelemek için deneysel tasarım yöntemiyle birleştirilmesidir.

Lasprilla-Botero ve ark. (2016) kauçuktan metale bağlanma için su bazlı yapışkan formülasyonların istatistiksel deneysel tasarım ile geliştirilmesi çalışmasında, su bazlı

bileşenlerin kauçuktan metale bağlanma üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla kesirli faktöriyel tasarım ve tepki yüzey metodolojisi kullanmışlardır. Yapışkan polimer olarak polikloropren lateks ile yirmi altı formülasyon hazırlamışlar ve viskozite, ıslanabilirlik ve uçucu olmayan katı madde içeriği, her bir sıvı yapıştırıcı ile ölçülürken, mekanik mukavemet, sertleştirilmiş katı yapıştırıcı filmler üzerine gerilme değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yapışkan ve yapışkan kuvvetler üzerinde en büyük nispi etkiye sahip bileşenlerin yapışkanlaştırıcı reçine, silikon dioksit ve polikloropren lateks tipi olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada, istatistiksel yöntemlerle kauçuktan metale yapıştırmaya yönelik su bazlı bir yapıştırıcının oldukça düşük sayıda deneyle formüle edilebileceği görülmüştür.

Rezaifar ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, kauçuk ve metakaolin parçalarının hibrit karışımlarından yapılmış betonun tepki yüzey yöntemi ile optimizasyonunu incelemiştir. Çalışmanın amacı, kauçuk parçaları ile yapılan betonun metakaolin ile birlikte atık malzeme olarak optimize edilmesini sağlamaktır. Deneyler, tepki yüzeyi tasarımı ile belirlenmiştir. Deneylerin sonucunda, mukavemet maksimuma çıktığında karışımın su emilimi en aza indirilmiş ve optimizasyon sağlanmıştır. Betonun basınç dayanımı kauçuk içeriği arttıkça azalmıştır. Kauçuk parçalarının betonun basınç dayanımı üzerindeki olumsuz etkisinin, belirli bir miktarda metakaolin dahil edilerek hafifletildiği görülmüştür.

Khamplod ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada doğal kauçuk üzerinde stiren elektron ışın radyasyon grefti kullanarak Taguchi tasarımı uygulanmıştır. 75 kGy radyasyon dozu, 5 phr n-BA içeriği ve 80:20 NR / St oranı optimum koşulları deneysel tasarım ile belirlenmiştir. Lateks filmlerin gerilme kuvvetinin, çalışılan faktörlerle anlamlı şekilde ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Liu ve ark. (2015) süperkritik karbondioksitte atık lastik kauçuğun devulkanizasyonu çalışmasını yapmışlardır. Reaksiyon sıcaklığı, basınç, zaman ve devulkanizan üzerindeki difenil disül konsantrasyonunun etkisini araştırmışlar ve etkileşimlerini 2 seviyeli tam faktöriyel tasarım deneyleri ile göstermişlerdir. Deneyler sonucunda difenil disül konsantrasyonunun en önemli faktör olduğu bulunmuştur. Çalışmalar sonucunda ise devulkanizasyon işlemi için reaksiyon mekanizması ve modeli geliştirilmiştir.

Thomas ve ark. (2014) ince kauçuk agregaları içeren çimento betonun dayanım, aşınma ve geçirgenlik özelliklerini incelemiştir. Alınan beton numunelere basınç dayanımı, eğilme dayanımı, aşınma dayanımı, mikro yapı, su geçirgenliği ve sorptivite tespiti için testler yapmışlardır. Atılan kauçuğun, %7' ye kadar olan doğal ince agregalar için kısmi değiştirme yapılarak, yeterli bir azalma olmadan kullanılabilceği belirlenmiştir.

Maiti ve ark. (2013) yüksek sis-polibütadien kauçuğun sentezinde deney tasarımı yoluyla proses parametre optimizasyonu ile ilgili yaptıkları çalışmada 1,3-bütadien polimerizasyonu için neodim oktanoat, dietilalüminyum klorür ve trietilalüminyum bazlı katalizör sistemini incelemiştir. Çalışma Box-Behnken tasarımı kullanılarak optimize edilmiştir.

Correia ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada inşaat harçlarında agrega olarak geri dönüştürülmüş kauçuk içeren harçların basınç dayanımını modellemek için deney tasarımı kullanarak bir araştırma yapmışlardır. Araştırma, faktöriyel deneysel tasarımı ve cevap yüzeyi metodolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geri dönüştürülmüş kauçuk hacim içeriği ve su / çimento ağırlık oranı faktörleri belirlenmiş ve deneyler, her biri için üç seviyede gerçekleştirilmiştir. Geri dönüştürülmüş kauçuk içeriğinin fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi belirlenmiş ve kullanımının bir harç uygulamasında uygun olduğu gösterilmiştir.

Da Costa ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada RSM metodolojisi kullanılarak polipropilen / etilen-propilen – dien monomer (EPDM) / hurda kauçuk lastik karışımlarının analizi ve optimizasyonu incelenmiştir. Birlikte dönen ikiz bir ekstruder ve enjeksiyon kalıplamada uygun işlem yapılmasından sonra, çekme dayanımı ve darbe dayanımı gibi mekanik özellikler belirlenmiş ve tepki değişkenleri olarak kullanılmıştır. Az sayıda deneme yapılarak tepki yüzey modelinin geliştirilmesine ve konsantrasyonlarının mekanik performansa göre optimize edilmesine olanak sağlamıştır.

Kaya (2009), yaptığı çalışmada karışım tasarımı yöntemi ile daire şeklinde bir conta olan oringi üretmek için 10 adet girdi değişkeni incelemiştir. 10 adet girdi değişkeninden 4 tanesinin istenilen tepki değişkenleri üzerinde önemli etkisi olduğu geriye kalan 6 tanesinin istenilen tepki değişkenleri üzerinde etkisi önemsiz olarak görülmüş ve sabit alınması gerektiğine karar verilmiştir. Çalışmada özel kübik yöntem kullanılmıştır. Tasarımda N550, DOA, TMTD ve Santacure olmak üzere 4 adet faktör, sertlik, kopma mukavemeti, kopma uzaması, düşük

sıcaklıkta geri çekilme, kalıcı deformasyon, sertlik değişimi, kopma mukavemetinde azalma, uzamada azalma, hacimsel değişme ve kalıcı deformasyon olarak 10 farklı tepki değişkeni incelenmiştir.

Durmaz (2008) alışmasında, deneysel tasarım ve Taguchi tekniklerini kullanarak kauçuk vulkanizasyonu aşamasında gerçekleştirilen bir uygulamaya yer vermiştir. Uygulamada, kauçuğun en önemli kalite karakteristiği olarak belirlenen kopma mukavemetinin maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Uygulamada öncelikle mukavemet üzerinde etkili olduğu düşünülen faktör ve seviyeleri belirlenmiş, belirlenen faktör ve seviyelere uygun ortogonal dizi seçilerek deneyler endüstriyel koşullar altında 5 kez tekrar edilmiştir. Ortalama değer ve sinyal gürültü oranına göre ANOVA tablosu uygulanmış varyans analizi ve taguchi metodu ile analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre kopma üzerinde etkili olan faktör ve seviyeleri belirlenmeye çalışılmış ve yapılan doğrulama deneyleri ile kullanılan yöntemin sağlaması gerçekleştirilmiştir.

Kukreja ve ark. (2002) tepki yüzey metodolojisi ile kauçuk bileşiklerin bitkisel yağ ve karbon karası kullanılarak fiziksel ve mekanik özelliklerinin optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Deney tasarımında beş seviyeli iki değişken seçilmiş ve merkezi kompozit tasarım uygulanmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda iki değişkenli ikinci dereceden bir denklem elde edilmiştir. Karbon karası arttıkça kopma uzaması, yırtılma mukavemeti ve gerilme mukavemeti azalırken sertliğin arttığı grlmştir.

Ghoreishy ve ark. (2001) düşük boy oranlı elik kuşaklı radyal lastiğin boncuk bölümü için optimize edilmiş kauçuk bileşiklerinin geliştirilmesi ile ilgili yaptıkları çalışmada karışım deneyleri yaparak deney sonuçlarına göre faktör seviyelerini değiştirmişler. Düşük boy oranlı elik kuşaklı radyal lastiğin boncuk bölümünün çeşitli kısımları için bir dizi optimize edilmiş lastik bileşiği geliştirmişlerdir.

Borosy (1999) yapay sinir ağları kullanarak kauçuk karışımların kantitatif kompozisyon özelliği üzerinde çalışma yapmıştır. Kauçuk karışımların ve kantitatif kompozisyon özelliği arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması nedeniyle yapay sinir ağları gibi kendi kendine öğrenen modellemelerin uygulanmasının doğru olacağını belirtmiştir.

Kauçuk malzemesi için deneysel tasarım uygulanarak geliştirilen optimizasyon çalışmaları Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Deneysel tasarım uygulanarak geliştirilen optimizasyon çalışmaları

Yıl	Tasarımın Adı veya Tipi	Yazarlar
2012	Box-Behnken tasarımı	Tekindal, M A, Bayrak, H, Özkaya, B ve Genç, Y
2013		Maitia, M, Srivastava, VK, Shewalea, S, Jasraa, RV, Chavdab, A ve Modib, S
2005	Faktöriyel tasarım	Gök, C
2007		Binal, G
2010		Correia, S L, Partala, T, Loch, FC ve Segadaes, AM
2016		Kolahdooz, R, Asghari, A, Rashid-Nadimi, S ve Amirfazli, A
2008	Kesirli faktöriyel tasarım	Dinç Ş
2016		Lasprilla-Boteroa, J, Álvarez-Láinez, M ve Acostab, DA
2018		Özdemir, İ
2009	Karışım tasarımı	Kaya, Y
2010	RSM	Da Costa, HM, Ramos, VD, Da Silva, WS ve Sirqueira, AS
2016		Rezaifar, O, Hasanzadeh, M ve Gholhaki, M
2008	Taguchi deney tasarımı	Durmaz, S
2015		Khamplod, T, Loykulnant, S, Kongkaew, C, Sureeyatanapas, P ve Prapainainar, P
2018		Özdemir, İ
2009	Tam faktöriyel tasarım	Zümrüt, Z
2011		Akman, G ve Özkan, C
2014		Aldaş, K, Özkul, İ, Taşkesen, A ve Kayır, Y
2016		Yılmaz, E, Ahlatcı, F, Yazıcı, EY, Celep, O ve Deveci, H
2016		Şişman, Y, Dengiz, O, Şişman, A ve Demirağ Turan, İ
2017	Sancan, M ve Karaca, S	

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 DeneYlerin Yapıldığı İşletme

Çalışmanın yürütüleceği işletme seçimi yapılırken;

- İşletmede üretilen üründe kalite problemleri olması,
- İşletmenin problemin çözülmesine ve yapılacak uygulamaya destek vermesi,
- Yapılacak çalışmanın işletmenin önemli bir problemine çözüm getirecek olması ve işletmenin problemin çözümü sonrası sağlanacak fayda konusunda inançlı ve istekli olması,
- Benzer bir problemle karşı karşıya kaldıklarında aynı yöntem ile çözüme ulaşabilmeleri potansiyeline sahip olmaları

kriterleri etkili olmuştur.

DeneYlerin gerçekleştirildiği işletme, 1987 yılında kurulmuş ve o günden bu yana sürekli büyüyerek kauçuk sanayi başta olmak üzere değişik sektörlerde de büyük işletmelerin tedarikçisi haline gelmiştir. Holding merkezi Almanya'da bulunan işletmenin, Avrupa'da ve Türkiye'de faaliyet gösteren 6 üretim ve hizmet fabrikası bulunmaktadır. İşletmenin Almanya ve dünya çapında 1600 çalışanı vardır. Çalışma, 1996 yılında Çerkezköy (Türkiye)'de kurulan, 80'i mavi yaka olmak üzere toplam 116 çalışanı ile faaliyet gösteren (xxx) işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Bu işletmede; enjeksiyon ile elastomerlerden şekillendirilmiş parçalar, soğuk teknik ile çapak alma, manuel düzeltme ve montaj işlemleri, kontrol, sıralama ve geri dönüşüm prosesleri uygulanmaktadır. İşletmede üretilen ürünler; kauçuktan üretilen beyaz eşya sızdırmazlık ekipmanları, beyaz eşyaların ısı yalıtımı sağlayan bazı silikon parçaları, titreşimi sönümleyen ve hava sirkülasyonu sağlayan bazı parçalar, kauçuktan üretilen far havalandırma parçaları, hortum ayırma parçaları ve toz, hava ve yağ yalıtımı sağlayan parçalar, otomatik sanayii için gürültü sönümleyen kauçuk parçalar, o-ringler ve silikon tencere conta larıdır. İşletme, dünyaca ünlü birçok markanın tedarikçisi konumunda olduğu için, ürettiği ürünleri de çeşitli ülkelere ihraç etmektedir. DeneYler, işletmede kauçuk hammaddesinin enjeksiyon işlemi görmesi sonucu, beyaz eşyalarda kullanılan ve sızdırmazlığı sağlayan FX 887 conta parçasının (Şekil 3.1.) üretim

prosesinde gerçekleştirilmiştir. Kauçuk hammaddesinin pahalı olması ve ürünün, işlem görerek oluşan maddenin yeniden kullanılması mümkün olmadığı için hurdaya ayrılan ürünlerin azaltılması ve bu kapsamda makine proses parametrelerinin optimizasyonunun sağlanması ve optimum işlem koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.1. FX 887 Sızdırmazlık Contası

3.2 DeneYlerde Kullanılan Hammadde

Kauçuk çok amaçlı, geniş kullanım ağına sahip, yaşamın her alanında iç içe olduğumuz bazılarının hayati önem taşıdığı lastik malzemelerin en önemli hammaddesidir (Erbatur ve Erkek, 2007). Bir kauçuk mamulü esneklik özelliği ile tercih edilebilme avantajı sağlar. Bu özellik, kauçuk hammaddesine kullanıldığı endüstrinin hemen hemen tüm alanlarında farklı kullanım alanları sağlar. Yaygın kullanım alanları kısaca; sızdırmazlık elemanı, darbe, taşıtlarda tekerlek lastiği, ses ve titreşim önleyici, sıvı iletimi vb. gibi özetlenebilir (Savran 2001a, Acıgöz, 2014). Kauçuk, otomotiv sektöründe hayati önem taşıyan ve fonksiyonel parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Akaryakıt ve hidrolik fren hortumları, salınım titreşim takozları, uçak lastikleri, transmisyon kayışları, contalar, aks körükleri, cam sileceklerinin lastikleri, radyatör ve hava hortumları, kapı ve cam profilleri, amortisörler, izolasyon elemanları bunlara örnek olarak gösterilebilir (Savran 2001a, Erbatur ve Erkek, 2007). Otoyol ve viyadüklerde kullanılan

elastomer yataklar, genişleme contaları, borularda sızdırmazlık contaları, plastik ve alüminyum doğramalar için kullanılan profil ve contaları kauçuğun diğer sektörlerdeki uygulamalarındandır. Bunların dışında konveyör bantı, ayakkabı üretimindeki ayakkabı tabanı, tavan üretimi, gıda, sağlık ve elektronik endüstrisindeki uygulamalar, kauçuktan her sektörde kullanılan malzemeler üretildiğini açıklamaktadır. (Savran, 2001a, Acıgöz, 2014). Kauçuk maddeler, yüksek sıcaklıkta ve deforme edebilen kuvvetlerin etkisinde koyu sıvımsı akışkan özelliği gösterirler. Böylece uygun koşullarda şekillendirilebilirler (Savran, 2001a, Acıgöz, 2014). Kullanım oranlarına göre kauçuklar; genel kullanım ve özel kullanım kauçukları olarak iki şekilde sınıflandırılır: Genel kullanım kauçukları, kauçuktan üretilen ürünlerin büyük bir bölümünü (%95) oluşturmaktadır. Özel kullanım kauçuklarının en önemlileri ise klor kauçuğu (CR) ve nitril kauçuğudur (NBR). (Smith 1993, Boşnak, 2010, Acıgöz, 2014). Kauçukların kullanım yaygınlığına göre sınıflandırılması Çizelge 3.1.' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kauçukların kullanım alanlarına göre sınıflandırılması (Smith 1993, Soyubol 2006, Boşnak 2010, Acıgöz 2014)

Genel Kullanım Kauçukları		Özel Kullanım Kauçukları
NR Doğal Kauçuk	EU Polieter Üretan Kauçuğu	CR Kloropren Kauçuk
BR Butadien Kauçuğu	Q Silikon Kauçuk	EACM Etilen-Akrilat Kauçuğu
IIR Butil (zobuten-zopren) Kauçuğu	MPVQ Metil-Fenil-Vinil Silikon Kauçuk	CSM Klorsulfonlanmış Polietilen Kauçuk
EPDM Etilen Propilen Dien Termopolimeri	T.P.E Termoplastik Elastomerler	CO Epiklorhidrin Homopolimeri
NBR Nitril (Akrlnitril Butadien) Kauçuk	IR Sentetik İzopren Kauçuğu	AU Poliester Üretan Kauçuğu
ACM Poliakrilik Kauçuk	SBR Stiren Butadien Kauçuğu	T Polisülfür Kauçuğu
CM Klor Polietilen Kauçuğu	EPM Etilen Propilen Kopolimeri	MVQ Metil-Vinil Silikon Kauçuk
EVM Vinilasetat Etilen Kauçuğu		MFQ Florosilikon Kauçuğu
ECO Epiklorhidrin Kopolimeri		FKM Karbonlanmış Floro Kauçuk

Deneylerde kullanılan malzemenin asıl adı etilen propilen kauçuğu olup malzeme bir polimer çeşididir. Malzemenin ilk akla gelen özellikleri arasında esnekliği ve düşük camsı geçiş

sıcaklığına sahip olması gelmektedir. Bu madde sıcaklığa, oksidasyona, ozona, atmosfer koşullarına karşı olabildiğince dayanıklıdır. Ayrıca fosfat, su buharı, glikol esaslı fren yağları, ozon ve hava koşullarına karşı direnç seviyesi oldukça yüksektir. “EPDM” (Ethylene Propylene Diene Monomer) kauçuğun ana maddeleri olan etilen, propilen ve dien monomenleridir. Bu üç madde reaksiyona girerek “EPDM” i oluşturur. “EPDM” in avantajı, diğer polimer çeşitleriyle karıştırılabilir olması ve kükürt sistemleri ile de vulkanizasyon imkanı sağlamasıdır. Vulkanizasyon kauçuğun daha dayanıklı olmasını sağlamak için diğer malzemelerle karıştırılması işleminin diğer bir adıdır. “EPDM” de bu işleme tabi tutulabildiği için birçok bakımdan oldukça dayanıklıdır. Maddenin dielektrik özelliğe sahip olması yüksek voltajlı kablolarda yalıtkan madde olarak kullanılması avantajını sağlar. Yoğunluğu düşük bir malzeme olduğundan hafif ağırlıktaki malzemelere de uygulanabilmektedir. Sızdırmazlık elemanlarında ve contalarda çoğunlukla kullanılan bu malzeme yüksek ısı ortamlara ve silikonlu sıvılara karşı oldukça dayanıklıdır. “EPDM” kauçuk, genel olarak sızdırmazlık malzemeleri, contalar, parça kaplama işlemleri, vurma ve darbelere dayanıklı malzemelerde, hortum gibi ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. Bu malzeme elastikiyet, oksidasyon dayanımı, kalıcı deformasyona karşı direnç, atmosferik yaşlanma, ısı dayanımı, ozon ve düşük sıcaklıklara dayanımı bakımından yüksek performans göstermekle birlikte yağ ve yakıtlara dayanım ve geçirgenlik bakımından da oldukça düşük performans göstermektedir. “EPDM”, tekstile yapışma özelliğinden kaynaklanması nedeniyle tekstil sanayinde tercih edilmemesine rağmen, yapılan statik ve dinamik çalışmalarda özelliklerinin çok iyi olması sebebiyle otomotiv endüstrisinde hortum, amortisörler ile profiller ilk sırada olmak üzere yaygın bir alana sahiptir. “EPDM” malzemenin kullanım alanlarından bazıları Şekil 3.2.’ de verilmiştir.

Sızdırmazlık Elemanları			Yangın Sistemleri		
Çift Taraflı Bant Uygulamaları			Oyuncak Yapımı		
Yer Döşemeleri			Açık Hava Endüstriyel Uygulamaları		

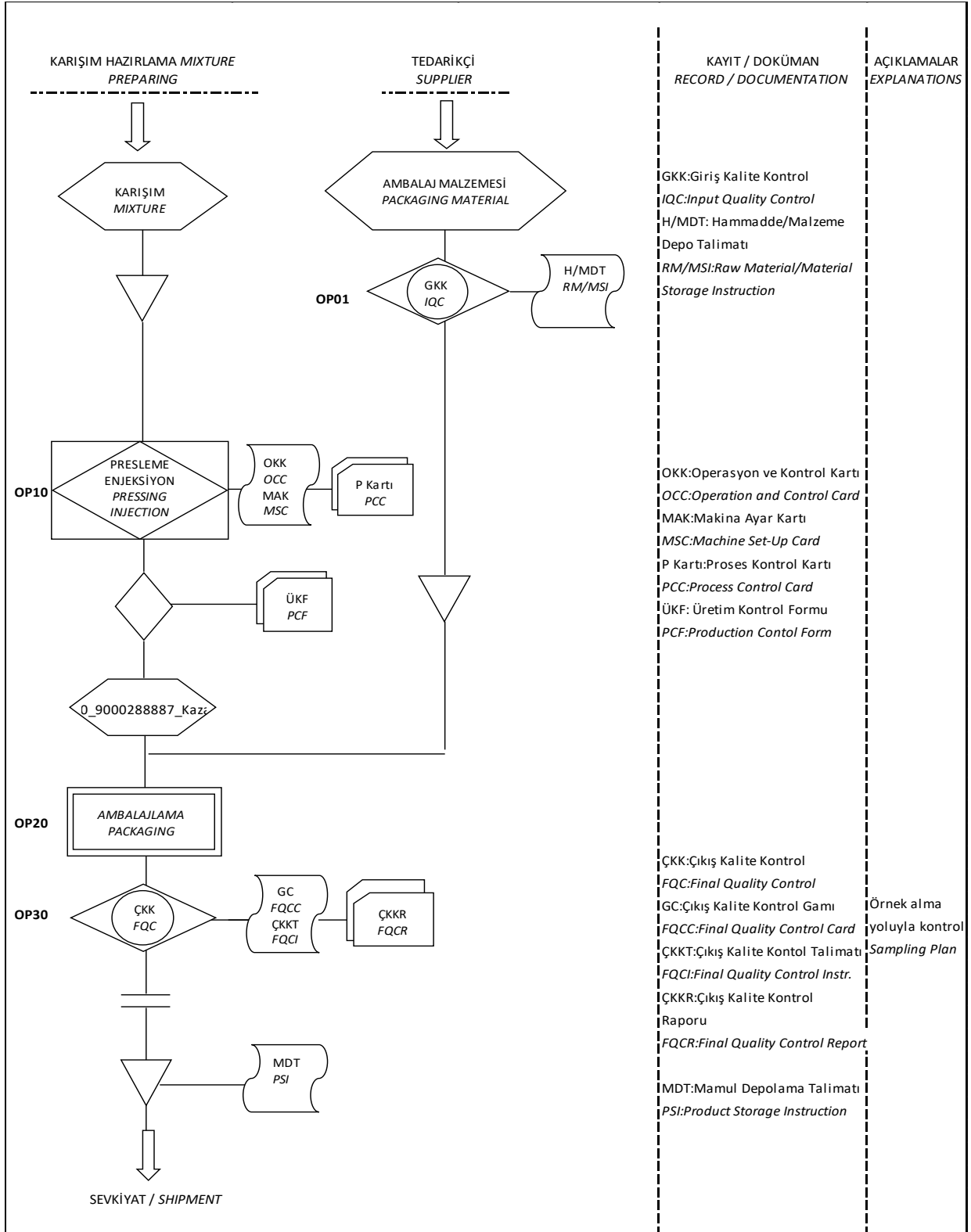
Şekil 3.2. EPDM malzemenin kullanım alanları

İşletmede enjeksiyon işlemi uygulanarak “EPDM” kauçuk malzemedan üretilen FX 887 conta için deneysel tasarım oluşturularak belirlenen deney noktalarında deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.3 Deneylerde Kullanılan Ürün (FX 887 Conta) İçin Üretim Süreci

İşletmede “EPDM” kauçuk malzemedan üretilen FX 887 contanın iş akış süreci Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. FX 887 contanın iş akış süreci

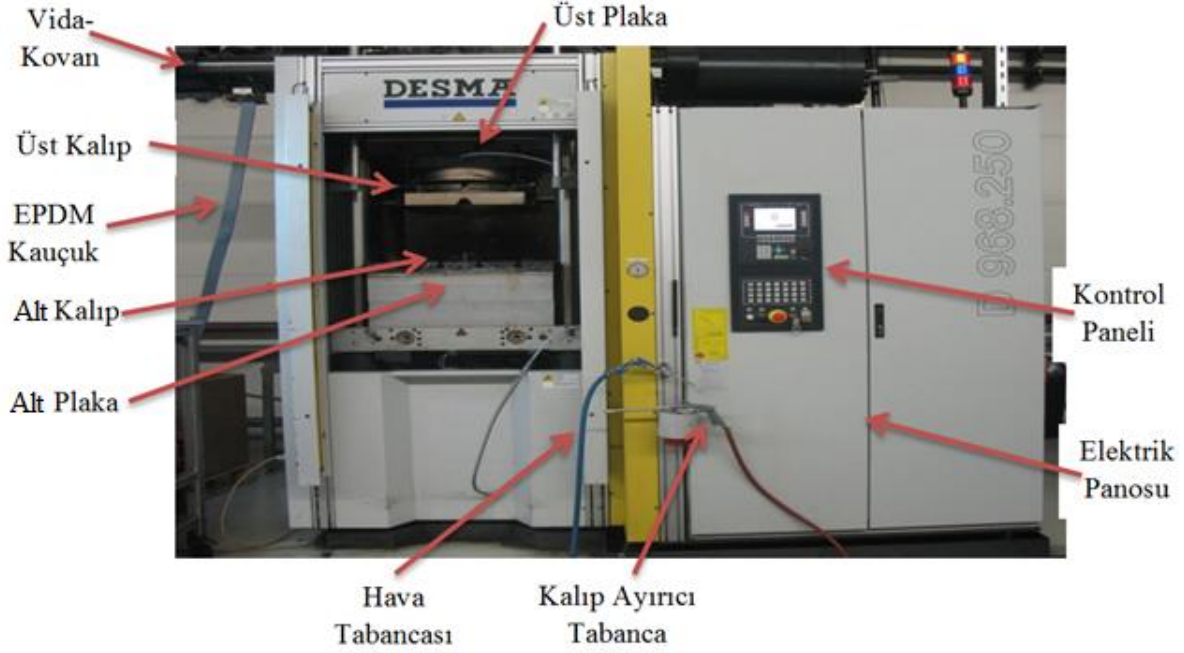


İşletmede enjeksiyon işlemi uygulanarak “EPDM” kauçuk malzemeden üretilen sızdırmazlık fonksiyonu ve titreşimleri sönümleyerek önleme özelliğine sahip FX 887 conta üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen conta örneği Şekil 3.3.’ de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışma kapsamında üretilen conta örneği

İşletmeye gelen “EPDM” karışım için girdi kontrol testlerinden geçtikten sonra, üretim ayar şartlarına göre ayarlamaları yapılan DESMA enjeksiyon makinesinde enjeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyin yapıldığı enjeksiyon makinesi Şekil 3.4.’ de verilmiştir.



Şekil 3.4. Deneyin yapıldığı enjeksiyon makinesi

Makine kilitlendikten sonra hammadde enjekte edilir ve 2-3 dk. malzeme pişirilir. Malzemenin ağırlığı 950 ± 10 gr' dır. Makineden çıkartılan ürünün çapak temizliği yapılır. Çapak temizliği yapılacak malzeme örneği Şekil 3.5.' te verilmiştir.



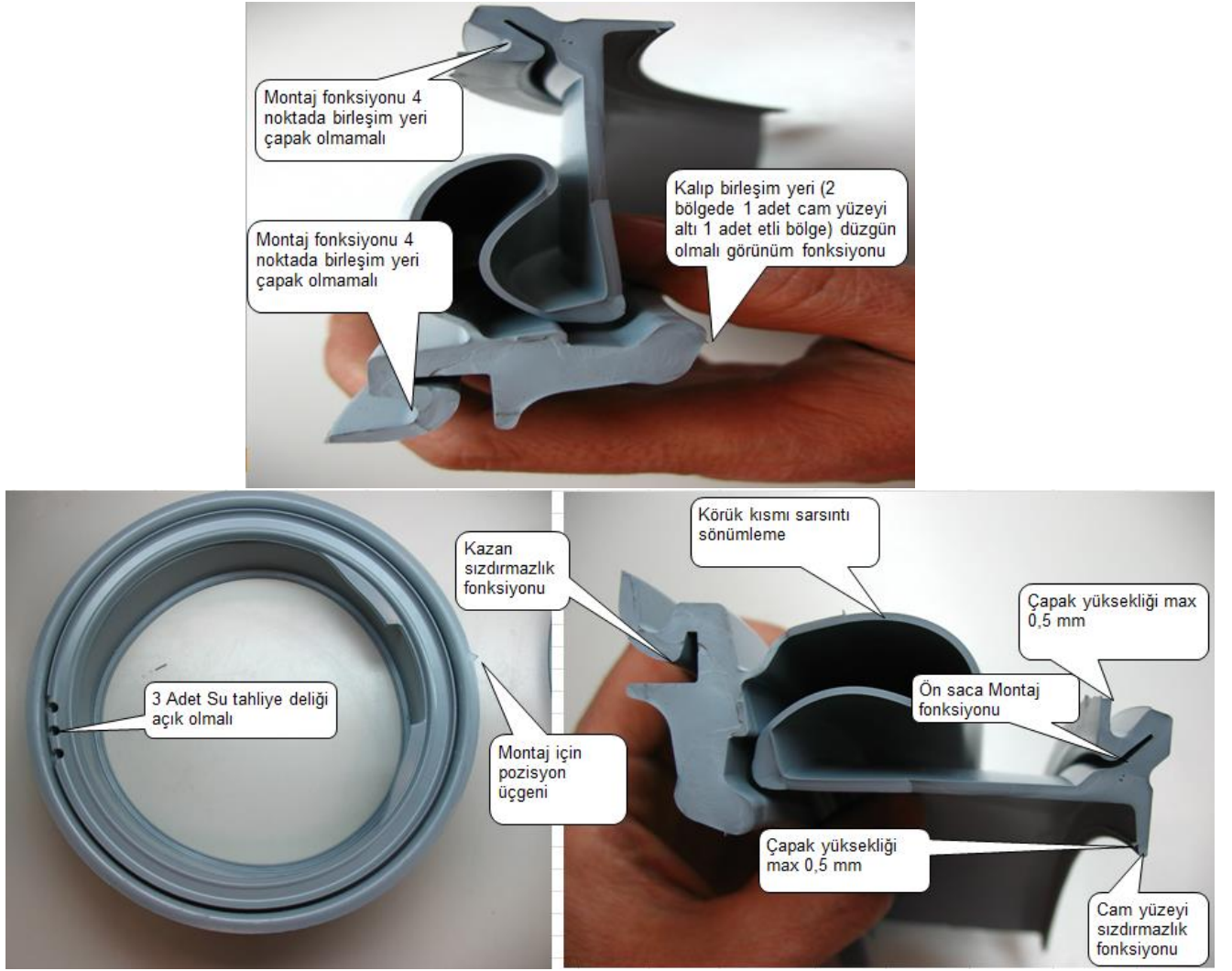
Şekil 3.5. Çapak temizliği yapılacak malzeme örneği

Arabalara konulan ürünler kalite kontrol için %100 kontrol bölümüne gönderilir. Kalite kontrolü yapılacak malzeme örneği Şekil 3.6.' da verilmiştir.



Şekil 3.6. Kalite kontrolü yapılacak malzeme örneği

Kalite kontrol yapılırken dikkat edilecek hususlar Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Kalite kontrolü yapılacak malzemede kontrol noktaları ve özellikleri

Ürünlere kalite kontrol işlemleri uygulandıktan sonra ürünler kutulara konularak sevk edilmeye hazırlanır. Müşteriye sevk edilecek contalar Şekil 3.8.' de görülmektedir.



Şekil 3.8. Müşteriye sevk edilecek contalar

İşletmede üretilen ürün ile ilgili karşılaşılan hataların operatör kaynaklı, hammadde kaynaklı, proses kaynaklı olmak üzere hata gruplandırması Çizelge 3.3'te verilmiştir. Karşılaşılan hata örnekleri ise Şekil 3.9.'da görülmektedir.

Çizelge 3.3. Karşılaşılan hataların gruplandırılması

OPERATÖR KAYNAKLI HATALAR	HAMMADDE KAYNAKLI HATALAR	PROSES KAYNAKLI HATALAR
AYAR HATASI	HAVA KABARCIĞI	YANIK
KALIP KİRLİLİĞİ	EKSİK GRAMAJ	PATLAK
OPERATÖR BİLİNÇSİZLİĞİ HATASI	YABANCI MADDE	YIRTIK
		ÇAPAK
		DEFORME
		PİŞMEMEZLİK
		CAM YÜZEYDE EZME

OPERATÖR KAYNAKLI HATALAR	HAMMADDE KAYNAKLI HATALAR	PROSES KAYNAKLI HATALAR	
AYAR HATASI	HAVA KABARCIĞI	YANIK	ÇAPAK
			
KALIP KİRLİLİĞİ	EKSİK GRAMAJ	PATLAK	DEFORME
			
OPERATÖR HATASI	YABANCI MADDE	YIRTIK	CAM YÜZEYDE EZME
			
		PİŞMEMEZLİK	
			

Şekil 3.9. Karşılaşılan hata örnekleri

3.4 Hammaddeye Uygulanan Testler ve Ölçüm Cihazları

Kullanılan “EPDM” malzemenin;

- Sertlik,
- Yoğunluk,
- Reometre değeri (viskozite değeri),
- Ön vulkanizasyon (scorch) zamanı (sn),
- Maksimum tork değerinin %50'sine ulaştığı zaman (sn)
- Maksimum tork değerinin %90'ına ulaştığı zaman (sn)
- Maksimum tork

değerleri ölçülerek girdi kontrolleri yapılmaktadır. Çizelge 3.4'te girdi kontrolleri yapılarak kullanımına onay verilen "EPDM" malzemenin kabul sınırları alt ve üst limit olarak görülmektedir.

Çizelge 3.4. EPDM malzemenin alt ve üst kabul limitleri

Parametre		Sertlik	Yoğunluk	ML	ts2	t50	t90	MH
Birim		Shore A	g/cm ³	dNm	m:s	m:s	m:s	dNm
Tolerans	Alt	39	1,14	0,3	00:26	00:30	00:45	5
	Üst	45	1,18	1,3	00:45	00:50	01:10	8,5

İşletmede, sızdırmazlığın sağlanması amacıyla üretilen contaların hammaddesi olan kauçuğun üretime uygunluğunun kontrol edilmesi amacıyla, bazı girdi kontrol testleri yapılmaktadır. Girdi kontrol testleri 21 ± 2 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir. Hazırlanan numunelere rheometre, sertlik ve yoğunluk testleri yapılmaktadır. Testler, 21 ± 2 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

3.4.1 Rheometre Testi:

Rheometre testinde; pişmemiş kauçuklardan numune alınarak rheometre cihazında (Şekil 3.10.) pişirilmesi ve pişme grafik değerlerinin belirlenen aralıklara uygunluğu kontrol

edilmektedir. Yapılan bu test DIN 53529 prensibine göre Alpha Rheometer ODR 2000 cihazında gerçekleştirilir.



Şekil 3.10. Rheometre test cihazı

3.4.2 Sertlik Ölçme Testi:

Sertlik ölçme testinde; belirli bir kalınlıkta ve yüzeyi düzgün vulkanize olmuş kauçuk parçalarda Shoremetre cihazını (Şekil 3.11.) kullanarak Shore A cinsinden sertlik değeri ölçülmektedir. Yapılan bu test DIN 53505 prensibine göre Zwick Shore A marka shoremetre (DIN 53505 normuna uyumlu ucu iğneli Shoremetre cihazı) cihazında gerçekleştirilir.

Sertlik hesaplaması;

$$\text{Shore A Sertlik} = \frac{(\text{Ölçüm 1} + \text{Ölçüm 2} + \text{Ölçüm 3})}{3} \quad (3.1.)$$

formülüne göre yapılır.



Şekil 3.11. Sertlik ölçme cihazı-Shoremetre

3.4.3 Yoğunluk Testi:

Yoğunluk testinde; vulkanize olmuş kauçuk parçalardan yoğunluk terazisi (Şekil 3.12.) kullanılarak yoğunluk değeri ölçülmektedir. Yapılan bu test DIN 53479 prensibine göre Sartorius LA 230S cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.12. Yoğunluk ölçme cihazı

3.5 Deneysel Tasarım Yöntemi

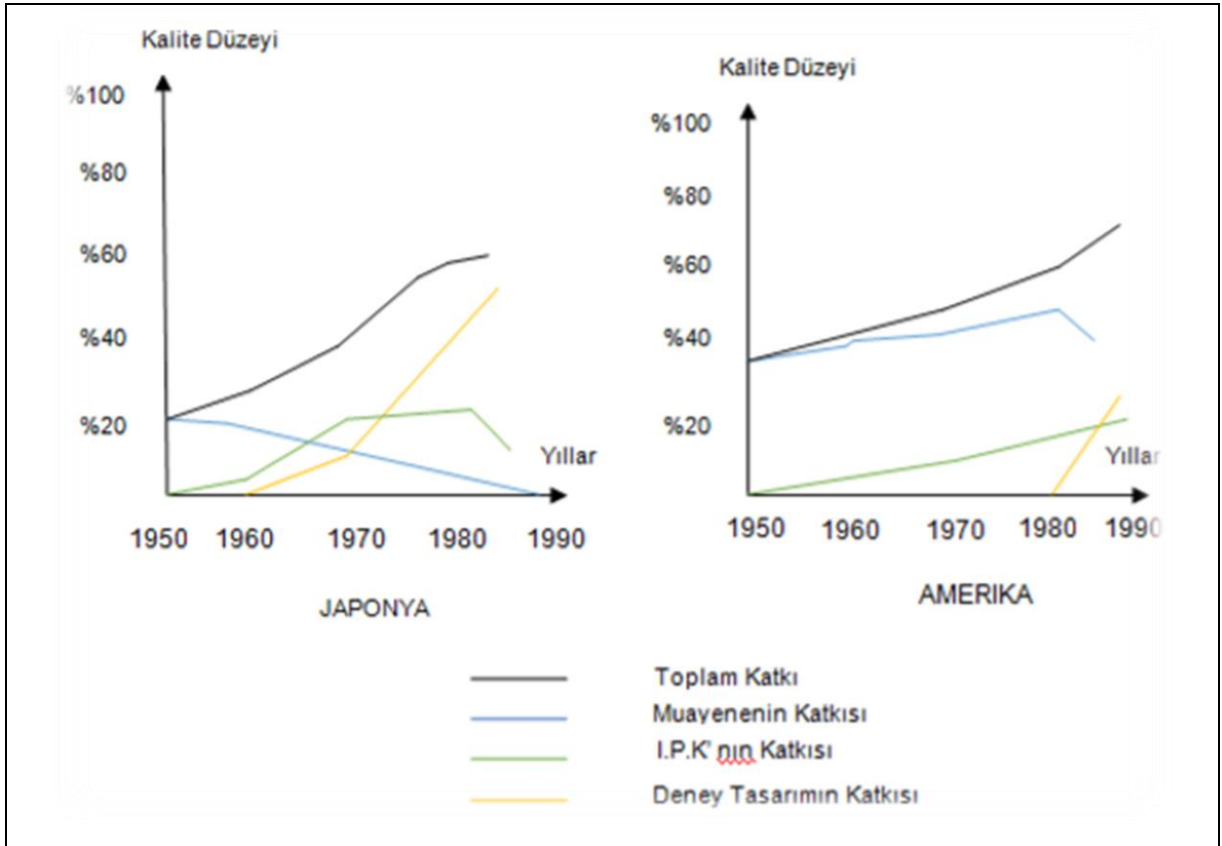
Deneysel tasarım; bir sürecin performansını iyileştirmek için, süreci etkileyen girdi değişkenleri üzerinde değişiklikler yapılarak, sürecin tepki değişkeni üzerindeki değişikliklerin gözlemlenmesi ve yorumlanması olarak tanımlanır (Montgomery 1991, Demir 2004, Şanyılmaz 2006, Çiftçi Aytekin 2010). Deneysel tasarımın amacı; girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin sistematik olarak yapılmasıyla tepki değişkeni üzerindeki değişikliğin incelenmesi ve yorumlanmasıdır. Deneysel tasarım üretim prosesinin performansını geliştirmek ve yeni bir prosesin geliştirilmesinde uygulanmak için mühendislikte yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Deneysel tasarım, ilk defa 1920'li yıllarda istatistik biliminin en önemli isimlerinden olan İngiliz

istatistikçisi A. Ronald FISHER tarafından tarım ürünlerinin verimli şekilde üretilmesini sağlamak için geliştirilmiştir. A. Ronald FISHER, daha verimli tarım ürünlerinin üretilmesine katkıda bulunan gübrelerin belirlenmesinde bu yöntemden faydalanmıştır. FISHER, ürün yetiştirilecek toprakta yaptığı çalışmada, verimliliği aynı olan toprağı birkaç bloğa ayırmış ve her ürün grubunu rastgele olacak şekilde bu toprak bloklarda yetiştirmiştir. Fisher'in bu blokları kurması ve bloklara rasgele ürünleri yerleştirmesi, deney tasarımının temelini oluşturmuş ve faktöriyel analiz tanımının doğmasına sebep olmuştur (Çömlekçi 2003, Demir 2004, Şanyılmaz 2006, Çiftçi Aytekin 2010).

Deney verilerinin analizini yapmaya yarayan ve klasik yöntem haline gelen “Varyans Analizi” (ANOVA) yöntemini geliştiren de yine FISHER’dir. Varyans analizi (ANOVA), test edilen parçaların ortalama performansları arasındaki değişkenliği ortaya çıkaran istatistik temelli bir analiz metodudur. Deneysel tasarımın temeli varyans analizine dayanmaktadır. Deneysel tasarım, kısa bir süre Amerika’da tarım alanında da kullanılmıştır ve Amerika’nın tarım alanında dünyada lider konuma gelmesine büyük fayda sağlamıştır. Bu yöntem tarım sektöründe üretimin geliştirilmesine büyük katkı sağlamıştır. Deneysel tasarım, tarım alanından sonra kimya ve ilaç sanayiinde de kullanılmaya başlanmıştır (Montgomery 2001, Demir 2004, Şanyılmaz 2006, Taylan 2009, Çiftçi Aytekin 2010, Karşlıoğlu 2013). Deney tasarımı konusunda çalışma yapan diğer bilim adamlarından bazıları F. Yates, O Kempthorne, R. H. Myers, R. C. Bose, W. G. Cochran, W. G. Hunter, J. S. Hunter ve G.E.P. Box sayılabilir. W. Edwards Deming’in Japonya’da, kalite ve verimliliği geliştirme felsefesi ve yöntemleri üzerine yaptığı çalışmalar ile verdiği konferanslardan sonra, deneysel tasarım Japon istatistikçileri tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede etkili, düşük maliyet ve yüksek kalitede ürün geliştirilmesini sağlayan deney tasarımı yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. İlk olarak Fisher’in uyguladığı deney tasarımı tekniklerinden ve çalışmalarından sonra Taguchi de bu tasarım olgusuna kendi yaklaşımlarını eklemiş ve çalışmalar yapmıştır (Montgomery 2001, Demir 2004 ve Şanyılmaz 2006).

Motorola firması kalite ekibinden K. Bhote, 1950-1990 yılları arasında kalitenin gelişimine katkı sağlayan üç istatistikî yöntemi, Amerika ve Japonya için karşılaştırmıştır. Kalitenin gelişimine katkı sağlayan bu üç yöntem; muayene (Kalite Kontrol), İPK (İstatistiksel Proses Kontrol) ve deney tasarımı yöntemleridir. Şekil 3.13.’te deney tasarımının Japonya ve

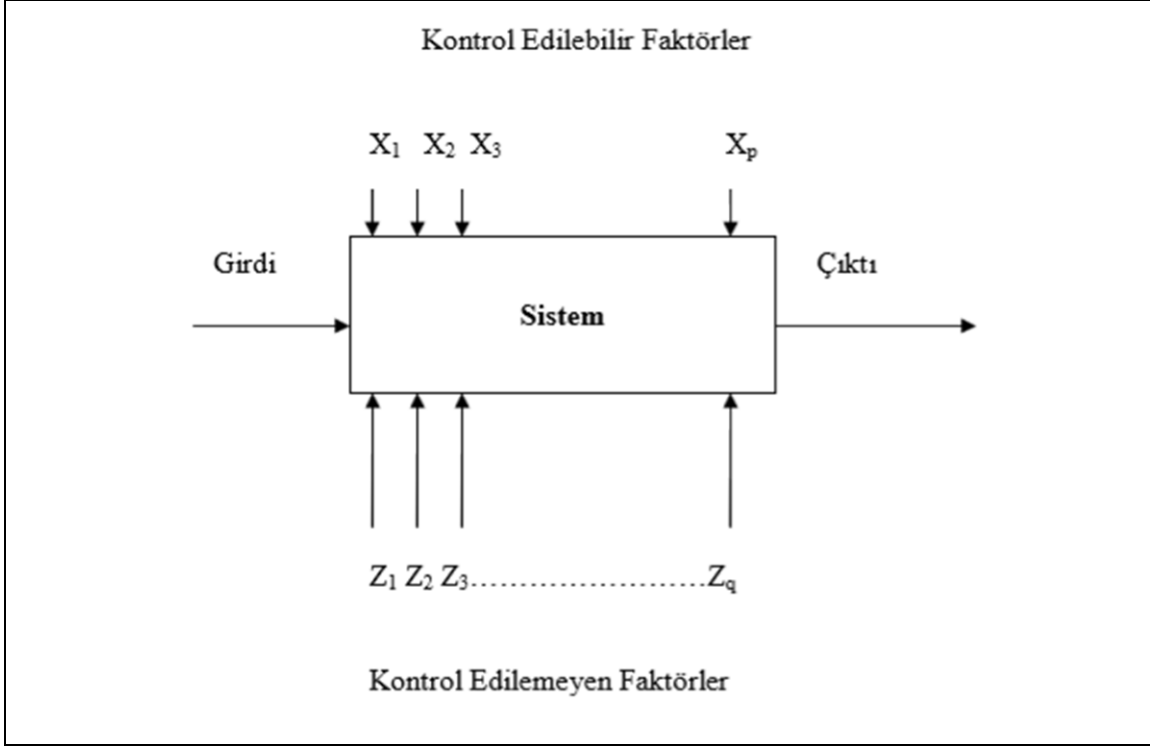
Amerika üzerindeki kalite yönetimine olan katkısı görülmektedir. Japonya'da yapılan çalışmalarda kalite gelişmesine en büyük katkı 1970'ten sonra deney tasarımı ile sağlanmıştır. Amerika'da ise bu çalışmalar 1980'den sonra büyük bir hız kazanmıştır. Kaliteyi sağlamak için, deney tasarımı tekniklerinin özellikle üretim endüstrisinde yaygın olarak kullanılmasının en önemli sebebi, 1960'lardan beri Japonya'da kullanılan deney tasarımı tekniklerinin Amerika'da kullanılmaya başlanması, 1980'lerin başında Taguchi'nin Amerika'da verdiği seminerlerden sonra gerçekleşmiştir. Deney tasarımı, Japonya'da Taguchi önderliğinde etkili bir şekilde ve yoğun olarak uygulanmıştır. Taguchi deney tasarımının geliştirilmesine kuramsal yenilikler yaparak katkı sağlamamış ancak, üretimdeki uygulamalarda yenilikler yaparak başarılı uygulamalarla deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesi olanağını sağlamıştır. (Taguchi 1989, Demir 2004 ve Şanyılmaz 2006).



Şekil 3.13. Amerika ve Japonya'da üç temel yöntemin kalite seviyesine katkısı (1950-1990) (Taguchi 1989, Şirvancı 1997, Şanyılmaz 2006)

Son yıllarda bütün dünyada deney tasarımı eğitimleri verilmekte, uygulamalar üretim endüstrisinin her alanında kullanılmakta ve sürekli geliştirilmektedir. Dünyada her gün binlerce istatistiksel deney tasarlanmakta ve binlerce üretim sorununa çözüm getirilmektedir. Deney tasarımı kısaca, bir süreçte ele alınan girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin yapılması ile tepki değişkeni üzerinde oluşan değişikliğin gözlemlenip yorumlanarak optimum noktaların belirlenmesidir (Montgomery 2001, Demir 2004, Taylan 2009, Çakal 2010, Efendioğlu 2013). Deney tasarımında, süreci etkileyen her türlü etkene “faktör (girdi değişkeni)” denilmektedir. Girdi değişkenlerinin çeşitli dereceleri de “seviye” olarak adlandırılmaktadır. Bir deney tasarımı çalışması oluşturulurken birden fazla girdi değişkeni ve seviyeleri tanımlanabilir (Montgomery 2001, Demir 2004, Şanyılmaz 2006). Ürünün ve/veya üretim sisteminin etkinliğini etkileyen girdi değişkenlerinin ve bu değişkenlerin seviyelerinin belirlenmesi ile başlayan hazırlık sürecinde beyin fırtınası (brainstorming), hata ağacı analizi ve balık kılıcı diyagramı gibi araçların kullanılması faydalıdır. Yapılan ön hazırlıklar genelde deneyin oluşturulmasına da yansiyarak çeşitli deney tasarımı yöntemlerinin geliştirilmesine neden olur. Deney tasarımı yöntemleri alt yapıda aynı amaca hizmet etmekle beraber, sonuca minimum sürede ve maksimum kazanımla ulaşabilmek için deney matrisinin oluşturulmasında çeşitli yollar izlenmektedir. Deney tasarımı proses çıktılarının iyileştirilmesinde, azaltılmış değişkenlik ve istenilen özelliklere uygunluk, geliştirme süresinde azalma ve maliyette azalma gibi konularda etkindir. Deney tasarımı yöntemleri, yeni ürünlerin geliştirilmesi ve mevcut ürünlerin iyileştirilmesi çalışmalarında önemli rol oynar.

Süreç; makineler, metotlar, insanlar ve diğer kaynaklar gibi girdilerin birleşimiyle oluşan ve bir ya da daha fazla tepki değişkeni olan bir çıktı olarak tanımlanır. Sürecin kontrol edilebilir değişkenleri, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ olarak, kontrol edilemeyen değişkenleri ise, $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_q$ olarak tanımlanırsa bir sistemin veya sürecin genel modeli Şekil 3.14'teki gibi gösterilir.

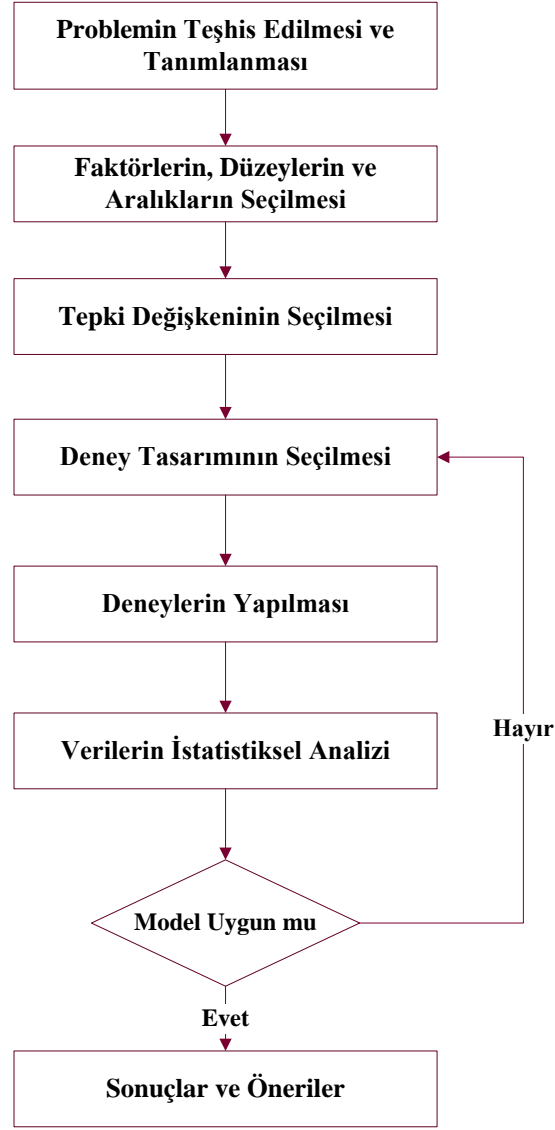


Şekil 3.14. Bir sürecin genel modeli (Montgomery 2001)

Deney tasarımı metodu, yeni bir ürün veya proses geliştirmede, mevcut ürünlerin optimizasyonunda ve performans arttırmak amacıyla mevcut prosesi iyileştirme çalışmalarında etkili bir rol oynamaktadır. Deney tasarımının amaçları aşağıdaki biçimdedir (Montgomery 2001, Demir 2004, Şanyılmaz 2006).

- Sonuç ve ürün performansı üzerinde en etkin girdi değişkenlerini belirlemek.
- Performansı hedef değere yakın sonuca ulaştıracak ve varyasyonu en küçükleyen girdi değişkenlerinin seviyelerini belirlemek.
- Kontrol edilemeyen faktörleri (girdi değişkenlerini) tepki değişkenine yapacağı etkinin en az olacağı kontrol edilebilen girdi değişkenlerini belirlemek.

Deney tasarımının aşamaları Şekil 3.15'te gösterilmiş olup, yapılan çalışmada bu aşamalar izlenmiştir.



Şekil 3.15. Deney tasarımının aşamaları

1. **Problemin Teşhis Edilmesi ve Tanımlanması:** Deney tasarımının ilk aşaması problemin teşhis edilmesi ve tanımlanmasıdır. Bu aşamada problem net bir şekilde belirlenmelidir. Problemin doğru şekilde tanımlanması durumun en iyi şekilde anlaşılmasına ve problemin çözümüne büyük katkı sağlayacaktır. Bunun için geçmiş tecrübeler ve literatürden yararlanılacağı gibi beyin fırtınası (brainstorming), balık kılçığı diyagramı, pareto analizi vb. gibi araçlarından da fayda sağlanabilir. Deneyin amacı ve bu konuda yapılacak çalışmalar da bu aşamada oluşturulmaktadır.

2. **Faktörlerin, Düzeylerin ve Aralıkların Seçilmesi:** Problem tanımlandıktan sonra, süreci etkileyen faktörlerin (girdi değişkenlerinin) ve faktör seviyelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu adımda faktörlerin hangi seviyelerinde deneylerin yapılacağı ve nasıl ölçüleceği belirlenmelidir. Faktörler için belirlenen seviye sayısı da gerçekleştirilecek deney tasarımını ve tasarımda oluşturulan her deney için gerekli gözlem sayısını etkilemektedir.
3. **Tepki Değişkeninin Seçilmesi:** Girdi değişkenleri ve bu girdi değişkenlerine ait seviyeler oluşturulduktan sonra, problemin çözümü hakkında bilgi sağlayacak tepki değişkeni tespit edilir. Tepki değişkeni olarak seçilen değişkenin, deneyin amacı için uygun olduğuna emin olunmalıdır.
4. **Deney Tasarımının Seçilmesi:** Belirlenen problemin çözümüne yönelik deney tasarım tekniği seçilmelidir. Bu aşamada dikkat edilecek konu, deneylerin maliyetini de hesaba katarak, örnek büyüklüğü, deneylerin yapılış sırası ve deney tekrarı sayısının belirlenmesidir.
5. **Deneylerin Yapılması:** Deneysel veriler bu aşamada toplanır. Bu aşamada yapılacak deney hataları deney geçerliliğini etkiler. Deneylerin başarılı bir şekilde ilerleyebilmesi için deneylere başlanmadan önce birkaç deneme yapılabilir.
6. **Verilerin İstatistiksel Analizi:** Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler, çeşitli istatistiksel ve analitik metotlar ile analiz edilir. İstatistiksel metotların kullanılmasının amacı verilerin sonuç ve yorumlarını objektif şekilde analiz etmektir. En çok tercih edilen analiz yöntemleri ise grafiksel yöntem ve varyans analizi (ANOVA) yöntemleridir.
7. **Sonuçlar ve Öneriler:** Veri analizinden ortaya çıkan sonuçlar ise bu aşamada değerlendirilmektedir. Ayrıca bulunan sonuçlar ve yapılan öneriler, başka bir çalışmanın konusu da olabilir.

3.5.1 Deney Tasarımı Türleri

Farklı deney tasarım yöntemleri olmakla birlikte, uygulama alanına ve ihtiyaçlara göre seçim yapılabilir. Bu çerçevede deney tasarımı yöntemlerini Klasik (Pasif) deney tasarımı yaklaşımı ve İstatistiksel (Etkin) deney tasarımı yaklaşımı olarak sınıflandırmak mümkündür.

1. Her Defada Tek Etken (HDTE)
2. Eşleştirilmiş karşılaştırma
3. Tam Faktöriyel
4. Kısmi Faktöriyel
5. Latin Kareler
6. Graceo-Latin Kareler
7. Box-Behnken
8. Plackett-Burman
9. Taguchi

Klasik deney tasarımında, bir faktör değiştirilirken diğerleri sabit tutulur. Değişiklik yapılan faktör üzerinde sonuçlar gözlemlenerek sistem çıktısına etkisi araştırılır. Fakat bağımlı değişken üzerinde etkili olduğu öngörülen değişkenlerin birbiriyle etkileşimi dikkate alınmadığı unutulmamalıdır. Klasik yöntemde elde edilecek başarı diğer yöntemlere göre daha düşüktür. Klasik yöntemler basit uygulamalar için tercih edilmektedir (Montgomery 2001, Karadaş 2010, Kumaş 2011, Aytakin 2014, Sağol 2015).

Klasik yöntemde, yapılan deney tasarım çalışmalarında, etkileşimin ele alınmaması, çevresel şartların ve kullarımdaki değişimlerin, deney yapılan çalışmanın etkilerinin yeterince kavranmamasına sebep olur. Bu durum ise pek karşılaşılmak istenmeyen bir durumdur. Uygulanan deney tasarım çalışmasının farklı ortamlarda farklı sonuçlar vermesi tercih edilmeyen ve istenmeyen bir durumdur. İstatistiksel deney tasarımında ise; değişkenler incelenirken etkileşimleri de göz önünde bulundurulur. Klasik deney tasarımında, gözlemlenmesi mümkün

olmayan bir çok durum istatistiksel deney tasarımı yaklaşımıyla tespit edilebilmektedir. İstatistiksel deney tasarımında deneyin amacı, deneysel koşullar, maliyetler ve sektörel zorunluluklardan dolayı farklı yöntemler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda en çok tercih edilen faktöriyel deney tasarımları ile Taguchi yaklaşımı ile tasarlanan deney tasarımları olmuştur (Montgomery 2001, Karadaş 2010, Kumaş 2011, Aytekin 2014, Sağol 2015).

3.5.2 Tepki Yüzeyleri Tasarımı

Tepki yüzeyleri tasarımı bir tepki değişkeninin birçok girdi değişkenine bağlı olarak değiştiği ve tepkiyi optimize etmek için bir problemin analizinde ve modelin kurulmasında kullanılan istatistiksel ve matematiksel tekniklerin birlikte kullanıldığı bir yöntemdir. Tepki yüzey tasarımı yaklaşımı, süreci etkileyen girdi değişkenleri arasında etkileşimin olup olmadığını, etkileşim var ise etkileşimin yönünü ve şiddetini, sürecin hangi bağımsız değişken üzerinde daha etkili olduğunu analiz eden bir yöntem olup, bu avantajlar nedeniyle de birçok alanda yaygın olarak kullanılır (Myers ve Montgomery 1995, Türkyılmaz 2011, Aygün 2012, Gürbüz 2015).

Tepki yüzey tasarımı 3 aşamadan (tasarımın gerçekleştirilmesi, deneylerin yapılması ve sürecin veya ürünün optimizasyonu) oluşmaktadır. Tasarımın gerçekleştirilmesi, bir takım fikirler öne sürülerek sistemi karakterize edebilecek tepki değişkenleri ve bunlar üzerinde etkili olması beklenen girdi değişkenlerinin belirlenmesi için daha az ve daha etkili esas deneme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Tasarımın gerçekleştirilmesinin amacı çalışmanın ilerleyen dönemlerinde maliyet ve zaman açısından önemli kazançlar sağlamaktır. İkinci aşama olan deneylerin yapılmasında ise amaç, eleme denemeleri ile belirlenen girdi değişkenlerinin belirlenen seviyelerinin sistemin tepki değişkeninde meydana getirdikleri değişimin, en iyi değere (optimuma) yakın sonuçlar oluşturup oluşturmadığını belirlemektir. Tepki yüzey metodolojisinin üçüncü aşaması ise optimum noktaya yaklaşıldığında başlamaktadır. Gerçek tepki fonksiyonu optimum nokta çevresinde önemli bir eğrilik gösterdiği durumlarda; bu eğriliğin tahmin edilmesinde lineer olmayan modeller, genellikle ikinci dereceden polinom modeller, üssel modeller veya eksponensiyel modellerden faydalanılmaktadır. Uygun bir model oluşturulduktan sonra, tepki yüzey tasarımı grafikleri ve ANOVA gibi analizlerle optimum nokta araştırılır (Koç ve Kaymak-Ertekin 2009, Gürbüz 2015).

Örneğin; bir prosesin verimi sıcaklık ve basınç ile değişiyorsa tepki yüzey yönteminde verim bu bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu (eşitlik 3.2) olarak yazılıp,

$$\text{Proses verimi}(y) = f[\text{sıcaklık}(x_1)\text{ve basınç}(x_2)] \quad (3.2)$$

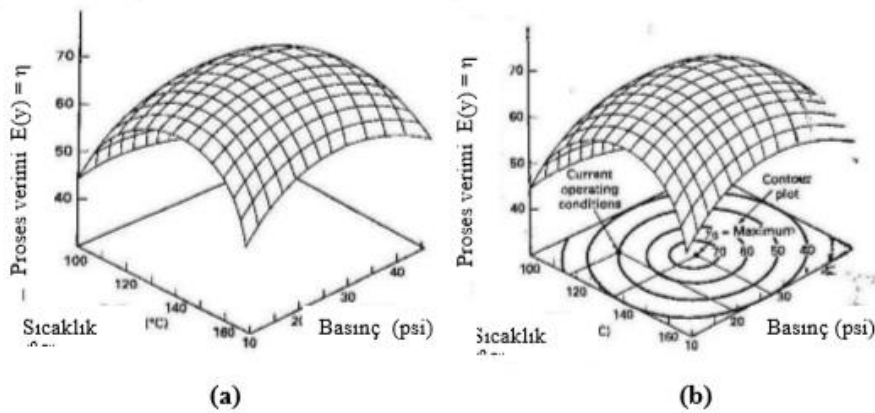
$$E(y) = \eta = f(x_1, x_2) + \varepsilon$$

$E(y)$: Tepki yüzeyi

x_1, x_2 : Bağımsız değişkenler

ε : Hata

optimizasyon üretilen bu bağıntı üzerinden gerçekleştirilir. Optimizasyon sonucunda Şekil 3.16.'da görülen izdüşüm grafiği ve tepki yüzeyleri elde edilir (Montgomery 2001, Türkyılmaz 2011).



Şekil 3.16. Beklenen verimin (η), sıcaklık (x_1) ve basınçla (x_2) değişimini gösteren üç-boyutlu tepki yüzeyi (a) ve izdüşüm grafikleri (b)

Daha sonra optimuma yakın olarak belirlenen bölge dikkate alınarak tepkinin değişkenlere bağlı fonksiyonu (eşitlik 3.3) için birinci dereceden bir polinom türetilir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3.3)$$

y : Tepki (bağımlı değişken) değişkeni

β_i : Regresyon katsayısı

x_i : Bağımsız değişken

ε : Deneysel hata

Tepki yüzey yöntemi iki basamaktan oluşur; birinci basamakta tepkinin değişkenlere bağlı fonksiyonu birinci dereceden bir polinom (eşitlik 3.4) ile ifade edilir:

$$y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ii} x_i^2 + \sum \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.4)$$

Tepki yüzey yönteminin en önemli avantajlarından biri de belirlenen optimum koşulların endüstriye uygulanabilirliğinin olmaması durumunda, endüstride bu koşullara en yakın durumun uygulanması sonucunda elde edilecek proses verimini ek deneyler yaparak doğrulanmasına gerek kalmaksızın gösterebilmesidir (Montgomery 2001, Türkyılmaz 2011). Tepki yüzey yöntemi, “Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması” adı ile 1951 yılında Box and Wilson tarafından ilk olarak kimya endüstrisine uygulanarak, geliştirilmiş ve tanımlanmıştır. Myers ve Montgomery (1995), tepki yüzey yöntemini, proseslerin geliştirilmesi ve eniyilemesi için gerekli istatistiksel ve matematiksel tekniklerin birlikte kullanıldığı bir yöntem olarak belirtmişlerdir (Koç, Kaymak-Ertekin 2009, Şimşek 2014, Gürbüz 2015). Optimizasyon, prosesin belirlenen tepkiler doğrultusunda, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve bu bağımsız değişkenlerin tepkiye olan etkileri göz önünde bulundurularak uygulanmasıdır. Optimizasyon,

genel olarak hedef fonksiyonu olarak isimlendirilen ve önceden tanımlanmış kriterleri maksimum veya minimum yapmak için karar (bağımsız) değişkenleri olarak tanımlanan, belirlenen koşulların değiştirilmesi işlemidir. Optimizasyon proses tasarımlarını verimli hale getirmek (üretimi ve kaliteyi iyileştirmek ve maliyeti minimize etmek) için kullanılmaktadır (Koç, Kaymak-Ertekin 2009). Klasik deney tasarım yöntemlerinde her bir faktörün sistem performansı üzerindeki etkisi araştırılırken diğer tüm faktörler sabit tutulur. Bu araştırmada, aynı anda sistem performansına etki eden tüm faktörlerin farklı seviyelerinin ve etkilerinin incelenmesi mümkün değildir. Deney sayısının azaltılması, araştırma-geliştirme faaliyetlerinin hızlandırılması, zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanması, kaynakların etkin ve verimli kullanılması için sistemin incelenen tepkisinin ölçülmesini sağlayacak deneysel tasarımın yapılması kaçınılmazdır (Turan ve Altundoğan 2011, Aygün 2012, Gürbüz 2015).

Tepki yüzey metodu uygulamaları genellikle birçok matematiksel ve istatistiksel tekniklerin birlikte uygulanması ile gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalarda elde edilen veriler bir sonraki adımda kullanılmaktadır. Birinci adımda, çeşitli fikirler göz önünde bulundurmaya kaydıyla sistemi karakterize edebilecek performans ölçüleri (tepki) ve bu performans ölçütleri üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörlerin ve değişkenlerin belirlenmesi gerekir. Bu faktörler çoğu proseste işlem adımları gereği oldukça fazla olabilmektedir. Bu durumdan dolayı hem işletmelerin izin verdiği kısıtlamalar göz önüne alınarak hem de faktörlerin istatistiksel olarak en önemli olanları seçilerek tasarımın gerçekleştirilmesi sağlanabilir. Araştırmanın ilerleyen adımlarında daha az deneme yapılması kaynaklar, maliyet, zaman ve işgücü açısından önemli kazanımlar sağlar. Değişkenler ve aralıkları belirlendikten sonra “Tepki Yüzey Metodu”nun ikinci adımına geçilir ve bu adımda amaçlanan bağımsız değişkenlerin belirlenen seviyelerinin sistemin tepkisi üzerinde meydana getirdikleri değerlerin, optimuma yakın sonuçlar verip vermediğini belirlemektir. (Turan ve Altundoğan 2011, Gürbüz 2015). Optimum noktaya yaklaşıldığında ise üçüncü adım başlar ve araştırmacı bu noktada, optimum nokta çevresinde gerçek tepki fonksiyonunu tahmin etmeye çalışır. Optimum nokta etrafında gerçek tepki fonksiyonu ciddi bir eğrilik gösterir. Bu eğriliğin tahmin edilmesi sırasında genellikle ikinci dereceden polinom fonksiyonlardan yararlanır. Uygun bir deneysel tasarım oluşturulduktan sonra bu model optimum noktanın araştırılmasında kullanılır. Bazen, birtakım kısıtlardan dolayı deneysel tasarım değişkenlerinin belli aralıklar içerisinde incelenmesi gerekmektedir. Bu sayede

çalışma aşamalarından bir veya birkaçının oluşturulmasına gerek kalmayabilir. Böylece zaman, maliyet ve kaynak açısından tasarruf edilir (Turan ve Altundoğan 2011, Gürbüz 2015).

Tepki yüzey yaklaşımı ile endüstriyel bir işletmenin süreç parametreleri optimize edilebilir ve böylece klasik yöntemlerle harcanan kaynak, iş gücü, zaman ve enerji gibi önemli girdi parametrelerden kazanç sağlanabilir. Tepki yüzey yöntemi endüstriyel işletmelerde ve inşaat alanında kısacası model ve tasarımın kullanıldığı çoğu proseste uygulanabilir.

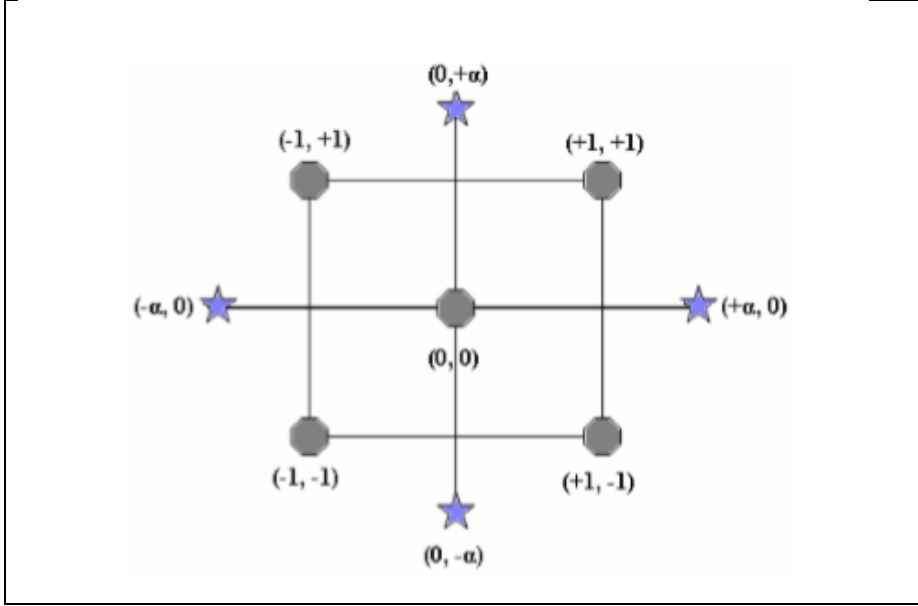
Tepki yüzey yönteminin adımları şöyle sıralanabilir (Montgomery 2001, Kasapoğlu 2007).

1. Başlangıç noktasını göz önüne alarak etkili bir tasarım planlanır ve deneyler gerçekleştirilir.
2. Veriye doğrusal bir model geliştirilir (Karesel ve etkileşim terimi olmayan).
3. En dik yükselme çizgisi belirlenir.
4. Sistemin tepkisi önemli ölçüde değişim göstermeyi bırakana dek o doğrultuda yeni deneyleri gerçekleştirmeye devam edilir.
5. Yüzeyin eğimi büyük ise 6. adıma gidilir, yoksa 1. adıma gidilir.
6. Optimum noktanın yakınlarında yeni deney tasarımı planlanır, ve veriye 2. dereceden bir model uydurulur.
7. 2. dereceden modele göre bağımsız değişkenlerin optimum değerleri belirlenir.

Deney tasarımı uygulanmasında, problemin parametre uzayında bir nokta takımı seçilir. Her bir noktanın sağladığı verim deneylerle bulunduktan sonra bu nokta takımına istatistiksel bir model uygulanır ve elde olan bilgilerden yararlanarak bir tepki yüzeyi oluşturulur (Eğri 2008).

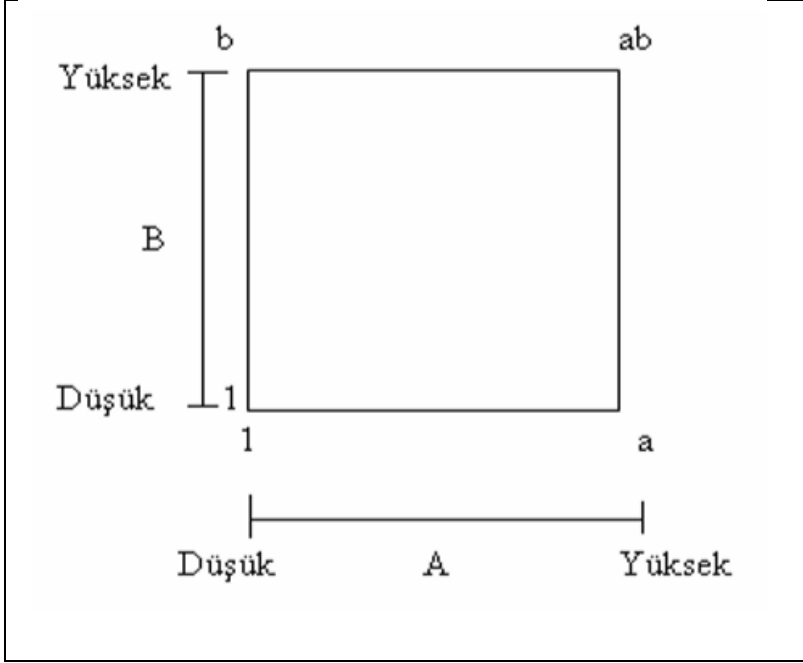
3.5.3 Faktöriyel Tasarım

Faktöriyel tasarımlar birbirleri ile etkileşimde olabilecek en az iki girdi değişkeninin en az ikişer seviyelerinin (etki düzeyleri) birlikte ele alınarak deneylerin yapıldığı deneme düzenleridir. İki faktörlü merkezi birleşik tasarımın şema ile gösterimi Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17. İki faktörlü merkezi birleşik tasarımın şema ile gösterimi (Montgomery 2001)

Faktöriyel tasarımlar, değişik girdi değişkenlerinin bulunduğu ve bu girdi değişkenlerin etkileşimlerini incelemeye sıkça kullanılan deneylerin yapıldığı tasarımlardır. Bu stratejide, her defasında bir girdi değişkeni incelemek yerine, girdi değişkenleri birlikte incelenir. Deneyin bütün deneme ya da tekrarlarının her biri için incelenen faktörlerin bütün kombinasyonları araştırılır. Faktöriyel tasarımlar girdi değişkenlerinin (proses / karar kontrol) çıktı değişkeni (tepki değişkeni) üzerindeki etkisini araştırmak için sıklıkta kullanılır. Bu etkiler (ana etkiler ve etkileşimler) olarak gruplandırılır. Örneğin faktör A için a seviyesi ve faktör B için b seviyesi varsa, her bir tekrar ab durumunun kombinasyonlarını içerir. A ve B faktörlerinin her birinin 2 seviyeden oluştuğu 2^2 ($2^1 \times 2^1$) faktörlü tasarımda; a, b ve ab sembolleri ile n tekrarın bütün kombinasyonlarındaki toplamı gösterilmektedir. 2^2 tam faktöriyel tasarım kombinasyonları Şekil 3.18'de gösterilmektedir (Montgomery 2001, Binal 2007).



Şekil 3.18. 2^2 tam faktöriyel tasarım kombinasyonları (Montgomery 2001)

A girdi değişkeni için, B girdi değişkeninin düşük seviyesindeki etkisi $[a-(1)]/n$ ve A girdi değişkeni için, B girdi değişkeninin düşük seviyesindeki etkisi $[ab-b]/n$ 'dir. Bu iki değer ortalaması A'nın ana etkisine eşittir (eşitlik 3.5).

$$A = \frac{[ab-b]+[a-(1)]}{2n} = \frac{ab+a-b-(1)}{2n} \quad (3.5)$$

B'nin ortalama ana etkisi; B girdi değişkeni için, A girdi değişkeninin düşük seviyesindeki etkisi $[b-(1)]/n$ ve A girdi değişkeninin yüksek seviyesindeki etkisi ise $[ab-a]/n$ bulunur (eşitlik 3.6).

$$B = \frac{[ab-a]+[b-(1)]}{2n} = \frac{ab+b-a-(1)}{2n} \quad (3.6)$$

A ve B girdi değişkenlerinin etkileşimlerinin etkisi; A ve B girdi değişkenlerinin yüksek seviyesinde ve A ve B girdi değişkenlerinin düşük seviyesinde ortalamaları farkı olarak tanımlanır (eşitlik 3.7).

$$AB = \frac{[ab-b]+[a-(1)]}{2n} = \frac{ab+(1)-a-b}{2n} \quad (3.7)$$

Girdi değişkenlerinin seviyelerindeki değişme ile tepki değişkeninde oluşan değişme girdi değişkeninin etkisi olarak tanımlanır. Buna ana etki denilmektedir. Test sonuçlarının analizi de ANOVA (varyans analizi) tablosu ile özetlenmektedir. Çizelge 3.5'te 2 faktörlü deney için ANOVA (varyans analizi) tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.5. 2 faktörlü deney için ANOVA çizelgesi (Montgomery 2001)

Faktörler (Değişkenlik kaynakları)	Serbestlik derecesi (DF)	Hata kareler toplamı (Seq SS)	Hata kareler ortalaması (MS)	F ₀ , F değeri
A	a-1	SS _A	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	b-1	SS _B	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Etkileşim	(a-1)(b-1)	SS _{AB}	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Hata	ab(n-1)	SS _E	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Toplam	abn-1	SS _T		

ANOVA (varyans analizi) çeşitli grupların ortalamaları arasındaki farkları ya da grupların farklı olup olmadıklarını ve bunlara bağlı olan işlemleri tanımlamak için kullanılan istatistiksel metottur. Çeşitli sayıda grupların ortalamalarının eşitliği beraber test edilmektedir (Montgomery 2001, Binal 2007).

3.5.4 Deneysel Tasarım Uygulaması

Kauçuk hammaddesinin pahalı olması, ürünün işlem gördükten sonra ortaya çıkan maddenin yeniden kullanılmasının mümkün olmaması hurdaya ayrılan ürünlerin azaltılmak istenmesi ve ürün maliyetinin minimizasyonu amacıyla daha önceden herhangi bir optimizasyon çalışmasının yapılmamış olması çözümü araştırılan ve model geliştirilmeye çalışılan problemi önemli hale getirmiştir. Bu nedenle uygun deney tasarımı modeli belirlenerek deneysel tasarım uygulanmış ve enjeksiyon makinesi için proses parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

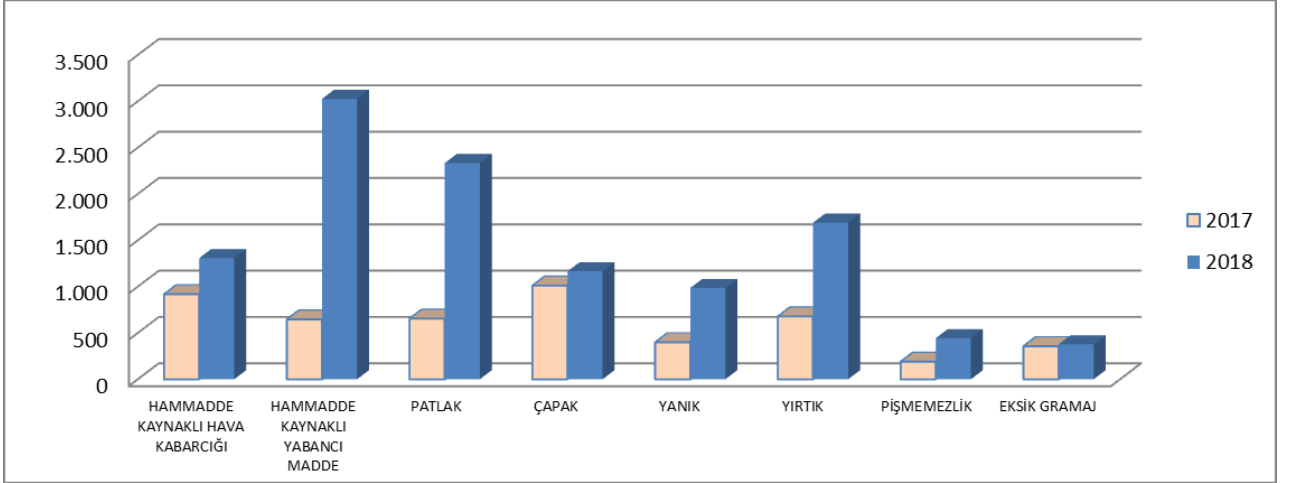
Kullanım alanı çok geniş olan “EPDM” kauçuk maddeden elde edilen belli kalite değerini sağlayan enjeksiyon yapılmış ürün maliyetinin minimum olması için üretim sürecinin en iyi koşullarda sağlanması ve elde edilen ürünün işletmeye sağlayacağı maddi tasarruf boyutunun belirlenmesi işletmeye bu konuda önemli ölçüde fayda sağlayacaktır.

İncelenen problemde en çok karşılaşılan hatalar belirlenerek tepki değişkenleri; ürünün patlak olmaması, yırtık olmaması, yanık olmaması ve çapak olmaması seçilmiştir. Bu tepki değişkenlerinin optimum değerleri ile üretim maliyetinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Karar değişkenleri ise; kalıp sıcaklığı, pişme süresi ve enjeksiyon hızıdır. Çalışmada hammadde üzerinde değişiklik yapılmasına izin verilmediği için proses parametreleri üzerinde çalışma yapılmıştır. Modelin kurulmasına katkı sağlayan hata türleri (Çizelge 3.6.) göz önünde bulundurularak modele katkı sağlayacak süreç kaynaklı hata türleri listelenmiştir.

Çizelge 3.6. EPDM conta üretiminde karşılaşılan hata türleri

EPDM CONTA ÜRETİMİNDE KARŞILAŞILAN PROSES KAYNAKLI HATA TÜRLERİ
YANIK
HAVA KABARCIĞI
PATLAK
YIRTIK
AYAR HATASI
EKSİK GRAMAJ
YABANCI MADDE
ÇAPAK
DEFORME
PİŞMEMEZLİK
KALIP KİRLİLİĞİ
OPERATÖR HATASI
CAM YÜZEYDE EZME

2017-2018 yılları arası karşılaşılan hata verilerinden oluşturulan grafik Şekil 3.19.'da verilmiştir. Gerçekleştirilen hata analizine göre patlak, yırtık, yanık ve çapak hata türleri hammadde kaynaklı hatalardan sonra en fazla karşılaşılan hatalar olarak görülmektedir. Bu nedenle bu dört hata türü tepki değişkeni olarak belirlenmiştir. Tepki değişkeni olarak belirlenen hata türlerinin 2017 yılından 2018 yılına oranla arttığı görülmüştür.



Şekil 3.19. FX 887 conta üretimi sırasında karşılaşılan hatalar (2017-2018)

Bu çalışmada işletmedeki kısıtlar da göz önünde bulundurulmuş ve işletmede yapılan araştırmalar, işletmenin geçmiş tecrübesi (know-how) ve literatürden de faydalanarak kauçuk ürün üretim sürecinde deney tasarım yöntemlerinden faktöriyel deney tasarımı seçilmiştir. Üç girdi değişkeninin (kalıp sıcaklığı, pişme zamanı ve enjeksiyon hızı) patlak olmama, yırtık olmama, yanık olmama ve çapak olmama tepki değişkenleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla doğrulama deneyleri (merkez noktası ve her bir deney noktasında 3 deney tekrarı) yapılarak 2^3 faktöriyel tasarım uygulanmıştır. Her girdi değişkeni için iki seviye seçilmiştir. Çizelge 3.7.'de yapılan deneysel çalışmanın girdi değişkenleri ve seviyeleri gösterilmiştir. Deneylerin arasında bir etkileşim olmaması amacıyla deneylerin sırası rastgele belirlenmiştir. Her bir deney noktasında ve merkez noktasında 3 deney tekrarı ile birlikte toplam 27 deney yapılmıştır. Girdi değişkenlerinin alt seviyeleri (-) üst seviyeleri ise (+) işareti ile gösterilmiştir. 2^3 faktöriyel tasarımda girdi değişkenleri ve seviyeleri Çizelge 3.7.'de, kodlanmış faktörler ve gerçek faktörler için deney koşulları ise Çizelge 3.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Girdi faktörleri ve seviyeleri

Girdi Değişkenleri	Seviler	
	I (-)	II (+)
Kalıp Sıcaklığı (°C)	225	246
Pişme Zamanı (sn)	60	86
Enjeksiyon Hızı (mm/sn)	12,7	17

Çizelge 3.8. Kodlanmış faktörler ve gerçek faktörler için deney koşulları

Deney Sayısı	Kodlanmış Girdi Değişkenleri			Gerçek Girdi Değişkenleri			Tepki Değişkeni
	A	B	C	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Pişme Zamanı (sn)	Enjeksiyon Hızı (mm/sn)	
1	-	-	-	225	60	12,7	y1
2	+	-	-	246	60	12,7	y2
3	-	+	-	225	86	12,7	y3
4	-	-	+	225	60	17	y4
5	+	+	-	246	86	12,7	y5
6	-	+	+	225	86	17	y6
7	+	-	+	246	60	17	y7
8	+	+	+	246	86	17	y8
9	0	0	0	235,5	73	14,85	y9

Deneyde incelenen girdi değişkenleri;

A: Kalıp Sıcaklığı

B: Pişme Zamanı

C: Enjeksiyon Hızı

Etkileşim faktörleri ana faktörler kullanılarak ifade edilmiştir.

AB: Kalıp Sıcaklığı * Pişme Zamanı

AC: Kalıp Sıcaklığı * Enjeksiyon Hızı

BC: Pişme Zamanı * Enjeksiyon Hızı

ABC: Kalıp Sıcaklığı * Pişme Zamanı * Enjeksiyon Hızı

Yapılan çalışma için deney tasarımı ile belirlenen girdi değişkenleri göz önünde bulundurularak deneylerin yapıldığı makine (DESMA enjeksiyon makinesi) tespit edilmiştir. Deneyler işletmenin çalışma sistemini aksatmayacak şekilde yapılmış ve Çizelge 3.9'da verilen deney sonuçlarından elde edilen veriler MINITAB programına girilerek sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.9. Deney sonuçları

Deney Sayısı	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Pişme Zamanı (sn)	Enjeksiyon Hızı (mm/sn)	Patlak Olmaması	Yırtık Olmaması	Yanık Olmaması	Çapak Olmaması
1	225	60	12,7	-	-	-	-
				-	-	-	-
				-	-	-	-
2	225	86	12,7	-	-	+	-
				-	-	+	-
				-	-	+	+
3	246	86	17	+	+	+	-
				+	+	+	+
				+	+	+	+
4	225	60	17	-	-	+	-
				-	-	+	-
				-	-	+	-
5	225	86	17	-	-	+	-
				-	-	+	-
				-	-	+	-
6	235	73	14,8	-	-	+	-
				-	-	+	-
				-	-	+	-
7	246	60	12,7	+	+	-	-
				+	+	-	-
				+	+	-	+
8	246	86	12,7	+	+	+	-
				+	+	+	-
				+	+	+	-
9	246	60	17	+	+	-	-
				+	+	-	-
				+	+	-	-

4 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan tez çalışmasında deneyde 2^3 faktöriyel deney tasarımı ile üç ana faktör etkisi (kalıp sıcaklığı, pişme zamanı ve enjeksiyon hızı) ve bunların birbiriyle olan etkileşimi ve dört tepki değişkeni (patlak olmaması, yırtık olmaması, yanık olmaması ve çapak olmaması) herbir deney noktasında 3 tekrar yapılarak incelenmiştir. Toplam 27 adet deney yapılmıştır. Hazırlanan numunelere gözle nitel kontrol yapılmış (patlak olmaması, yırtık olmaması, yanık olmaması tepki değişkenleri için) ve rheometre (çapak olmaması tepki değişkeni için) değerleri ölçülmüştür. Seçilen girdi değişkenlerinin tepki değişkenlerine etkisi ve aralarındaki ilişki tahmin modeli ile açıklanmaya çalışılmıştır. Faktöriyel deney tasarımıyla belirlenen esaslara göre deneyler rassal sırayla yapılmış ve elde edilen deney sonuçları Minitab programına girilmiştir ve bu program aracılığı ile çözümlenmiştir. Deney sonuçlarının Minitab çıktıları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney sonuçlarının minitab çıktıları

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	kalıp sıcaklığı	pişme süresi	enjeksiyon hızı	patlak olmaması	yırtık olmaması	yanık olmaması	çapak olmaması
1	1	1	1	1	225,0	60	12,70	-1	-1	-1	-1
2	2	2	1	1	246,0	60	12,70	1	1	-1	-1
3	3	3	1	1	225,0	86	12,70	-1	-1	1	-1
4	4	4	1	1	246,0	86	12,70	1	1	1	-1
5	5	5	1	1	225,0	60	17,00	-1	-1	1	-1
6	6	6	1	1	246,0	60	17,00	1	1	-1	-1
7	7	7	1	1	225,0	86	17,00	-1	-1	1	-1
8	8	8	1	1	246,0	86	17,00	1	1	1	1
9	9	9	1	1	225,0	60	12,70	-1	-1	-1	-1
10	10	10	1	1	246,0	60	12,70	1	1	-1	-1
11	11	11	1	1	225,0	86	12,70	-1	-1	1	-1
12	12	12	1	1	246,0	86	12,70	1	1	1	-1
13	13	13	1	1	225,0	60	17,00	-1	-1	1	-1
14	14	14	1	1	246,0	60	17,00	1	1	-1	-1
15	15	15	1	1	225,0	86	17,00	-1	-1	1	-1
16	16	16	1	1	246,0	86	17,00	1	1	1	1
17	17	17	1	1	225,0	60	12,70	-1	-1	-1	-1
18	18	18	1	1	246,0	60	12,70	1	1	-1	-1
19	19	19	1	1	225,0	86	12,70	-1	-1	1	-1
20	20	20	1	1	246,0	86	12,70	-1	-1	1	-1
21	21	21	1	1	225,0	60	17,00	-1	-1	1	-1
22	22	22	1	1	246,0	60	17,00	1	1	-1	-1
23	23	23	1	1	225,0	86	17,00	-1	-1	1	-1
24	24	24	1	1	246,0	86	17,00	1	1	1	1
25	25	25	0	1	235,5	73	14,85	-1	-1	1	-1
26	26	26	0	1	235,5	73	14,85	-1	-1	1	-1
27	27	27	0	1	235,5	73	14,85	-1	-1	1	-1

4.1 Patlak Olmaması Durumu İçin Verilerin Analizi

Deney sonuçları Minitab programında değerlendirilmiş ve yapılan varyans analizi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de görülmektedir. Varyans analizi tablosu değerlendirilirken %5 ($\alpha=0,05$) anlamlılık seviyesi kullanılmıştır. Çizelge 4.2’de faktör etkilerinin belirlenebilmesi için F testi ve p değeri incelenmiştir. Bir faktörün etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olabilmesi için bu faktörün varyans analizi ile elde edilen p (anlamlılık) değerinin belirlenen anlamlılık seviyesinden (%5) küçük olması gerekir.

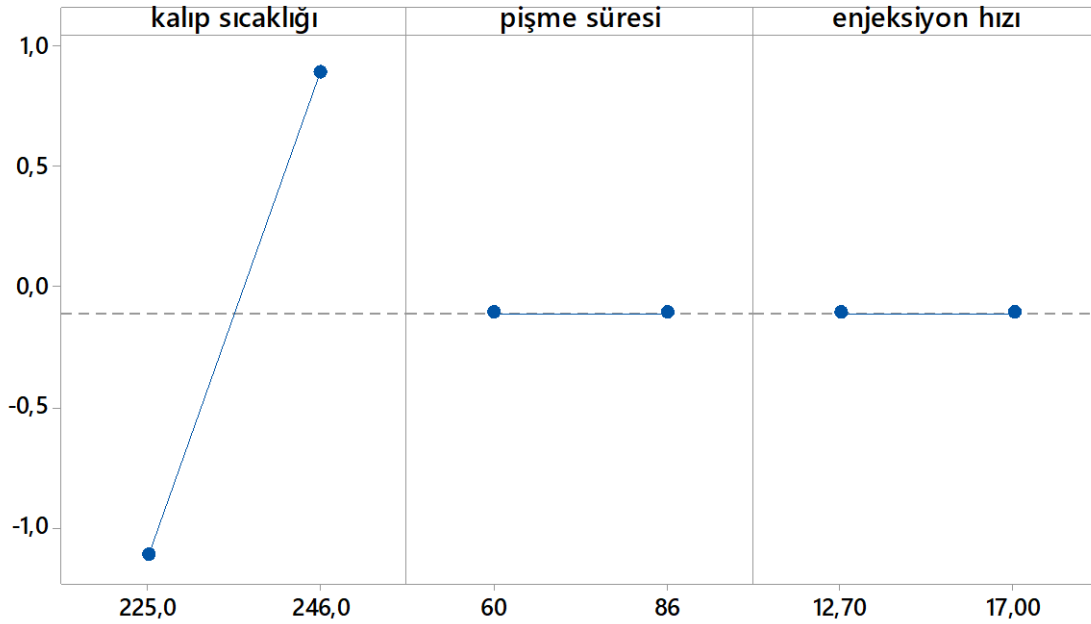
Çizelge 4.2’de kalıp sıcaklığı faktörünün p değerinin 0,05’ ten küçük olduğu ve sadece bu faktörün anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerin ve etkileşimlerinin p değerlerinin 0,05’ten büyük olması nedeniyle çalışma için istatistiksel olarak anlamlı olmadıkları ve tepki değişkenine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.2. Patlak olmaması için varyans analizi tablosu

Değişkenliğin Kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F Değeri	Anlamlılık Seviyesi
Model	7	24,0000	3,4286	24,43	0,000
Girdi Değişkenleri	3	24,0000	8,0000	57,00	0,000
kalıp sıcaklığı	1	24,0000	24,0000	171,00	0,000
pişme süresi	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
enjeksiyon hızı	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
2 li Etkileşimler	3	0,0000	0,0000	0,00	1,000
kalıp sıcaklığı*pişme süresi	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
kalıp sıcaklığı*enjeksiyon hızı	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
pişme süresi*enjeksiyon hızı	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
3 lü Etkileşimler	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
kalıp sıcaklığı*pişme süresi*enjeksiyon hızı	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
Hata	19	2,6667	0,1404		
Eğrilik	1	2,6667	2,6667	*	*
Saf hata	18	0,0000	0,0000		
Toplam	26	26,6667			

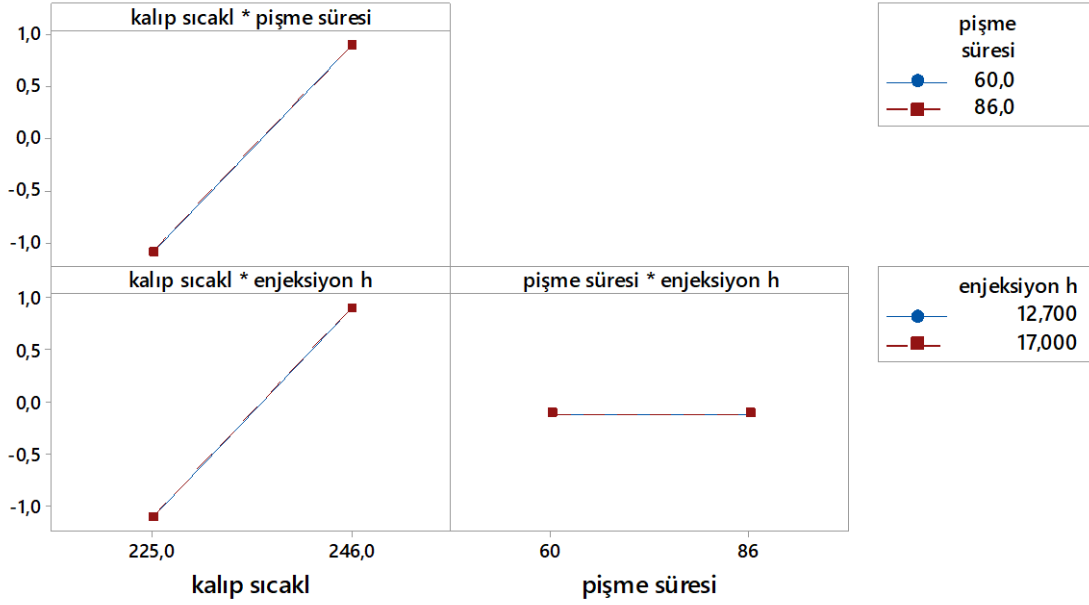
Ana faktör ve etkileşimlerin tepki değişkeni üzerindeki anlamlılığı ve etki seviyesi verilerin normal dağılıma uyduğu varsayımı altında test edilmiş ve verilerin normal dağılıma uyduğu görülmüştür.

Şekil 4.1.'de faktör etkileri grafiği incelendiğinde; faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı olanları açıkça görülmektedir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda; patlak olmaması tepki değişkeni üzerinde en etkili faktörün kalıp sıcaklığı olduğu belirlenmiştir. Diğer girdi değişkenlerinin (pişme zamanı, enjeksiyon hızı) tepki değişkeni olan patlak olmaması üzerinde istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde anlamlılığı ihmal edebileceğimiz kadar düşük etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Patlak olmaması tepki değişkeni için ana faktör etkileri grafiği

Şekil 4.2.'de faktörlerin ikili etkileşimleri incelendiğinde; ana faktör etkilerinde görüldüğü gibi, kalıp sıcaklığının artması ile patlak olmama olasılığı artmaktadır. Diğer girdi değişkenlerinin etkileri tepki değişkeni olan patlak olmaması üzerinde istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde anlamlılığı ihmal edebileceğimiz kadar düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Patlak olmaması tepki değişkeni için ikili etkileşimler grafiği

Yapılan istatistiksel analize göre patlak olmaması tepki değişkeni için geliştirilen regresyon denklemi aşağıdaki gibi Minitab v16.2 paket programı aracılığı ile formüle (eşitlik 4.1) edilmiştir:

$$y_{patlak\ olmaması} = -22,5 + 0,095x_1 \quad (4.1)$$

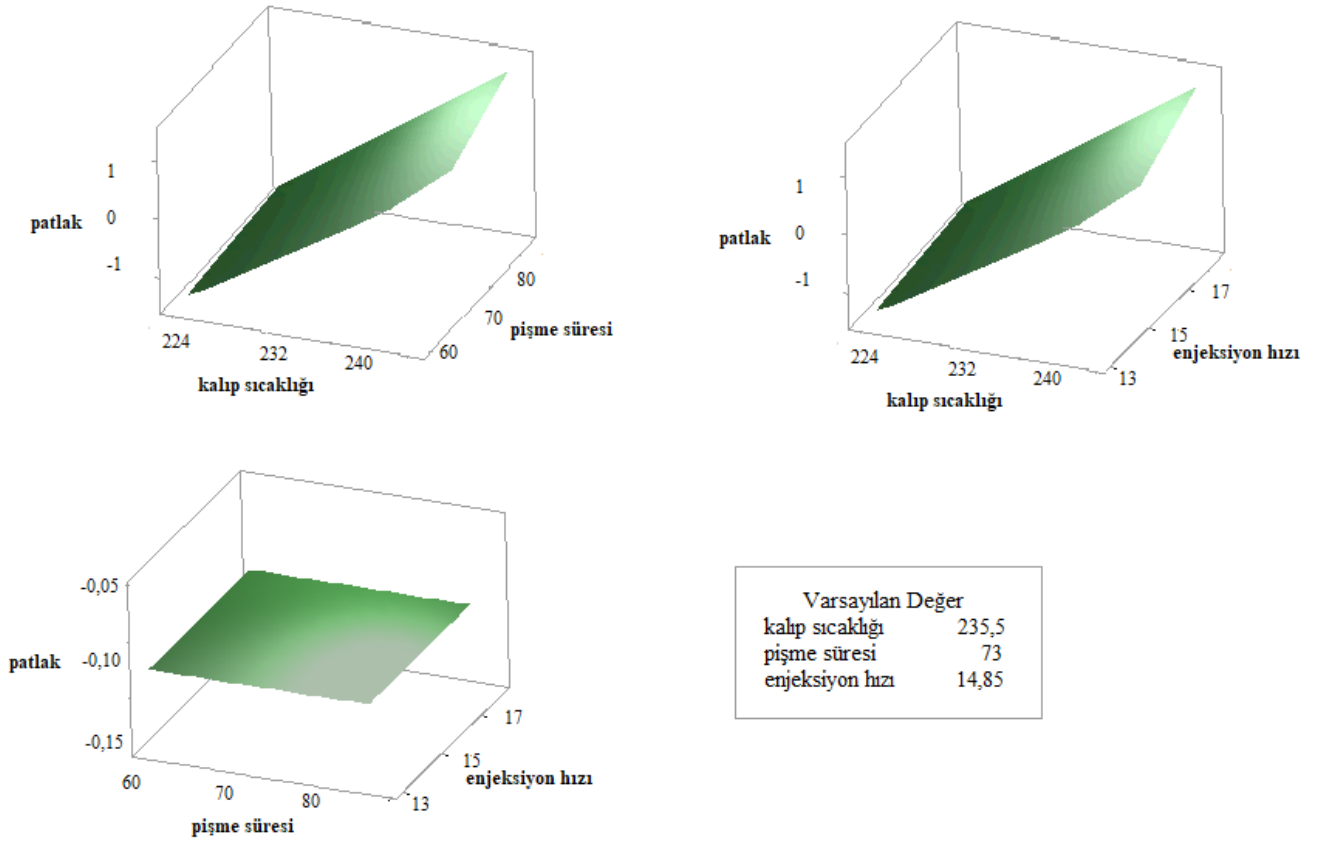
$$x_1 = \text{kalıp sıcaklığı}$$

Geliştirilen modelden görüldüğü üzere, kalıp sıcaklığı arttıkça patlak olmaması durumu da artmaktadır. Çizelge 4.3.'te görüldüğü gibi modelin R^2 adj. değeri %86,32 olması nedeniyle modelde etkili olan kalıp sıcaklığı girdi değişkeni, patlak olmaması tepki değişkenindeki değişkenliğin %86,32'sini açıklamakta olup, yani patlak olmamasının %86,32'si kalıp sıcaklığından kaynaklanmaktadır. Patlak olmaması tepki değişkenininin %13,68'lik değişkenlik ise kalıp sıcaklığı dışında başka girdi değişkenleri tarafından patlak olmaması tepki değişkenini etkilemektedir. R^2 oranı ile R^2 (adj) oranının birbirine yakın olması da patlak olmaması tepki değişkeni için geliştirilen modelin tahmin yeteneği açısından iyi bir model olduğunu göstermektedir.

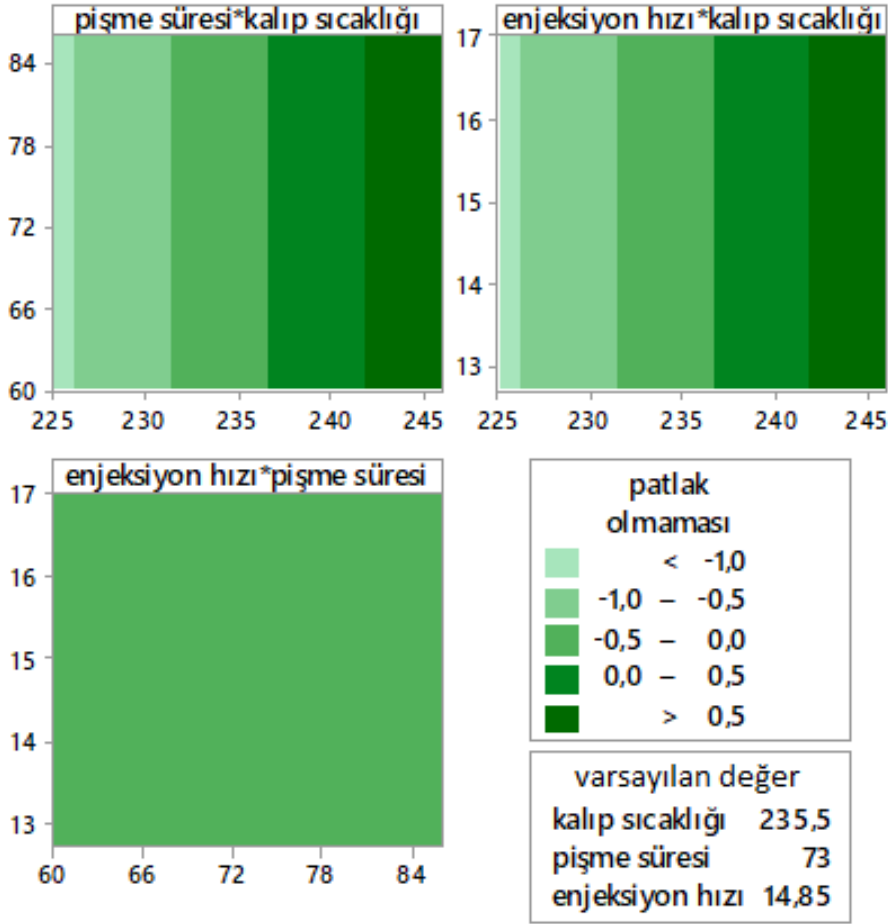
Çizelge 4.3. Patlak olmaması model istatistikleri

Standart Sapma	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
0,374634	90,00%	86,32%	87,95%

Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'te ise patlak olmaması tepki değişkeni için kalıp sıcaklığı-pişme süresi, kalıp sıcaklığı-enjeksiyon hızı ve pişme süresi-enjeksiyon hızı girdi değişkenlerinin değişimini gösteren 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği ve izdüşüm grafikleri verilmiştir. Pişme süresi ve enjeksiyon hızı girdi değişkenleri patlak olmaması tepki değişkeni üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Regresyon denklemi, 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği ve izdüşüm grafiği birlikte incelendiğinde kalıp sıcaklığı 225 °C-240,75 °C arasında iken patlak hatası minimum olacağı görülmektedir. Kalıp sıcaklığı arttıkça patlak hatası artmaktadır.



Şekil 4.3. Patlak olmaması tepki değişkeni için 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği



Şekil 4.4. Patlak olmaması durumu için izdüşüm grafiği

4.2 Yırtık Olmaması Durumu İçin Verilerin Analizi

Deney sonuçları Minitab programında değerlendirilmiş ve yapılan varyans analizi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4.'te görülmektedir. Varyans analizi tablosu değerlendirilirken %5 ($\alpha=0,05$) anlamlılık seviyesi kullanılmıştır. Çizelge 4.4.'te faktör etkilerinin belirlenebilmesi için F testi ve p değeri incelenmiştir. Bir faktörün etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olabilmesi için bu faktörün varyans analizi ile elde edilen p (anlamlılık) değerinin belirlenen anlamlılık seviyesinden (%5) küçük olması gerekir.

Çizelge 4.4.'te kalıp sıcaklığı faktörünün p değerinin 0,05'ten küçük olduğu ve sadece bu faktörün anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerin ve etkileşimlerinin p değerlerinin

0,05'ten büyük olması nedeniyle çalışma için istatistiksel olarak anlamlı olmadıkları ve tepki değişkenine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir.

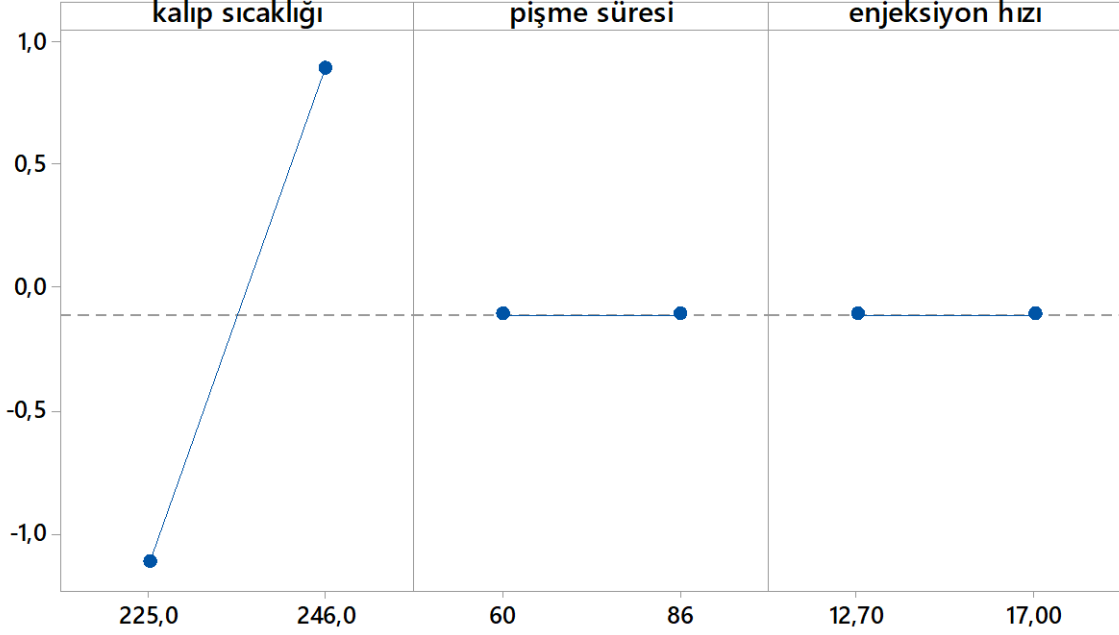
Çizelge 4.4. Yırtık olmaması için varyans analiz tablosu

Değişkenliğin Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F Değeri	Anlamlılık Seviyesi
Model	7	24,0000	3,4286	24,43	0,000
Girdi değişkenleri	3	24,0000	8,0000	57,00	0,000
kalıp sıcaklığı	1	24,0000	24,0000	171,00	0,000
pişme süresi	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
enjeksiyon hızı	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
2 li Etkileşimler	3	0,0000	0,0000	0,00	1,000
kalıp sıcaklığı*pişme süresi	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
kalıp sıcaklığı*enjeksiyon hızı	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
pişme süresi*enjeksiyon hızı	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
3 lü Etkileşimler	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
kalıp sıcaklığı*pişme süresi*enjeksiyon hızı	1	0,0000	0,0000	0,00	1,000
Hata	19	2,6667	0,1404		
Eğrilik	1	2,6667	2,6667	*	*
Saf hata	18	0,0000	0,0000		
Toplam	26	26,6667			

Ana faktör ve etkileşimlerin tepki değişkeni üzerindeki anlamlılığı ve etki seviyesi, verilerin normal dağılıma uyduğu varsayımı altında test edilmiş ve verilerin normal dağılıma uyduğu görülmüştür.

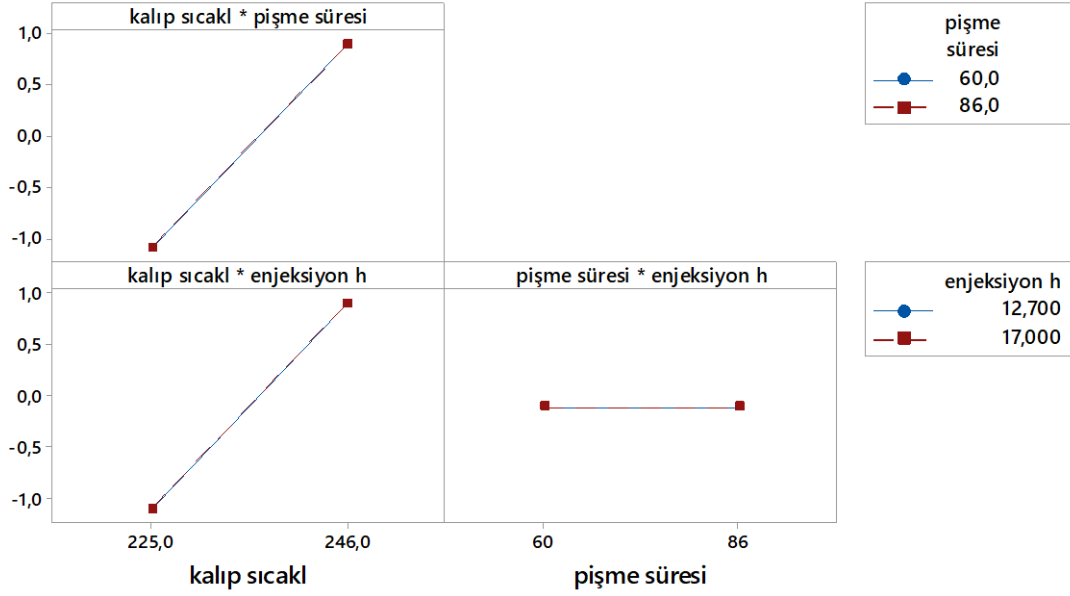
Şekil 4.5.'de faktör etkileri grafiği incelendiğinde faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı olanları açıkça görülmektedir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda; yırtık olmaması tepki değişkeni üzerinde en etkili faktörün kalıp sıcaklığı olduğu belirlenmiştir. Diğer girdi değişkenlerinin (pişme zamanı, enjeksiyon hızı) tepki değişkeni olan patlak olmaması üzerinde

istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde anlamlılığı ihmal edebileceğimiz kadar düşük etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Yırtık olmaması tepki değişkeni için ana faktör etkileri grafiği

Şekil 4.6.'da faktörlerin ikili etkileşimleri incelendiğinde; ana faktör etkilerinde görüldüğu gibi, kalıp sıcaklığının artması ile patlak olmama olasılığı artmaktadır. Diğer girdi değişkenlerinin etkileri tepki değişkeni olan yırtık olmaması üzerinde istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde anlamlılığı ihmal edebileceğimiz kadar düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Yırtık olmaması tepki değişkeni için ikili etkileşimler grafiği

Yapılan istatistiksel analize göre yırtık olmaması tepki değişkeni için geliştirilen regresyon denklemi aşağıdaki gibi Minitab v16.2 paket programı aracılığı ile formüle (eşitlik 4.2) edilmiştir:

$$y_{\text{yırtık olmaması}} = -22,5 + 0,095x_1 \quad (4.2)$$

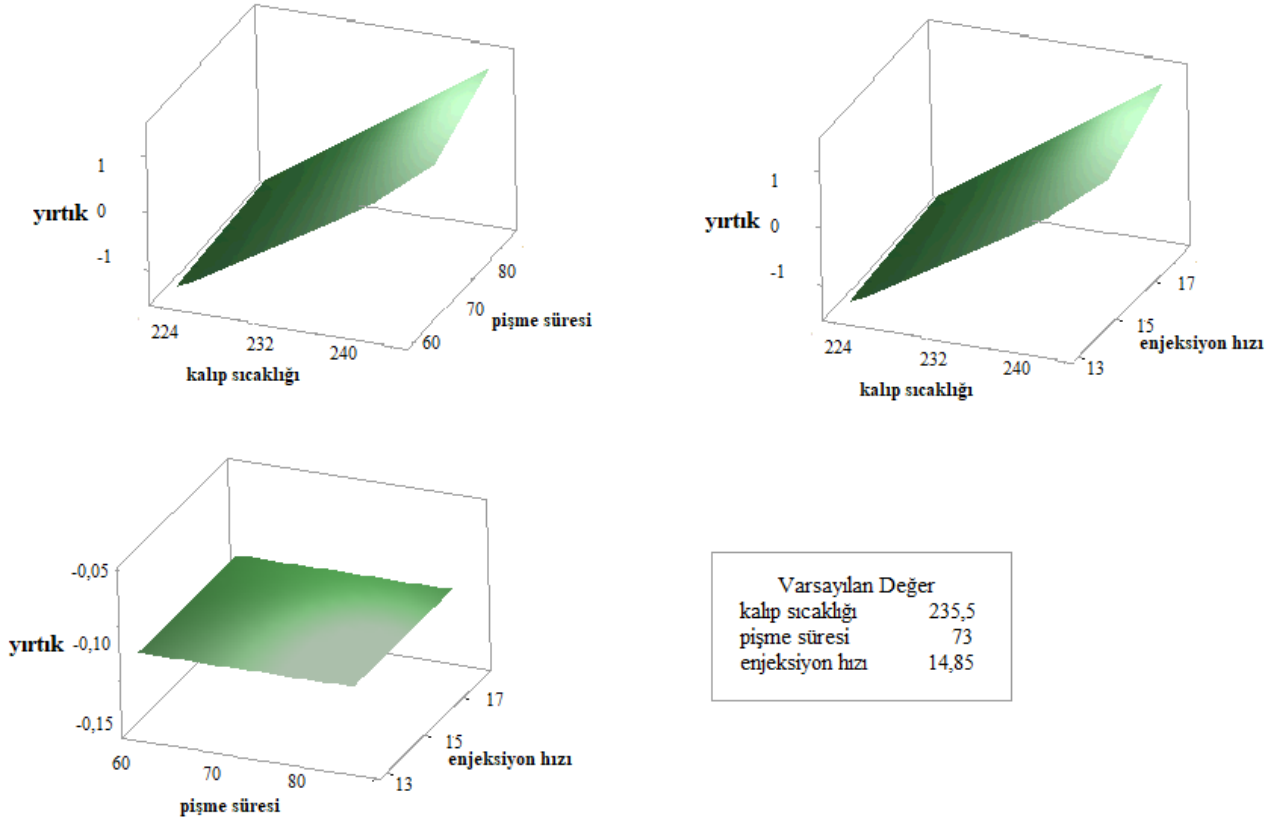
$$x_1 = \text{kalıp sıcaklığı}$$

Geliştirilen modelden görüldüğü üzere, kalıp sıcaklığı arttıkça yırtık olmaması durumu da artmaktadır. Çizelge 4.5.'te görüldüğü gibi modelin R^2 adj değeri %86,32 olması nedeniyle modelde etkili olan kalıp sıcaklığı girdi değişkeni, yırtık olmaması tepki değişkenindeki değişkenliğin %86,32'sini açıklamakta olup, yani yırtık olmamasının %86,32'si kalıp sıcaklığından kaynaklanmaktadır. Yırtık olmaması tepki değişkenininin %13,68'lik değişkenlik ise kalıp sıcaklığı dışında başka girdi değişkenleri tarafından yırtık olmaması tepki değişkenini etkilemektedir. R^2 oranı ile $R^2(\text{adj})$ oranının birbirine yakın olması da yırtık olmaması tepki değişkeni için geliştirilen modelin tahmin yeteneği açısından iyi bir model olduğunu göstermektedir.

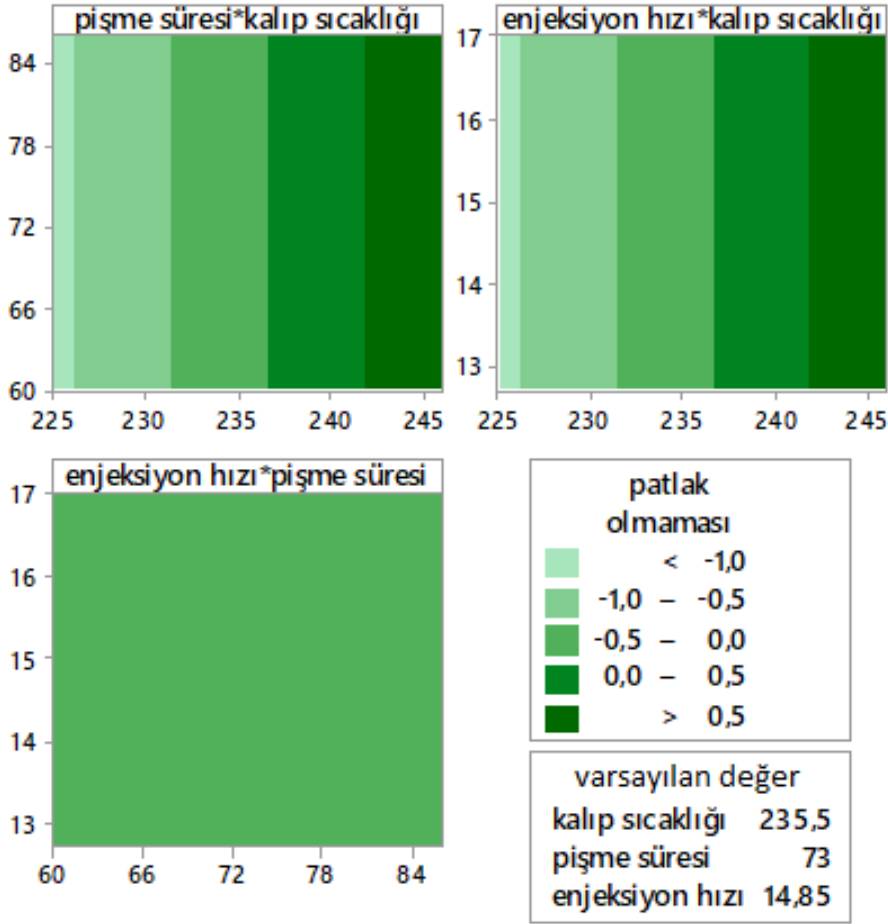
Çizelge 4.5. Yırtık olmaması model istatistikleri

Standart Sapma	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
0,374634	90,00%	86,32%	87,95%

Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de ise yırtık olmaması tepki değişkeni için kalıp sıcaklığı-pişme süresi, kalıp sıcaklığı-enjeksiyon hızı ve pişme süresi-enjeksiyon hızı girdi değişkenlerinin değişimini gösteren 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği ve izdüşüm grafikleri verilmiştir. Pişme süresi ve enjeksiyon hızı girdi değişkenleri yırtık olmaması tepki değişkeni üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Regresyon denklemi, 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği ve izdüşüm grafiği birlikte incelendiğinde kalıp sıcaklığı 225 °C-240,75 °C arasında iken yırtık hatası minimum olacağı görülmektedir. Kalıp sıcaklığı arttıkça yırtık hatası artmaktadır.



Şekil 4.7. 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği



Şekil 4.8. Yırtık olmaması durumu için izdüşüm grafiği

4.3 Yanık Olmaması Durumu İçin Verilerin Analizi

Deney sonuçları Minitab programında değerlendirilmiş ve yapılan varyans analizi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6.'da görülmektedir. Varyans analizi tablosu değerlendirilirken %5 ($\alpha=0,05$) anlamlılık seviyesi kullanılmıştır. Çizelge 4.6.'da faktör etkilerinin belirlenebilmesi için F testi ve p değeri incelenmiştir. Bir faktörün etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olabilmesi için bu faktörün varyans analizi ile elde edilen p (anlamlılık) değerinin belirlenen anlamlılık seviyesinden (%5) küçük olması gerekir.

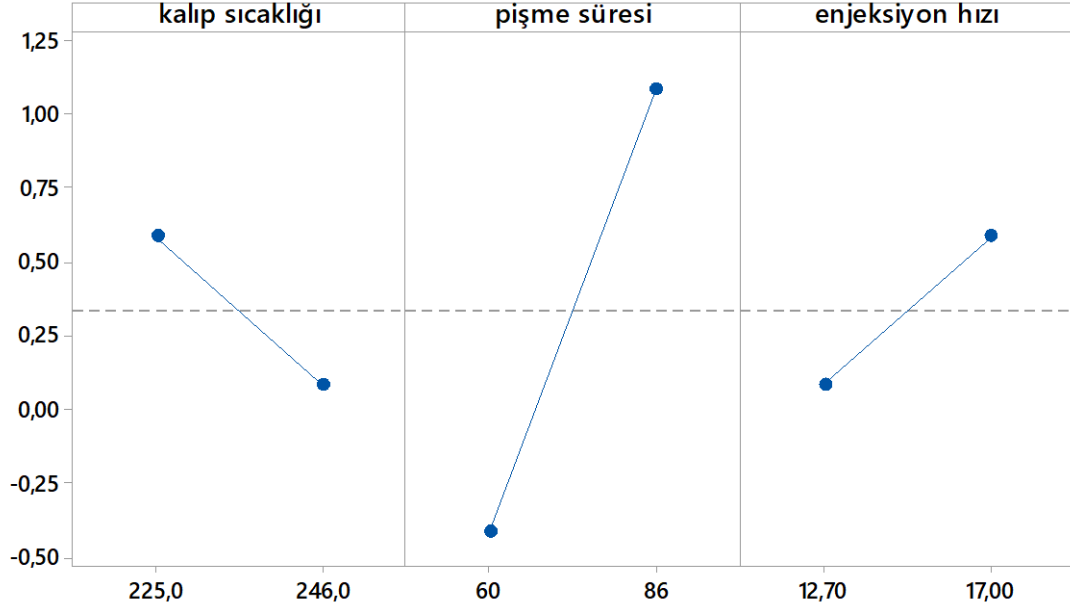
Çizelge 4.6.'da tüm faktörlerin ve etkilerinin p değerinin 0,05' ten küçük olduğu ve anlamlı oldukları görülmektedir. Tüm faktörler ve etkileşimleri tepki değişkeninin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Yanık olmaması için varyans analiz tablosu

Değişkenliğin Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F Değeri	Anlamlılık Seviyesi
Model	7	22,5000	3,2143	40,71	0,000
Girdi değişkenleri	3	16,5000	5,5000	69,67	0,000
kalıp sıcaklığı	1	1,5000	1,5000	19,00	0,000
pişme süresi	1	13,5000	13,5000	171,00	0,000
enjeksiyon hızı	1	1,5000	1,5000	19,00	0,000
2 li Etkileşimler	3	4,5000	1,5000	19,00	0,000
kalıp sıcaklığı*pişme süresi	1	1,5000	1,5000	19,00	0,000
kalıp sıcaklığı*enjeksiyon hızı	1	1,5000	1,5000	19,00	0,000
pişme süresi*enjeksiyon hızı	1	1,5000	1,5000	19,00	0,000
3 lü Etkileşimler	1	1,5000	1,5000	19,00	0,000
kalıp sıcaklığı*pişme süresi*enjeksiyon hızı	1	1,5000	1,5000	19,00	0,000
Hata	19	1,5000	0,0789		
Eğrilik	1	1,5000	1,5000	*	*
Saf hata	18	0,0000	0,0000		
Toplam	26	24,0000			

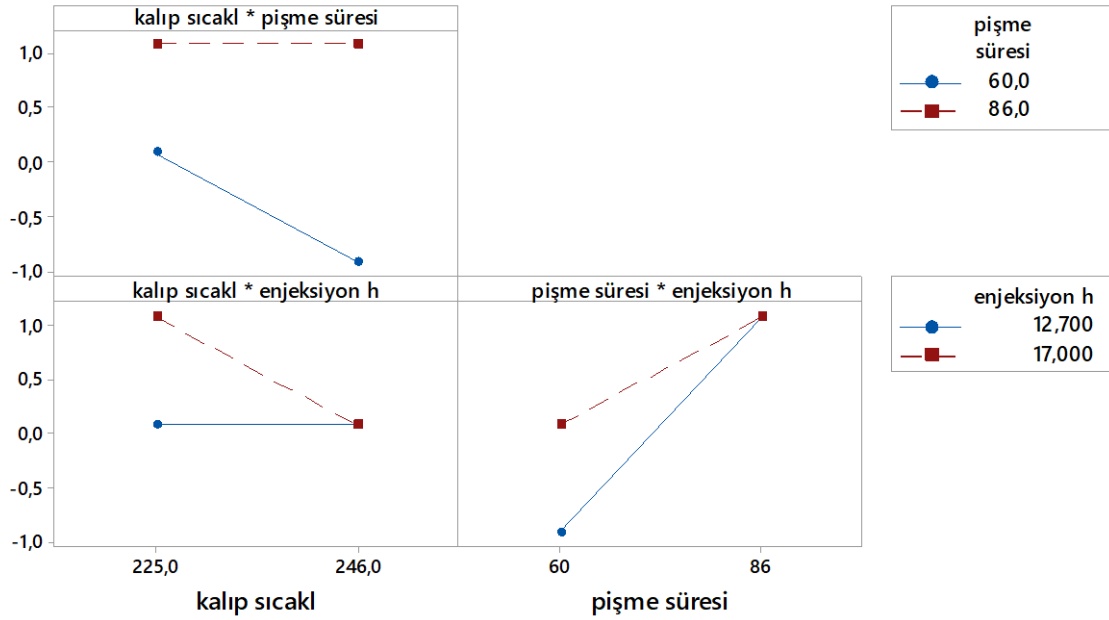
Ana faktör ve etkileşimlerin tepki değişkeni üzerindeki anlamlılığını ve etki seviyesi, verilerin normal dağılıma uyduğu varsayımı altında test edilmiş ve normal dağılıma uyduğu görülmüştür.

Şekil 4.9.'da faktör etkileri grafiği incelendiğinde; faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı olanları açıkça görülmektedir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda; yanık olmaması tepki değişkeni üzerinde en etkili faktörün pişme süresi olduğu diğer girdi değişkenlerinin (kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızı) de tepki değişkeni olan yanık olmaması üzerinde istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı etkiye sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.9. Yanık olmaması tepki değişkeni için ana faktör etkileri grafiği

Şekil 4.10.'da faktörlerin ikili etkileşimleri incelendiğinde; tüm faktörler arasında istatistiksel olarak etkileşim olduğu görülmektedir. Ana faktör etkilerindeki gibi pişme süresi en yüksek etkiye sahip olduğu ikili etkileşim grafiklerinden de görülmektedir.



Şekil 4.10. Yanık olmaması tepki değişkeni için ikili etkileşimler grafiği

Yapılan istatistiksel analize göre yanık olmaması tepki değişkeni için geliştirilen regresyon denklemi aşağıdaki gibi Minitab v16.2 paket programı aracılığı ile formüle (eşitlik 4.3) edilmiştir:

$$y_{\text{yanık olmaması}} = -234,4 + 0,930x_1 + 2,738x_2 + 18,02x_3 - 0,01082x_1x_2 - 0,0733x_1x_3 - 0,2096x_2x_3 + 0,000852x_1x_2x_3 \quad (4.3)$$

$x_1 = \text{kalıp sıcaklığı}$

$x_2 = \text{pişme süresi}$

$x_3 = \text{enjeksiyon hızı}$

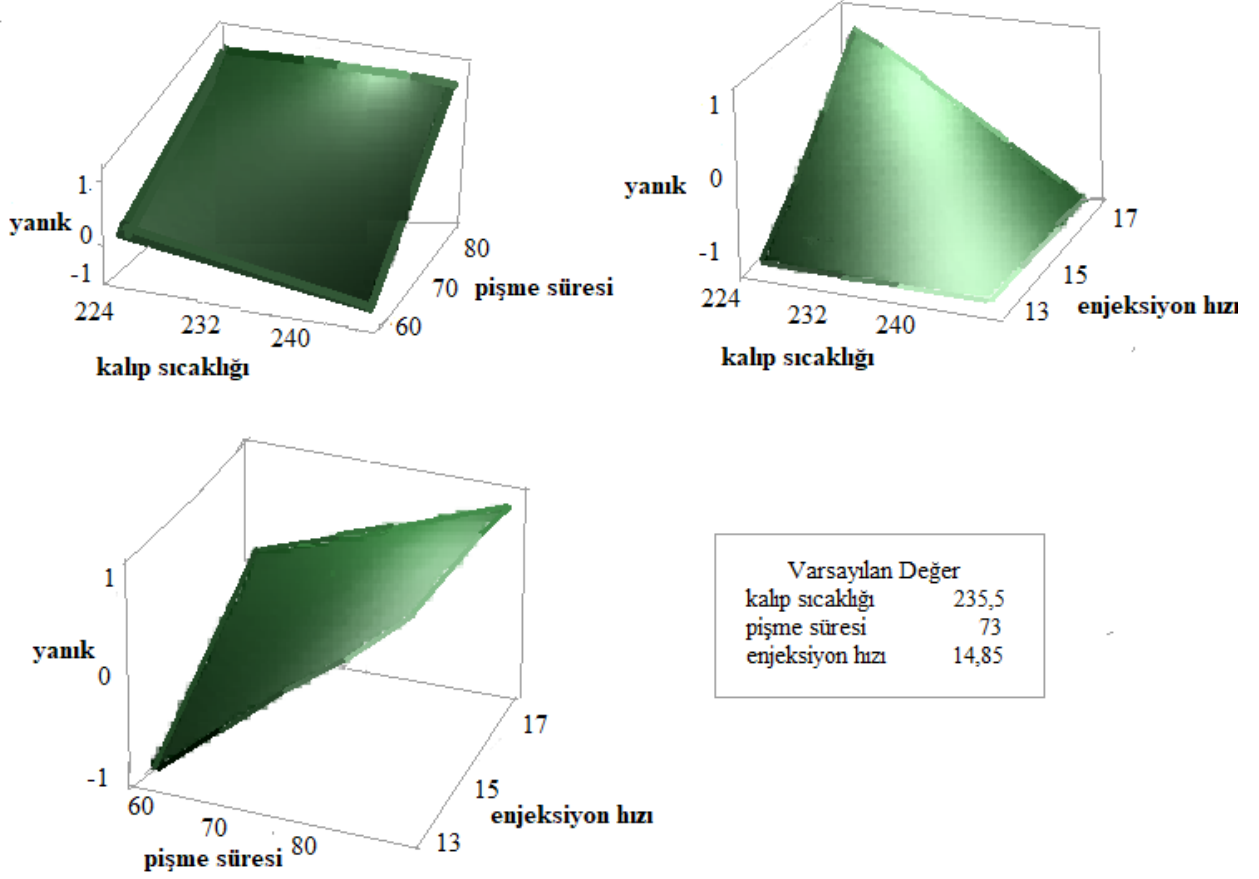
Geliştirilen modelden görüldüğü üzere, kalıp sıcaklığı, pişme süresi, enjeksiyon hızı ve faktörlerin üçlü etkileşimleri pozitif yönde etkilemektedir. Bunun nedeni korelasyon katsayıların pozitif işaretli olmasıdır. Diğer taraftan faktörlerin ikili etkileşimlerinin hepsi modelimizi negatif yönde etkilemektedir. Bu şu anlama gelmektedir. İkili etkileşim değerleri arttıkça yanık olmama olasılığı düşmektedir. Çizelge 4.7.'de görüldüğü gibi modelin R^2 adj değeri %91,45 olması nedeniyle modelde etkili olan kalıp sıcaklığı girdi değişkeni, yanık olmaması tepki değişkenindeki değişkenliğin %91,45'ini açıklar. Yanık olmaması tepki değişkenindeki %8,55'lik değişkenlik ise modelde etkili olan girdi değişkenleri ve etkileri dışında başka girdi değişkenleri tarafından yanık olmaması tepki değişkenini etkilemektedir. R^2 oranı ile $R^2(\text{adj})$ oranının birbirine yakın olması da yanık olmaması tepki değişkeni için geliştirilen modelin tahmin yeteneği açısından iyi bir model olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.7. Yanık olmaması model istatistikleri

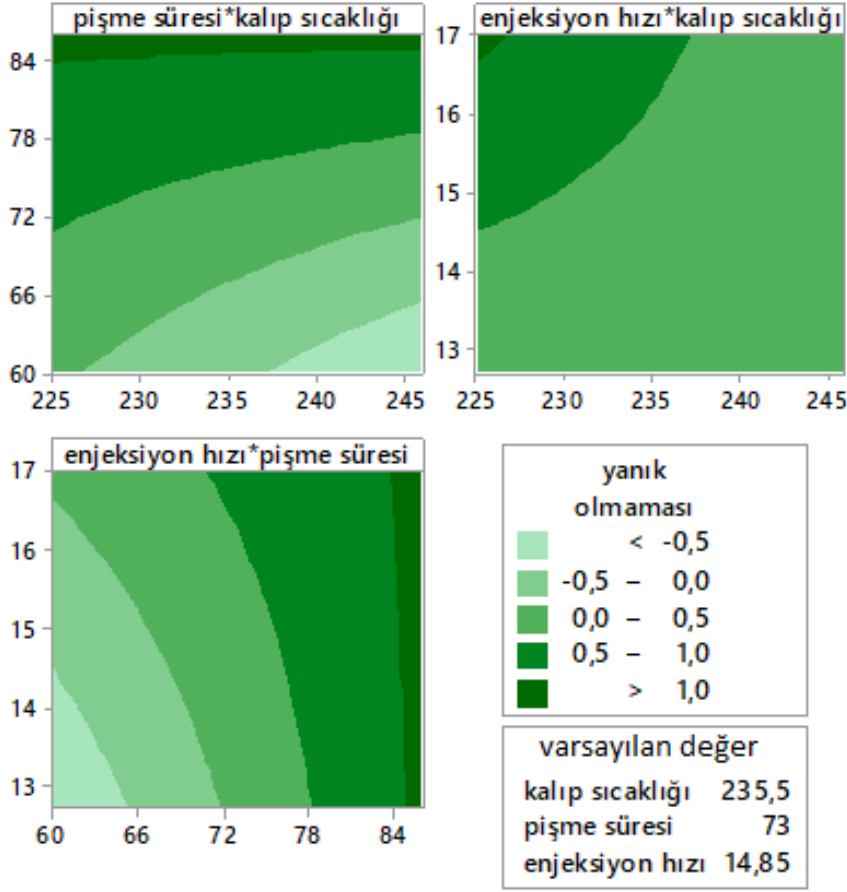
Standart Sapma	R^2	$R^2(\text{adj})$	$R^2(\text{pred})$
0,280976	93,75%	91,45%	92,47%

Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de ise yanık olmaması tepki değişkeni için kalıp sıcaklığı-pişme süresi, kalıp sıcaklığı-enjeksiyon hızı ve pişme süresi-enjeksiyon hızı girdi değişkenlerinin değişimini gösteren 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği ve izdüşüm grafikleri verilmiştir. Kalıp sıcaklığı, pişme süresi ve enjeksiyon hızı girdi değişkenleri yanık olmaması tepki değişkeni üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Regresyon denklemi, 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği ve

izdüşüm grafiği birlikte incelendiğinde kalıp sıcaklığı 240,75°C-246°C, pişme süresi 60-66 sn ve enjeksiyon hızı ise 12,70-14,85 mm/sn arasında iken yanık hatası minimum olacağı görülmektedir.



Şekil 4.11. Yanık olmaması tepki değişkeni için 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği



Şekil 4.12. Yanık olmaması durumu için izdüşüm grafiği

4.4 Çapak Olmaması Durumu İçin Verilerin Analizi

Deney sonuçları Minitab programında değerlendirilmiş ve yapılan varyans analizi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8.'de görülmektedir. Varyans analizi tablosu değerlendirilirken %5 ($\alpha=0,05$) anlamlılık seviyesi kullanılmıştır. Çizelge 4.8.'de faktör etkilerinin belirlenebilmesi için F testi ve p değeri incelenmiştir. Bir faktörün etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olabilmesi için bu faktörün varyans analizi ile elde edilen p (anlamlılık) değerinin belirlenen anlamlılık seviyesinden (%5) küçük olması gerekir.

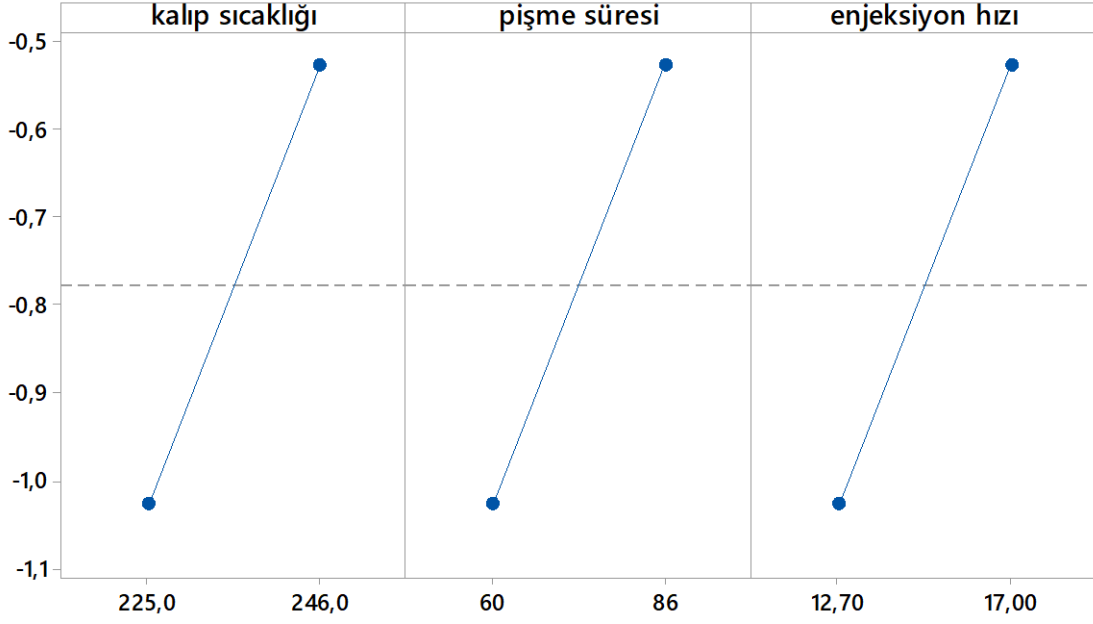
Çizelge 4.8' de tüm faktörlerin ve etkilerinin p değerinin 0,05'ten küçük olduğu ve anlamlı oldukları görülmektedir. Tüm faktörler ve etkileşimleri tepki değişkeninin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8. Çapak olmaması için varyans analiz tablosu

Değişkenliğin Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F Değeri	Anlamlılık Seviyesi
Model	7	10,5000	1,50000	171,00	0,000
Girdi Değişkenleri	3	4,5000	1,50000	171,00	0,000
kalıp sıcaklığı	1	1,5000	1,50000	171,00	0,000
pişme süresi	1	1,5000	1,50000	171,00	0,000
enjeksiyon hızı	1	1,5000	1,50000	171,00	0,000
2 li Etkileşimler	3	4,5000	1,50000	171,00	0,000
kalıp sıcaklığı*pişme süresi	1	1,5000	1,50000	171,00	0,000
kalıp sıcaklığı*enjeksiyon hızı	1	1,5000	1,50000	171,00	0,000
pişme süresi*enjeksiyon hızı	1	1,5000	1,50000	171,00	0,000
3 lü Etkileşimler	1	1,5000	1,50000	171,00	0,000
kalıp sıcaklığı*pişme süresi*enjeksiyon hızı	1	1,5000	1,50000	171,00	0,000
Hata	19	0,1667	0,00877		
Eğrilik	1	0,1667	0,16667	*	*
Saf Hata	18	0,0000	0,00000		
Toplam	26	10,6667			

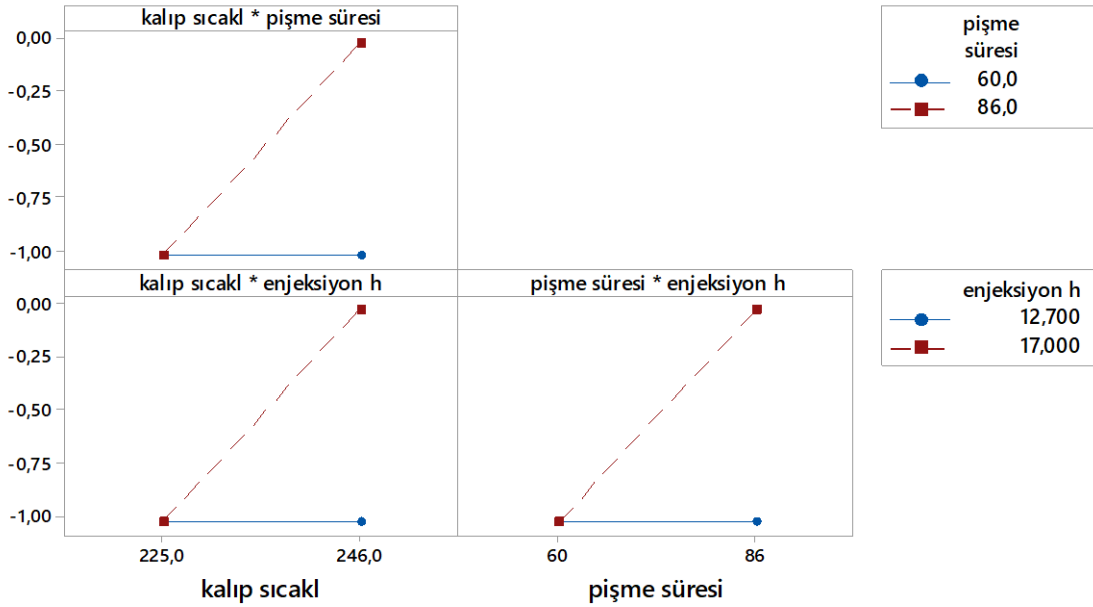
Ana faktör ve etkileşimlerin tepki değişkeni üzerindeki anlamlılığını ve etki seviyesi, verilerin normal dağılıma uyduğu varsayımı altında test edilmiş ve normal dağılıma uyduğu görülmüştür.

Şekil 4.13.'te faktör etkileri grafiği incelendiğinde; faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı olanları açıkça görülmektedir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda; çapak olmaması tepki değişkeni üzerinde en etkili faktörün pişme süresi olduğu diğer girdi değişkenlerinin de tepki değişkeni olan çapak olmaması üzerinde istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı etkiye sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13. Çapak olmaması tepki değişkeni için ana faktör etkileri grafiği

Şekil 4.14.'te faktörlerin ikili etkileşimleri incelendiğinde; tüm faktörler arasında istatistiksel olarak etkileşim olduğu görülmektedir. Ana faktör etkilerindeki gibi pişme süresi en yüksek etkiye sahip olduğu ikili etkileşim grafiklerinden de görülmektedir.



Şekil 4.14. Çapak olmaması tepki değişkeni için ikili etkileşimler grafiği

Yapılan istatistiksel analize göre çapak olmaması tepki değişkeni için geliştirilen regresyon denklemi aşağıdaki gibi Minitab v16.2 paket programı aracılığı ile formüle (eşitlik 4.4) edilmiştir:

$$Y_{\text{çapak olmaması}} = -147,1 + 0,6491x_1 + 2,434x_2 + 11,50x_3 - 0,010819x_1x_2 - 0,05111x_1x_3 - 0,1917x_2x_3 + 0,000852x_1x_2x_3 \quad (4.4)$$

$x_1 = \text{kalıp sıcaklığı}$

$x_2 = \text{pişme süresi}$

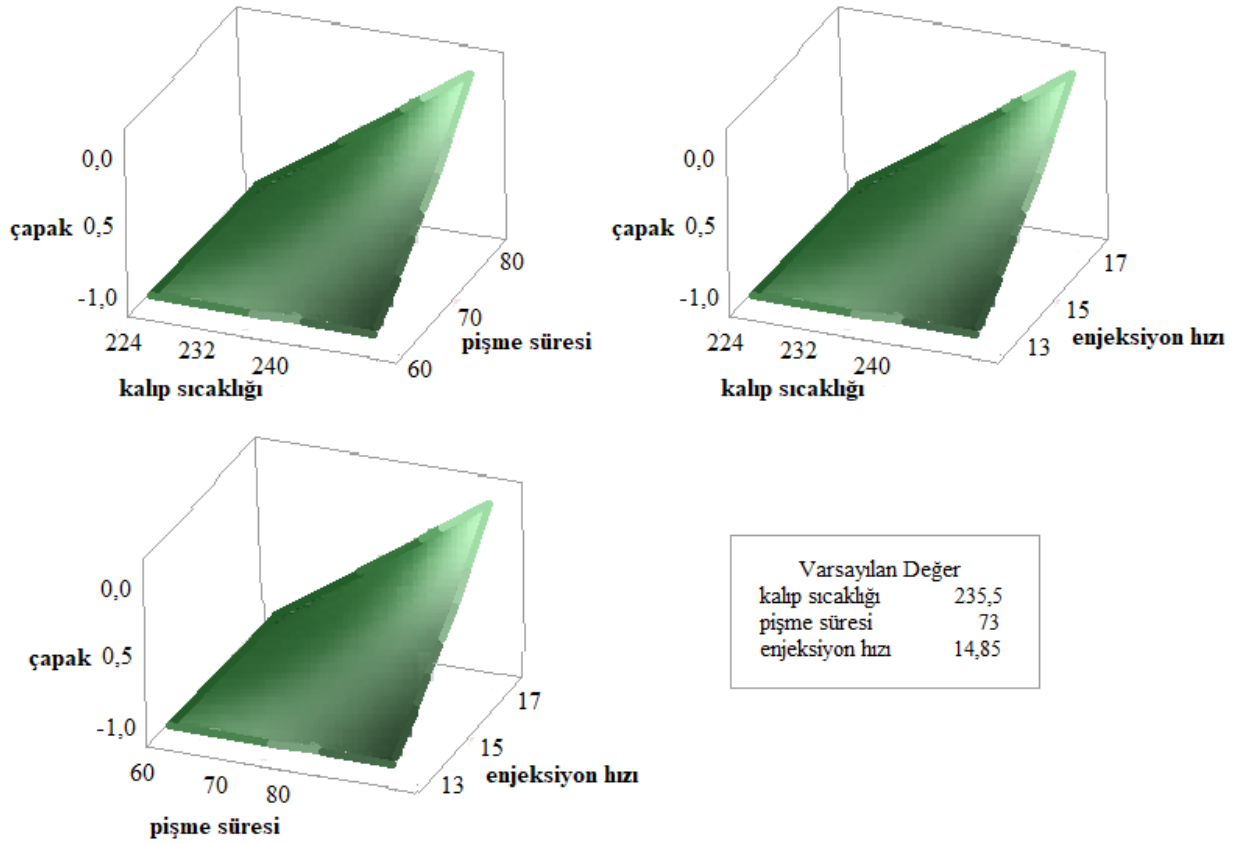
$x_3 = \text{enjeksiyon hızı}$

Geliştirilen modelden görüldüğü üzere, kalıp sıcaklığı, pişme süresi, enjeksiyon hızı ve faktörlerin üçlü etkileşimleri pozitif yönde etkilemektedir. Bunun nedeni korelasyon katsayılarının pozitif işaretli olmasıdır. Diğer taraftan faktörlerin ikili etkileşimlerinin hepsi modelimizi negatif yönde etkilemektedir. Bu şu anlama gelmektedir. İkili etkileşim değerleri artıkça çapak olmama olasılığı düşmektedir. Çizelge 4.9.'da görüldüğü gibi modelin R^2 adj değeri %97,32 olması nedeniyle modelde etkili olan kalıp sıcaklığı girdi değişkeni, çapak olmaması tepki değişkenindeki değişkenliğin %97,86'ini açıklar. Çapak olmaması tepki değişkenindeki %2,14'lük değişkenlik ise modelde etkili olan girdi değişkenleri ve etkileri dışında başka girdi değişkenleri tarafından yanık olmaması tepki değişkenini etkilemektedir. R^2 oranı ile $R^2(\text{adj})$ oranının birbirine yakın olması da çapak olmaması tepki değişkeni için geliştirilen modelin tahmin yeteneği açısından iyi bir model olduğunu göstermektedir.

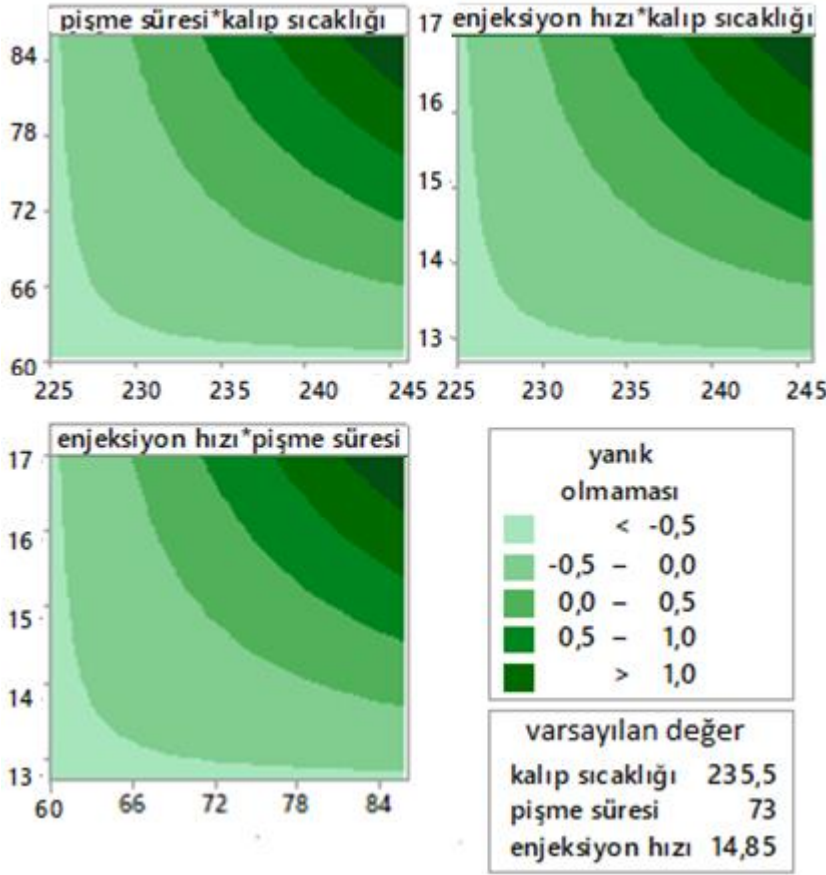
Çizelge 4.9. Çapak olmaması model istatistikleri

Standart Sapma	R^2	$R^2(\text{adj})$	$R^2(\text{pred})$
0,0936586	98,44%	97,86%	98,12%

Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.'da ise çapak olmaması tepki değişkeni için kalıp sıcaklığı-pişme süresi, kalıp sıcaklığı-enjeksiyon hızı ve pişme süresi-enjeksiyon hızı girdi değişkenlerinin değişimini gösteren 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği ve izdüşüm grafikleri verilmiştir. Kalıp sıcaklığı, pişme süresi ve enjeksiyon hızı girdi değişkenleri yanık olmaması tepki değişkeni üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Regresyon denklemi, 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği ve izdüşüm grafiği birlikte incelendiğinde kalıp sıcaklığı 225°C, pişme süresi 60 sn ve enjeksiyon hızı ise 12,70 mm/sn iken çapak hatası minimum olacağı görülmektedir. Girdi değişkenlerinin değerleri arttıkça çapak hatası ile daha fazla karşılaşılacaktır.



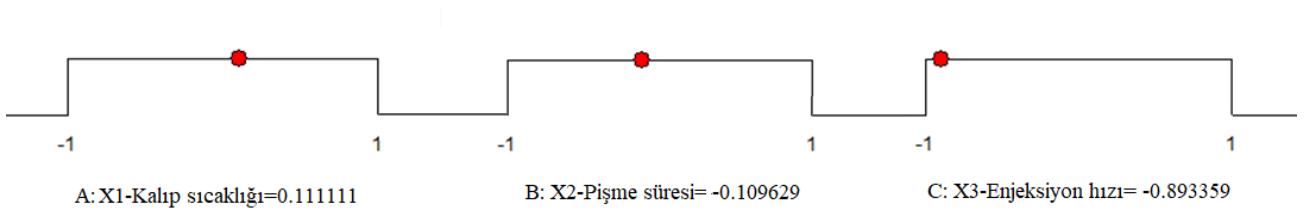
Şekil 4.15. Çapak olmaması tepki değişkeni için 3 boyutlu tepki yüzeyi grafiği



Şekil 4.16. Çapak olmaması durumu için izdüşüm grafiği

4.5 Çoklu Tepki Optimizasyonu

İşletmede yapılan araştırmalarda üretilen ürünün en önemli kalite problemlerinin patlak, yırtık, yanık ve çapak olduğu ve bu hataların maliyetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle işletmenin en fazla karşılaştığı bu hatalarını minimuma indirmek için çoklu tepki optimizasyonu ile girdi değişkenlerinin optimum değerleri araştırılarak 4 tepki değişkeninin oluşumunu aynı anda engelleyen optimum nokta araştırılmıştır. Çalışmanın yapıldığı enjeksiyon makinesinde kalıp sıcaklığı 236,55 °C, pişme süresi 71,7 sn ve enjeksiyon hızı ise 12,9 mm/sn ye ayarlandığında hataların oluşması minimum olacaktır. Şekil 4.17.'de girdi değişkenleri için optimum noktalar verilmiştir. Enjeksiyon makinesinde ayarlar (kalıp sıcaklığı 236,55 °C, pişme süresi 71,7 sn ve enjeksiyon hızı ise 12,9 mm/sn) yapıldığında %74 olasılıkla hataların aynı anda minimize edilebileceği sonucuna varılmıştır.



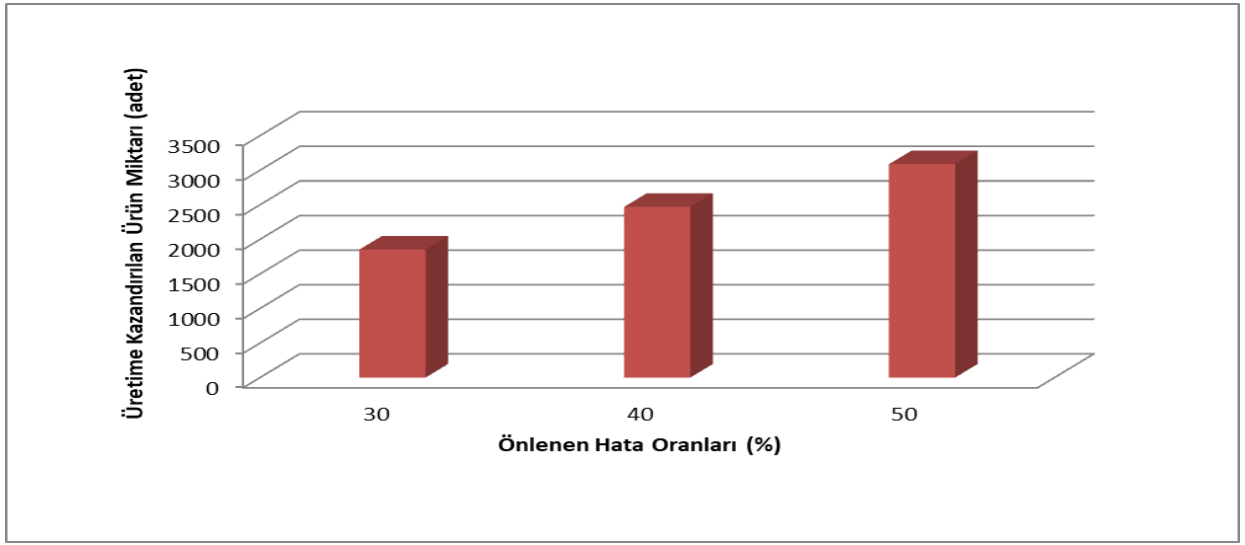
Şekil 4.17. Girdi değişkenleri için optimum noktalar

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Çerkezköy bölgesinde bulunan kauçuk hammaddesinden plastik enjeksiyon şekillendirme işlemi ile çamaşır makinesi sızdırmazlık contası (FX 887) üretimi yapan bir firmada kalite hatalarının minimize edilmesi amacıyla, istatistiksel deneysel tasarım uygulanarak makine proses parametrelerinin optimizasyonu amaçlanmıştır. İşletmede yapılan araştırmalarda üretilen ürünün en önemli kalite problemlerinin patlak, yırtık, yanık ve çapak olduğu ve bu hataların maliyetinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu hataların minimizasyonu için, yapılan çalışmalar sonucunda hata oluşumuna etki eden faktörler (kalıp sıcaklığı, pişme süresi ve enjeksiyon hızı) ve faktörlere ait seviyeler belirlenmiştir. 2^3 faktöriyel deney tasarımı ile 3 ana faktör etkisi ve birbirleriyle olan etkileşimlerini incelemek amacıyla, her bir deney noktasında 3 deney tekrarı yapılarak toplam 27 adet deney yapılmıştır. Uygulama yerinin tercih edilmesinde söz konusu işletmede kalite hatalarının ve müşteriden iade edilen ürün sayılarının yüksek seviyede olması, kauçuk maddesinin pahalı ve dünyada giderek kullanımının artması, iyileştirme ve yeniliklere açık bir firma olması parametreleri etkili olmuştur.

Deney sonucunda elde edilen veriler Minitab paket programında analiz edilerek sonuçlar irdelenmiştir. Tüm deneyler sabit bir makinede (DESMA enjeksiyon makinesi), sabit bir kalıpta, aynı firmadan tedarik edilen hammadde kullanılarak ve sabit bir operatör tarafından yapılmıştır. Proses parametrelerinin etkileri üzerinde önemli olan faktörleri belirleyebilmek amacıyla varyans analizi, normal dağılım ve faktör etkileri grafikleri gibi analizler yapılarak, geliştirilen model hakkında bilgi edinilmiş ve yorumlar yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda %95 güven aralığında, patlak olmaması ve yırtık olmaması durumları üzerindeki en etkili faktörün kalıp sıcaklığı olduğu belirlenmiştir. Kalıp sıcaklığı arttıkça patlak olmama ve yırtık olmama olasılıklarının da arttığı görülmüştür. Yanık olmaması ve çapak olmaması durumları üzerinde ise tüm ana faktörler (kalıp sıcaklığı, pişme süresi ve enjeksiyon hızı) ve etkileşimlerinin istatistiksel olarak %5 anlamlılık seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir. Ana faktörler (kalıp sıcaklığı, pişme süresi ve enjeksiyon hızı) yanık olmama ve çapak olmama tepki değişkenlerini pozitif yönde etkilerken ikili etkileşimlerin ise negatif yönde etkiye sahip olduğu görülmüştür. Yapılan çoklu tepki optimizasyonu çalışmasında ise enjeksiyon makinesinde kalıp sıcaklığı 236,55 °C, pişme süresi 71,7 sn ve enjeksiyon hızı ise 12,9 mm/sn ye ayarlandığında %74 olasılıkla hataların aynı anda minimize edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda işletme kısıtları nedeniyle deney tekrarı yapma imkanı sağlanamamıştır. 2018 yılında 11328 adet hurdanın 6173 adedi (toplam hataların %54' ü) tepki değişkeni olarak belirlenen hatalardan (patlak, yırtık, yanık ve çapak) kaynaklanarak hurdaya ayrıldığı verilerine ulaşılmıştır. Öngördüğümüz model sistemde devreye alınırsa, %54'lük hatanın önlenebileceği sonucuna varılmaktadır. Oluşturulan analizler çerçevesinde işletmede herhangi teknolojik ya da makinesel bir yatırım yapılmadan sadece makine-süreç parametrelerindeki optimizasyonlar ile ele alınan hataların %30 (1851 adet), %40 (2469 adet) ya da %50 (3086 adet) oranlarında iyileştirme sağlayacağı düşünülecek olursa üretime kazandırılan ürün miktarı-önlenebilir hata oranları grafiği 5.1.'de verildiği gibi olacaktır. Hataların önlenmesi ile hammadde maliyetleri, genel giderler (elektrik vs.) ve işçilik giderlerinde kazanç, müşteri şikayetlerinde azalma, üretim planlarının aksamaması ve zamanında sevkiyat organizasyonları açısından kazanç sağlanacağı öngörülmektedir.



Şekil 5.1. Üretime kazandırılan ürün miktarı-önlenebilir hata oranları grafiği

İşletmede üretim sürecindeki makine proses parametreleri ayarlanacak olursa, elde edilen hata verileri göz önünde bulundurularak 2017 yılından bu yana en çok karşılaşılan kalite problemi önemli ölçüde bertaraf edilmiş olacaktır. Bundan sonraki çalışmada belirlenen hataların dışında kalan diğer hatalara odaklanabilmektedir. Bu şekilde her defasında sistematik olarak kalite problemlerini çözüme kavuşturarak hem maliyet hem de verimlilik açısından önemli bir gelişme

kaydedilecektir. Çalışmada elde edilen know-how yeni ürünlerin elde edilmesi için gerekli parametrelerin nasıl belirleneceği konusunda da yol gösterici olacaktır.

Çalışma sonucunda elde edilen bilgiler ışığında üretim sürecinde kalitenin istatistiksel tekniklerle kontrol edilmesi işletmenin verimliliğini artırıcı en önemli etkenlerden biri olduğu ve bu süreç için harcanan emek ve göze alınan maliyetin işletmeleri daha büyük zararlardan koruyabileceği, işletmenin karlılığını ve devamlılığını sağlayacağını bilincinde olunmalıdır. İşletmeler rekabetin, hammadde maliyetlerinin, işçilik giderlerinin artması nedeni ile üretimde maliyetlerini düşürecek yöntemlerini kullanmaya mecburdurlar. Bu nedenle, deney tasarımı yöntemlerini kullanarak, yapılacak denemeler ile uygun çalışma parametrelerini tespit ederek çok daha düşük maliyetle makine-süreç parametrelerinin optimizasyonunu sağlamak mümkün olabilecektir.

6 KAYNAKLAR

- Acıgöz M (2014). Türkiyede Kauçuk Sektörü ve Sorunları. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Adamu M, Mohammed BS, Shafiq N, Liew MS, Alaloul WS (2018). Effect of Crumb Rubber And Nano Silica On The Durability Performance Of High Volume Fly Ash Roller Compacted Concrete Pavement. International Journal of Advanced and Applied Sciences, 5: 53-61 s.
- Akman G, Özkan C (2011). Sac İmalatında Karşılaşılan Yapışma Probleminin Deney Tasarımı İle Çözümü. Doğuş Üniversitesi Dergisi, 12: 187-199.
- Aldaş K, Özkul İ, Taşkesen A ve Kayır Y (2014). Invesitgation of Drilling Parameters on Thrust Force on AZ91 Magnesium Alloy by Genetic Expression Programming. Düzce University Journal of Science & Technology, 2: 169-177.
- Anonim (2019). EPDM Kauçuk Nedir?. http://www.tartanpist.com/epdm_kaucuk_nedir (erişim tarihi, 23.01.2019).
- Anonim (2019). PAGEV- Türkiye Kauçuk Sektör İzleme Raporu - 2017 <https://www.pagev.org/upload/files/Hammadde%20Yeni%20Tebli%C4%9F%20Bilg.%203/Kau%C3%A7uk%20Sekt%C3%B6r%20C4%B0zleme%20Raporu%202017.pdf> (erişim tarihi, 23.01.2019).
- Boşnak B (2010). Kauçuktan Yarı Mamül Üretim Teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Aygün A (2012). Tekstil Endüstrisi Reaktif ve Dispers Boya Banyo Atıksularının Elektrokoagülasyon Prosesi ile Arıtımı: Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyonu. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Aytekin FG (2014). Fotolitografi İşleminde UV Sertleştirme Parametrelerinin Deney Tasarımı ile Eniyilenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Binal G (2007). Yer Karosu Süreç Parametrelerinin Faktöriyel Tasarım ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Borosy AP (1999). Quantitative Composition–Property Modelling of Rubber Mixtures by Utilising Artificial Neural Networks. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 47: 227–238.

- Correia S L, Partala T, Loch FC ve Segadaes AM (2010). Factorial design used to model the compressive strength of mortars containing recycled rubber. *Composite Structures*, 92: 2047-2051.
- Çakal HO (2010). Sac Levha Kesiminde Deney Tasarımı ile Kalite İyileştirme. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.
- Çiftçi Aytekin AG (2010). Kalite Geliştirme Sürecinde Eniyileme Problemlerine Deney Tasarımı Yönteminin Uygulanması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, İzmir.
- Çömlekçi N (2003). Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa yayınları, İstanbul.
- Da Costa HM, Ramos VD, Da Silva WS ve Sirqueira AS (2010). Analysis And Optimization Of Polypropylene (PP) / Ethylene-Propylene-Diene Monomer (EPDM) / Scrap Rubber Tire (SRT) Mixtures Using RSM Methodology. *Polimer Testing*, 29: 572-578 s.
- Demir L (2004). İstatistiksel Deney Tasarımı Yöntemi ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Dinç Ş (2008). Alüminyum Zenginleştirilmesinde Faktöriyel Tasarım ile Optimizasyon. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Durmaz S (2008). Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Efendioğlu D (2013). Pem Yakıt Hücresi Performansının Deney Tasarımı Kullanılarak Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Eğri N (2008). Deney Tasarımı Tekniği Uygulanmamış Optimizasyon Çalışmalarının İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Eken YF, Kokangül A (2018). Kauçuk Sektöründe Vulkanizasyon Parametrelerinin Optimizasyonu. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35-4: 126-140.
- Erbatur O ve Erkek E (2007). Karbon Siyahı/Yağ ve Karbon Siyahı/Dolgu Maddesi Oranının Farklı Vulkanizasyon Sistemlerinde Epdm Kauçuğunun Fizikomekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

- Ghoreisy MHR, Karrabi M, Nouri MR (2001). Development of Optimized Rubber Compounds for the Components of the Bead Section of A Low Aspect Ratio Steelbelted Radial Tire. Iranian Polymer Journal, 10: 115-123.
- Gök C (2005). Application Of Factorial Design In Optimization Of Preconcentration Procedure For Some Lanthanides Determination In Aqueous Solution. Dokuz Eylul University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, İzmir.
- Gürbüz G (2015). Deri Endüstrisi Atıksularının Elektrokoagülasyon ve Elektrofenton Yöntemleri İle Arıtımında RSM Kullanılarak Proses Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Karadaş A (2010). Sanayide Deney Tasarımı Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Karshoğlu Z (2013). Fire Analizinde Deney Tasarımı. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kasapoğlu ÖA, (2007) Talaşlı İmalatta Bir Kalite Karakteristiğinin Modellenmesi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kaya Y (2009). Karışım Tasarımı Yöntemiyle Lastik Esaslı Yeni Bir Ürün Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Khamplod T, Loykulnant S, Kongkaew C, Sureeyatanapas P ve Prapainainar P (2015). Electron Beam Radiation Grafting Of Styrene On Natural Rubber Using Taguchi' s Design. Polymer, 79: 135-145s.
- Khed VC, Mohammed BS, Nuriddin MF (2018). Effects of different crumb rubber sizes on the flowability and compressive strength of hybrid fibre reinforced ECC. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 140: 1-10.
- Koç B, Kaymak-Ertekin F (2009). Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları. Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir.
- Kolahdooz R, Asghari A, Rashid-Nadimi S ve Amirfazli A (2016). Integration Of Finite Element Analysis And Design Of Experiment For The Investigation Of Critical Factors In Rubber Pad Forming Of Metallic Bipolar Plates For PEM Fuel Cells. Science Direct, 42: 575-589.
- Kukreja TR, Kumar D, Prasad K, Chauhan RC, Choe S ve Kundu PP (2002). Optimisation of Physical and Mechanical Properties of Rubber Compounds by Response Surface Methodology-Two Component Modelling Using Vegetable Oil and Carbon Black. European Polymer Journal, 38, 1417-1422.
- Kumaş E (2011). Mühendisler İçin İstatistiksel Deney Tasarımında Hazırlık Aşaması. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale.

- Lasprilla-Boteroa J, Álvarez-Láinez M ve Acostab DA (2016). Water-Based Adhesive Formulations For Rubber To Metal Bonding Developed By Statistical Design Of Experiments. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 73: 58-65.
- Liu Z, Li X, Xu X, Wang X, Dong C, Liu F ve Wei W (2015). Devulcanization Of Waste Tead Rubber İn Supercritical Carbon Dioxide: Operating Parameters And Product Characterization. *Polymer Degradation and Stability*, 119: 198-207.
- Maitia M, Srivastava VK, Shewalea S, Jasraa RV, Chavdab A ve Modib S (2013). Process parameter optimization through Design of Experiments in synthesis of high cis-polybutadiene rubber. *Chemical Engineering Science*, 107: 256-265.
- Montgomery DC (2001). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, 684p, New York, USA.
- Myers R, Montgomery DC, (1995). *Response Surface Methodolgy: Process And Product Optimization Using Designed Experiments*, USA.
- Özdemir İ (2018). Kesirli Faktöriyel Tasarım Ve Taguchi Yönteminin Kompozit Malzeme Üretimi Üzerine Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, Samsun.
- Rezaifar O, Hasanzadeh M ve Gholhaki M (2016). Concrete Made With Hybrid Blends Of Crumb Rubber And Metakaolin: Optimization Using Response Surface Method. *Construction and Building Materials*, 123: 59-68.
- Sağol E (2015). İstatistiksel Deneş Tasarımının Çayırhan Bölgesi Linyitlerinin Flotasyonunda Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Sancan M, Karaca S (2017). Van- Erciş ilçesi Bayramlı köyü bağ alanlarının bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi ve coğrafi bilgi sistemleri ile haritalanması. *Toprak Bilimi ve Bitki Beslenme Dergisi*, 5. 55-62.
- Savaşkan M, Taptık Y ve Ürgen M (2004). Deneş Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu. *itüdergisi/d mühendislik*, 3: 117-128.
- Savran HÖ (2001). *Elastomer Teknolojisi 1*, Kauçuk Derneği Yayınları, 1:1-28
- Savran HÖ (2001). *Elastomer Teknolojisi 2*, Kauçuk Derneği Yayınları, 2:1-28
- Savran HÖ (2001). *Elastomer Teknolojisi 3*, Kauçuk Derneği Yayınları, 3:1-28
- Smith, LP (1993). *The Language of Rubber*, Butterworth Heinemann, London

- Soyubol B (2006). Elastomerlerin Statik ve Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 96 s, Bursa.
- Şanyılmaz M (2006). Deneysel Tasarım ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi İle Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.
- Şimşek B (2014). Hazır Betonun Optimal Karışım Oranlarının Belirlenmesi için Bir Çok Yanıtlı Modelleme ve Eniyileme Uygulaması: Topsis Tabanlı Taguchi Yaklaşımı ile Cevap Yüzey Yöntemi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Şirvancı M (1997). Kalite için deneysel tasarım. Literatür yayınları. 110s, İstanbul.
- Şişman Y, Dengiz O, Şişman A ve Demirağ Turan İ (2016). Arazi Kalite Değerlendirme Çalışmalarında Parametrik Yöntem ve Deneysel Tasarım. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 31: 28-293.
- Taguchi G. Wu Y, (1989). Taguchi methods case studies from the US and Europe, Amerikan supplier institute inc., Michigan.
- Taylan D (2009). Taguchi Deneysel Tasarım Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Tekindal M A, Bayrak H, Özkaya B ve Genç Y (2012) Box- Behnken Experimental Design In Factorial Experiments: The Importance of Bread For Nutrition and Health. Turkish Journal of Field Crops, 17(2): 115-123.
- Turan MD, Altundoğan HS, (2011). Hidrometalurjik Araştırmalarda Yanıt Yüzey Yöntemlerinin Kullanımı, Madencilik Dergisi, 50: 11-23.
- Türkyılmaz H (2011). Kurşun İyonlarının Kesikli Adsorpsiyon Proses ile Gideriminin Cevap Yüzey Yöntemiyle Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Yılmaz E, Ahlatcı F, Yazıcı EY, Celep O ve Deveci H (2017). Recovery Of Cyanide From Effluents Using Carbon Dioxide. Mugla Journal of Science and Technology, 3: 171-177.
- Zümrüt Z (2009). Tam Faktöriyel Deneysel Tasarım Tekniği ile Hidroksiapatit Kaplı Titanyum İmplant Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Parametrelerin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

7 ÖZGEÇMİŞ

Nejla DİKMEN ÖZKAN, 13.07.1989 tarihinde Çorlu'da doğdu. Ortaöğretimini Çoru Cumhuriyet Orta Okulunda, lise eğitimini ise Çorlu Yabancı Dil Ağırlıklı lisede tamamladı. Lisans eğitimini Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü' nde tamamladı. 2013 yılında Namık Kemal Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı' nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2012 yılında özel sektörde Endüstri Mühendisi olarak başladığı görevine Yönetim Sistemleri Şefi olarak halen devam etmektedir.