ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yaşar Faruk EKEN

KAUÇUK SEKTÖRÜNDE VULKANİZASYON PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAUÇUK SEKTÖRÜNDE VULKANİZASYON PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Yaşar Faruk EKEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 17/07/2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

……..	……..	….....
Doç. Dr. Ali KOKANGÜL	Prof. Dr. Rızvan EROL	Doç. Dr. Sami ARICA
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAUÇUK SEKTÖRÜNDE VULKANİZASYON PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Yaşar Faruk EKEN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Ali KOKANGÜL
Yıl: 2014, Sayfa: 110
Jüri : Doç. Dr. Ali KOKANGÜL
: Prof. Dr. Rızvan EROL
: Doç. Dr. Sami ARICA

Bu çalışma Kauçuk Sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin, hamur üretme süreci için gerçekleştirilmiştir. Tüm kauçuk ürünleri vulkanizasyon sürecine girmektedir. Vulkanizasyon kauçuğun veya benzer polimerlerin, kükürt veya diğer eşdeğer kürleyicilerin ilavesiyle daha dayanıklı malzemelere dönüştürülmesi için yapılan kimyasal işlemin adıdır. Yürütülen bu çalışmada kauçuğun vulkanizasyon süreci için faktöriyel deney tasarımı ve optimizasyon modelleme yaklaşımı geliştirilmiştir. İşletmedeki hamur üretme sürecinde seçilen bir hamur reçetesi için vulkanizasyon sürecinde en önemli üç faktör belirlenmiştir. Bu faktörlerin etkilediği performans parametreleri belirlendikten sonra yapılan deneme üretimleri sonucunda elde edilen veriler analiz edilmiştir. Yapılan regresyon analizleriyle her bir performans parametresinin optimizasyonuna yönelik non-linear matematiksel modeller oluşturulmuştur. Matematiksel modellerin optimum çözümleri, yapılan doğrulama üretimleriyle test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deney Tasarımı, Optimizasyon, Kauçuk, Vulkanizasyon

ABSTRACT

MSc. THESIS

OPTIMIZATION OF VULCANIZATION'S PARAMETERS FOR RUBBER INDUSTRY

Yaşar Faruk EKEN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Supervisor : Asosc. Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
Year: 2014, Pages: 110
Jury : Asosc. Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
: Prof. Dr. Rızvan EROL
: Asosc. Prof. Dr. Sami ARICA

This study was held in a business's rubber paste manufacturing process in the rubber industry. All rubber products enter in the process of vulcanization. Vulcanization is a chemical process for converting natural rubber or related polymers into more durable materials via the addition of sulfur or other equivalent curatives. In this study for the process of vulcanization of rubber the factorial design and optimization modeling approach has been developed. In manufacturing process of rubber paste, most important three factors of vulcanization were determined for a selected prescription. Goal performance parameters had been determined and the datas obtained from the test production was analyzed. With the regression analysis for each performance parameter's optimization, non-linear mathematical models were constructed. The obtained optimal solution of mathematical model was tested by verification production.

Key Words: Design Expert, Optimization, Rubber, Vulcanization

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her konuda yardımcı olan ve tezin her aşamasında bana yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Ali KOKANGÜL'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim. Çalışma dönemim boyunca her türlü desteği gösteren annem Fatma EKEN, babam Bilal EKEN, kardeşim Burak ve abim Şükrü EKEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmama çok büyük katkıları olan tecrübe ve deneyimleriyle bana yardımcı olan Seçil Kauçuk San. ve Tic. A.Ş' de AR-GE Müdürü olan Sn. Sedat ERGEZER ve Seçil Kauçuktaki çalışma hayatım boyunca, her konuda bana yardımcı olan, desteğini hiç birzaman esirgemeyen Planlama ve Kalite Müdürü Sn. Düşize Ökten YILMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca Seçil Kauçuk AR-GE laboratuvar çalışanlarına, iş arkadaşlarıma ve çukurova üniversitesinde araştırma görevlisi olan arkadaşım Cansu DAĞSUYU'na yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VI
ŞEKİLLER DİZİNİ VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR X
1. GİRİŞ 1
1.1.Kauçuk Kavramı 3
1.1.1. Kauçuk Karışımı 4
1.1.2. Kauçuk Çeşitleri 6
1.1.3. Kauçuk Ürün Üretim Aşamaları 9
1.1.3.1. Hamur Karıştırma 9
1.1.3.2. Hamur Ön Şekillendirme 10
1.1.3.3. Presleme veya Ekstrüzyon 11
1.1.3.4. Vulkanizasyon 12
1.1.3.5. Vulkanizasyon 15
1.2. Problemin Tanımı 16
1.3. Çalışmanın Amacı 18
1.4. Çalışmanın Kapsamı 18
1.5. Çalışmanın Adımları 19
1.6. Orjinal Katkılar 20
1.7. Çalışmanın Organizasyonu 20
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 21
2.1. Deney Tasarımı ve Optimizasyon Literatür Taraması 21
2.2. Kauçuk ve Vulkanizasyon Prosesi Literatür Taraması 29
3. MATERYAL VE METOD 35
3.1. Materyal 35
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Makineler ve Test Cihazı 38

3.1.1.1. Kapalı Hamur Karıştırma Makinesi 38
3.1.1.2. Açık Mil Makinesi 39
3.1.1.3. Reometre Cihazı 40
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar 42
3.2. Metod 42
3.2.1. Deney Kavramı ve Deney Tasarımı 42
3.2.2. Deney Tasarımının Temel İkeleri 45
3.2.2.1. Bloklama 45
3.2.2.2. Rassallaştırma 45
3.2.2.3. Tekrar 46
3.2.3. Deney Tasarımının Adımları 46
3.2.4. Faktöriyel Tasarımlar 48
3.2.5. Regresyon Analizi 52
3.2.6. Matematiksel Modelleme 53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 55
4.1. Performans Karakteristiklerinin Belirlenmesi 55
4.2. Performans Karakteristiklerine Etki Eden Faktörlerin ve Düzeylerinin Belirlenmesi 55
4.3. Deney Tasarımının Seçilmesi 56
4.4. Verilerin Toplanması 57
4.5. Verilerin Analizi ve Yorumlanması 58
4.5.1. İkili Etkileşimlerin Dahil Edildiği Verilerin Analizi 68
4.5.2. Üçlü Etkileşimlerin Dahil Edildiği Verilerin Analizi 76
4.5.3. Matematiksel Modelin Lingoda Çözülmesi 86
4.6. Doğrulama Deneylerinin Yapılması 87
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 91
5.1. Sonuçlar 91
5.2. Öneriler 92
KAYNAKLAR 93
ÖZGEÇMİŞ 99
EKLER 100

ÇİZELGELER DİZİNİ SAYFA

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan Standart EPDM Kauçuk Reçetesi 37
Çizelge 3.2. Üç Kimyasalın Düşük ve Yüksek Seviyeli Karışım Kombinasyonları 37
Çizelge 3.3. Gerçekleştirilen Deneme Üretimlerindeki Reçeteler 38
Çizelge 3.4. Üretilen Hamurların Ölçülen Reometre Değerleri 41
Çizelge 3.5. 2^2 Faktöriyel Tasarım ANOVA Tablosu 50
Çizelge 3.6. 2^3 Faktöriyel Tasarım ANOVA Tablosu 51
Çizelge 4.1. Oluşturulan Faktöriyel Tasarım 57
Çizelge 4.2. Reometre Test Sonuçları 58
Çizelge 4.3. Faktörlerin (A, B, C) R_1 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 59
Çizelge 4.4. Faktörlerin (A, B, C) R_2 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 61
Çizelge 4.5. Faktörlerin (A, B, C) R_3 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 63
Çizelge 4.6. Faktörlerin (A, B, C) R_4 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 65
Çizelge 4.7. Ana Etkilerin Anlamlılık Düzeyini Gösteren Özet Tablo 67
Çizelge 4.8. Faktörlerin (A, B, C, A*B, A*C, B*C) R_1 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 68
Çizelge 4.9. Faktörlerin (A, B, C, A*B, A*C, B*C) R_2 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 70
Çizelge 4.10. Faktörlerin (A, B, C, A*B, A*C, B*C) R_3 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 72
Çizelge 4.11. Faktörlerin (A, B, C, A*B, A*C, B*C) R_4 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 74
Çizelge 4.12. Faktörlerin Tüm Etkilerinin R_1 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 76

Çizelge 4.13. Faktörlerin Tüm Etkilerinin R_2 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 78
Çizelge 4.14. Faktörlerin Tüm Etkilerinin R_3 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 80
Çizelge 4.15. Faktörlerin Tüm Etkilerinin R_4 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu 82
Çizelge 4.16. Amaç Fonksiyonlarının Lingo Paket Programda Çözülmesi..... 87
Çizelge 4.17. Doğrulama Deneyleri İçin Oluşturulan Reçeteler..... 87
Çizelge 4.18. Doğrulama Deneylerinin Reometre Sonuçları..... 88
Çizelge 4.19. Matematiksel Modellerin Uygunluk Oranı..... 90
Çizelge 5.1. Tüm Etkiler İçin Özet R-sq(adj) Tablosu 91

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Kauçuk Hamur Karıştırıcısı 10
Şekil 1.2. Hamur Ön Şekillendirme 11
Şekil 1.3. Pres Makinesi 11
Şekil 1.4. Mikro Dalga Fırın 12
Şekil 1.5. Ekstrüder 12
Şekil 1.6. Vulkanizasyon Eğrisi 13
Şekil 1.7. Vulkanizasyon Değişkenleri 15
Şekil 3.1. Kapalı Hamur Karıştırma Makinesi 39
Şekil 3.2. Açık Mil Makinesi 40
Şekil 3.3. Reometre Cihazı 41
Şekil 3.4. Bir sistem veya sürecin genel gösterimi 44
Şekil 4.1. İki Seviyeli Üç Faktörlü Full Faktöriyel Tasarımın Seçilmesi 56
Şekil 4.2. Faktörlerin (A,B,C) R_1 Parametresine Ana Etkileri 60
Şekil 4.3. Faktörlerin Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_1) 60
Şekil 4.4. Faktör (A,B,C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_1) 61
Şekil 4.5. Faktörlerin (A,B,C) R_2 Parametresine Ana Etkileri 62
Şekil 4.6. Faktörlerin Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_2) 62
Şekil 4.7. Faktör (A,B,C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_2) 63
Şekil 4.8. Faktörlerin (A,B,C) R_3 Parametresine Ana Etkileri 64
Şekil 4.9. Faktörlerin Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_3) 64
Şekil 4.10. Faktör (A,B,C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_3) 65
Şekil 4.11. Faktörlerin (A,B,C) R_4 Parametresine Ana Etkileri 66
Şekil 4.12. Faktörlerin Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_4) 66
Şekil 4.13. Faktör (A,B,C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_4) 67
Şekil 4.14. Faktörlerin İkili Etkileşim Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_1) 69
Şekil 4.15. Faktör (A, B, C, A*B, A*C, B*C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_1) 69
Şekil 4.16. Faktörlerin İkili Etkileşim Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_2) 71
Şekil 4.17. Faktör (A, B, C, A*B, A*C, B*C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_2) 71
Şekil 4.18. Faktörlerin İkili Etkileşim Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_3) 73

Şekil 4.19. Faktör (A, B, C, A*B, A*C, B*C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_3) 73
Şekil 4.20. Faktörlerin İkili Etkileşim Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_4) 75
Şekil 4.21. Faktör (A, B, C, A*B, A*C, B*C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_4) 75
Şekil 4.22. Faktörlerin Tüm Etkilerinin Pareto Grafiği (R_1).....77
Şekil 4.23. Faktörlerin Tüm Etkilerinin Pareto Grafiği (R_2).....79
Şekil 4.24. Faktörlerin Tüm Etkilerinin Pareto Grafiği (R_3).....81
Şekil 4.25. Faktörlerin Tüm Etkilerinin Pareto Grafiği (R_4).....83
Şekil 4.26. Faktörlerin Etkileşimleri ve R_4 Parametresine Etkileri.....84
Şekil 4.27. Design Expert Optimizasyon Sonuçları.....86
Şekil 4.28. Doğrulama Deneyi Sonucu Oluşan Reometre Grafiği.....89

SİMGELER KISALTMALAR

PHR	:	Per Hundred Rubber
DT	:	Deney Tasarımı
df	:	Serbestlik Derecesi
SS_A	:	A Faktörünün Kareler Toplamı
MS_A	:	A Faktörünün Ortalama Kareler Toplamı
F_A	:	A Faktörü için F Test İstatistiği
SBR	:	Stiren Butadien Kauçuklar
NBR	:	Akrilonitril Kauçuklar
EPM	:	Etilen-Propilen Monomer
EPDM	:	Etilen-Propilen Dien Monomer

1. GİRİŞ

Globalleşme, iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesi, teknolojinin hızlı ilerlemesiyle birlikte ürün ve hizmet üreten kuruluşlar arasında büyük ve kıran kırana bir rekabet ortaya çıkmıştır. Böyle bir ortamda kârlılıklarını ve varlıklarını sürdürmek isteyen firmalar, müşteri memnuniyetini en iyi şekilde sağlayacak, düşük maliyetli, yüksek kaliteli ve güvenilir ürünler üretmeyi veya hizmetler sunmayı amaçlamaktadırlar (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Sürekli değişkenlik gösteren bu rekabet ortamında geleceği görebilmek, buna göre yenilik yapabilmek veya yaratıcılığını en üst seviyede tutabilmek, işletmeler için çok büyük önem taşımaktadır.

Zorlu rekabet şartları altında günümüz ticari işletmeleri; yalnız yurt içindeki firmalarla değil, aynı zamanda yurt dışındaki firmalarla da en yakındaki pazardan pay kapma yarışı içindedirler. Bu yarıştan daha ucuz maliyetle daha kaliteli mal üreten firmalar kazançlı çıkmaktadır. Kaliteli mal, belirli özellikler ve standartlara uygun mal anlamına gelmektedir. Bir ürünün veya hizmetin kalitesi tüketici gereksinmelerini mümkün olan en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan pazarlama, mühendislik, imalat ve kalitenin devamı özelliklerinin bileşkesidir. Bir ülkenin ekonomik yapısını oluşturan faktörlerden en önemlisi üretimdir. Üretimde verimlilik ve kalitenin ülkenin ekonomik yapısının oluşmasında çok önemli bir konumu vardır.

Kalitenin ve verimliliğin artması için süreçlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Süreç iyileştirmede, çıktılardaki değişkenliğin azaltılması ile maliyetlerin azalması, ürün kalitesinin iyileşmesi ve müşteri memnuniyetinin artması sağlanmaktadır. Bu bağlamda süreç iyileştirmeyi başarmak için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Deney Tasarımı (DT) ve Optimizasyon bu yöntemlerdendir.

Optimizasyon, bir sistemde var olan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet en azaltılması, kâr en çoklanması, kapasite kullanımının en yükseltilmesi ve verimliliğin en çoklanması gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Gass, 2000).

Deney tasarımı, sürecin incelenen kalite karakteristiğine etki eden kontrol edilebilir değişkenlerin değerlerini sistematik olarak değiştirerek süreç performansını etkileyecek değişken değerlerini belirlemede kullanılan bir tekniktir (Montgomery, 2005).

Üretim süreçlerinde iyileştirilmeler yapılması her sektörden her firmanın hem kendi hem de ulusal menfaatidir. Üretim süreçlerinde optimum parametrelerin belirlenmesi ve istatistiksel süreç kontrollerinin uygulanması için deneysel tasarımlar ve deney süreçlerinin optimizasyonu çok önemlidir.

Petro Kimya sektörünün alt sektörü olan Kauçuk sektörü doğal kauçukta yüzde 100 sentetik kauçukta yüzde 99 dışa bağımlı olduğumuz bir sektördür (Kauçuk ve Plastik Sektör Raporu 2012). Birçok sektörde dışa bağımlı bir ülke olduğumuz gerçeğini düşündüğümüzde ithal edilen hammaddelerin verimli kullanılması ihracattaki payın artması ve imalat sanayine katkısının artırılması gerekmektedir. Yurt dışından ithal edilen hammaddelerin ülkemizde verimli kullanılarak ülke ekonomisine katma değer sağlaması gerekmektedir ki ulusal kalkınma bilincine erişebilelim.

Bugün Türkiye'nin yıllık kauçuk tüketimi 400 bin tonu aşmış olup dünya tüketiminin %3'ünü oluşturmaktadır. Artan otomotiv üretimine paralel olarak kauçuk talebinin katlanarak artması beklenmektedir. Yüzde 56 oranında araç lastiği üretimine girdi sağlamakta olan kauçuk sanayi kauçuk bant, kayış, hortum, araç lastiği, conta ve daha pek çok farklı malzemenin imalatında kullanılmaktadır. (Kauçuk ve Plastik Sektör Raporu 2012). Kauçuk sanayinin temel girdileri tabii kauçuk, sentetik kauçuk ve karbon siyahıdır. Ülkemiz için hammadde de dışa bağımlı olması, sektörün en büyük dezavantajları arasındadır.

Ülkemiz için her sektörde olması gerektiği gibi bu sektörde de araştırma geliştirme çalışmalarına hız verilmesi ve katma değer yaratacak çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Çalışma kauçuk sektöründe faaliyet gösteren bir firmada yapılmıştır. Çalışmanın konusunu; kauçuk ürün üretme proseslerinden birisi olan kauçuk hamur üretme prosesinde faktöriyel deney tasarım yapılarak performansa etki eden

faktörlerin birbiriyle etkileşimlerini belirlemek ve optimizasyon tekniğiyle performans parametrelerinin en iyilenmesi oluşturmaktadır.

1.1. Kauçuk Kavramı

Kristof Kolomb'un kauçuğu ilk tanıyan beyaz olduğu tahmin edilmektedir. Kolomb Amerika kıtasına yaptığı ikinci seyahat sırasında Haiti adasındaki yerlilerin, ağaçtan elde edilen elastik reçineden top ve çeşitli giysiler yaptıklarını görmüştür. Amazon nehri civarında yaşayan yerlilerin bu ağaca 'caa-o-chu' dedikleri bilinmektedir. Yerlilerin dilinde 'caa' odun-tahta, 'o-chu' akmak-ağlamak demektir. 'caa-o-chu' ağlayan ağaç anlamına gelmektedir. Esas üretim dünyanın her yerinde Havea Brasiliensis ağacıdır. Bu ağacın gövdesine açılan bir yarıktan alınan süte benzer bir sıvıdan elastik malzemeler üretilmektedir (http://en.wikipedia.org). Bu ağacın kendisinden ve özsuyu olan lâteksinden elde edilen maddeler endüstride kullanım sahası bulmuştur.

Lastik, ham maddesi kauçuk olmakla beraber, bazı tropik bitkilerin sütümsü öz suyundan (lateks) doğal hâlde elde edilen kauçuğun petrol ve alkolle bileşimiyle elde edilen maddedir (http://en.wikipedia.org).

Fransız bilim adamları tarafından 1736'da Güney Amerika'da tanımlanan ve 1840'ların başında Charles Goodyear tarafından kükürtle sertleştirme işlemi gerçekleştirilen kauçuk, bu yıllardan itibaren endüstrideki yerini almış ve ticari önem kazanmıştır (http://kaucuk.nedir.com/#ixzz37dVHr7PB). Goodyear'ın bu yöntemi, kükürtleme işlemini hızlandırıcı ve kırılmaya karşı kauçuğun direncini artırıcı bazı kimyasal maddeler katılmasıyla zamanla geliştirilmiştir. İlk önce lastik, "kükürt + kauçuk" olarak elde edilmiş ve sonraları önem kazanması nedeni ile lastik içerisine yabancı maddeler katılarak iyileştirme yoluna gidilmiştir. Ayrıca boya maddesi de ilave edilerek değişik renklerde lastik ve plastiğin üretimine geçilmiştir. Havanın etkisine karşı uzun ömürlü olabilmesi için, lastik içerisine plastiklerden fenoller, aminler ve ayrıca bazı tuzlar eklenmiş ve dayanımını artırmak amacıyla lastik içerisine amorf karbon ve yumuşaklık vermek için sterik asit eklenerek gelişen

teknolojiye paralel olarak günümüzde farklı ham maddeler sayesinde çok amaçlı özel lastikler üretilmekte ve bunlardan da çeşitli parçalar yapılmaktadır (Shaw, 1989).

Son yıllarda doğal kauçuğun yanı sıra sentetik kauçuğun da üretilmesi ile pek çok kauçuk türü ortaya çıkmıştır. Kauçuğun en önemli özelliği yüksek bir elastikiyete sahip olması yani yeniden eski haline dönebilen uzayabilen olmasıdır. Kauçuk işleme endüstrisinin gelişmesinin ve hemen her sektörde kullanılmasının temelinde de bu vardır.

1.1.1. Kauçuk Karışımı

İstenilen özelliklere göre ayarlanmış, kauçuk ve diğer hammaddeler ile katkı maddelerinden oluşan, vulkanize edilebilen bir karışımdır. Bir kauçuk karışımından beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Bitmiş mamülün çalışacağı ortama uygun özelliklerin yaratılması,
- Karışımın uygulanacağı proses metot ve makinelere uygun olması,
- Rekabet edilebilmesi için maliyet özellikleri.

Kauçuk karışımı, bitmiş üründen istenilen özelliklerin sağlanabilmesi için uygun kauçuk (polimer) ve hammaddeler ile katkı maddelerinin seçilebilmesi ve birbirleriyle karıştırılması işlemidir. Amaca uygun olarak seçilmiş ve birbirleriyle oransal bir bütünlük sağlamış maddeler topluluğu reçete veya formül olarak adlandırılır.

Kauçuk teknolojisinde oranlar, ana hammadde olan polimerin (kauçuk) ağırlıkça 100 birim kabul edildiği bir esasa dayanır. Phr " parts per hundred of rubber " yani, "yüz kısım kauçuk" olarak tanımlanır (Semaan, 2002).

Reçete (Formül) örneği aşağıdaki gibidir (Elastomer Teknolojisi 1, 2001):

Malzemeler	**PHR** (Per Hundred Rubber)
Kauçuk	100
Dolgu maddeleri	50
Yumuşatıcılar	10
Proses kolaylaştırıcılar	1-5
Yaşlanmayı önleyiciler	0-5

Aktivatörler	5
Hızlandırıcılar	1.2
Pişiriciler	0.2
Geciktiriciler	0.5

Kauçuk karışımında kullanılan maddeler proses özellikleri, son üründen istenen özellikler ve maliyet kontrolü gibi özellikleri kontrol etmede kullanılırlar. Bunlar:

Kauçuk ürün prosesi, kauçuğa polimerler (örneğin; ham ve/veya sentetik kauçuk), karbon siyahı (kauçuk karışımı oluşturmak için birincil dolgu malzemesi), yağlar ve çeşitli kimyasal katkı maddelerinin katılmasıyla başlar. Kimyasal katkı maddeleri; proses yardımcıları, vulkanizasyon ajanları, aktivatörler, hızlandırıcılar, yaşlanmayı önleyiciler, dolgular, yumuşatıcılar ve özel maddelerden oluşmaktadır. Bu katkı maddelerinin fonksiyonlarını kısaca tanımlarsak;

Bu katkı maddelerini kısaca tanımlayacak olursak (Elastomer Teknolojisi 1, 2001);

Proses Yardımcıları: Karıştırma periyodunda veya proses boyunca kauçuğu modifiye eder veya ekstrüzyon ve operasyonlarında spesifik bir tarz oluşmasına yardım eder.

Vulkanizasyon Ajanları: Polimer zincirleri arasında çapraz bağlar oluşturur.

Aktivatörler: Vulkanizasyonun ilerlemesi ile kür süresinin azalmasını, vulkanizasyon ajanları ile kombinasyonu sağlarlar.

Hızlandırıcılar: Aktivatörler ile kimyasal kompleks oluşturacak formdadırlar. Böylece artan vulkanizasyon hızı ve final ürün özellikleri oluşması ile hızlandırma sisteminden maksimum fayda sağlarlar.

Yaşlanma Önleyiciler: Kauçuğun bozulmasına sebep olan etkenler ile reaksiyona girerek (örneğin; O_2, O_3, ışık, ısı, radyasyon) , kauçuk ürünlerinin bozulmasını yavaşlatırlar.

Dolgular: Kauçuğun fiziksel özelliklerinin modifiyesini ve güçlenmesini sağlarlar. Proses özelliklerini açığa çıkartırlar. Kauçuk kalıbı için ihtiyaç duyulan pahalı materyallerin miktarının azaltılması ile maliyetlerin düşmesine yardımcı olurlar.

Yumuşatıcılar: Karışıma daha fazla elastisite sağlamayı, ürünü bağlamayı veya kauçuk hidrokarbonunun bir kısmı ile yer değiştirmeyi (fiziksel özellikler yitirilmeksizin) temin ederler.

Özel Maddeler: Geciktiriciler, renk vericiler, şişiriciler, koku vericiler vb. kapsar. Özel maddelerin, spesifik görevleri vardır. Genel olarak, başlıca kauçuk bileşimi içinde duyulmayan maddelerdir.

1.1.2. Kauçuk Çeşitleri

Kauçuk kelimesi tarihsel anlamının ötesinde elastomer malzemelerin genelini tanımlamak için kullanılmaktadır. Elastomer malzemenin en belirgin özellikleri yüksek elastikiyet ve düşük kalıcı deformasyona sahip olmalarıdır. Başlıca kauçuk çeşitleri aşağıda tanıtılmıştır.

i) Tabi Kauçuk: Geniş bir molekül ağırlığı dağılımına sahiptirler bu nedenle mükemmel işlenebilirlik özelikleri gösterirler. Zincir yapısı biyolojik durumu ile ilgilidir. Tabi kauçuk düzenli bir yapı özelliğinde olduğundan yüksek derecelerde kristalleşme özelliğine sahiptir. Kauçuk gerilince ve düşük sıcaklıklarda kristalleşir (Elastomer Teknolojisi 2, 2001).

Polar olmayan yapısı, tabii kauçuğun polar olmayan diğer kauçuklarla yüksek oranlarda karışabilmesini sağlamaktadır. Tabii kauçuğa, SBR ve BR katıldığında aşınma mukavemeti, ısı dayanımı ve düşük ısı özellikleri arttırılmaktadır. Tabii kauçuğun bu polimerlerle karışması halinde SBR ve BR'nin işlenebilme, yapışma ve dinamik özellikleri geliştirilebilir (Elastomer Teknolojisi 2, 2001).

Başlıca kullanım alanları :

- Konveyör bant
- Hortum
- Ayakkabı tabanı
- Kablo
- Vibrasyon, ses ve şok emici malzemeler (tampon, amortisör parçaları, motor ve makine takozları)
- Otomotiv parçaları (contalar, köpükler, cam silecekleri, paspas).

- Yer döşemeleri
- Demiryolu desteği
- Diyafram, membran
- Yapışkan imalatı
- Silindir kaplama
- Sünger imalatı
- Gıda sanayinde contalar
- Sağlık ürünleri
- Ebonit malzemeler
- Lateks üretimleri (eldiven, bebek emzikleri, balon)

ii) Stiren Butadien Kauçuklar (SBR) : Dünyada en çok kullanılan sentetik kauçuk türüdür. 75/25 oranında Bütadien/ Stiren karışımlarının tabii kauçuğa benzer yapıda kopolimer oluşturduğu 1920' li yıllarda bulunmuştur. SBR kauçuk, tabi kauçuk gibi genel maksatlı bir kauçuk türü olup en büyük kullanım alanı araç lastiği üretimidir. Polar olmayan tüm diğer polimerlerle istenildiği oranlarda karıştırılabilir. BR(SBR) ile yapılan karışımlarda aşınma dayanımı ve sürtünme direnci artmakta, ısı oluşumu azalmakta ve düşük sıcaklıklarda elastikiyet özellikleri artmaktadır (Savran, 2001).

iii) Akrilonitril Kauçuklar (NBR): Akrilonitril-bütadien kopolimerizasyonu 1930'lu yıllarda gerçekleşmiştir. NBR kauçuk ilk kez 1934 yılında Almanya'da üretilmiştir. NBR kauçuk akrilonitril ve bütadienin emülsiyon polimerizasyonu ile üretilir. Vulkanize edilmiş NBR kauçuklar -40ºC ile +135ºC sıcaklık aralarında yakıtlara yağlara, yağlayıcı maddelere ve gazlara dayanıklı olup yaşlanma, yorulma ve aşınmaya dayanıklıdırlar. Nitril kauçukların diğer kauçuklarla karışabilme oranı karıştırılan kauçuğun polaritesi ile alakalıdır. Bu yüzden polar yapıda NBR kauçuğun, polar olmayan diğer kauçuklarla uyumu çok iyi olmamaktadır. Şişme özelliği önemli olmadığı durumlarda SBR ile yüksek oranlarda karıştırılması sunucu ekonomik karışımlar oluşturmaktadır. Bu şekilde yapılan karıştırma işlemleri mekanik özelliklerin zayıflamasına neden olur (Savran, 2001).

Başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- Gaz sızdırmazlık contaları
- Yakıt hortumları, hidrolik hortumu, yangın hortumu v.b
- Matbaa, tekstil sanayinde sert ve yumuşak silindir kaplamaları
- Fren parçaları
- Yağa dayanıklı konveyör kayışları
- Kazan boru ve pompalar

iv) Etilen-Propilen Monomer (EPM) ve Etilen-Propilen Dien Monomer (EPDM) Kauçuklar: Ticari olarak ilk kez 1963 yılında üretilmeye başlanmıştır. EPM etilen ile propilenin kopolimerizasyonu ile üretilmektedir. Kopolimer EPM amorf ve tamamen doymuş bir yapıdadır. Bu yapı koordinasyon katalizörlerinin varlığında, etilen ve propilenin kopolimerizasyonu sonucu elde edilir. Kopolimer EPM organik peroksitlerle çapraz bağlar oluşturur. Diğer polimerlerle karışabilme olanağı yoktur. Terpolimer EPDM, etilen ve propilenin yanı sıra üçüncü bir dienin reaksiyona katılması ile meydana gelmektedir. Dien'in reaksiyona katılması sonucu zincirde çift bağ yani doymamışlık oluşmaktadır. Bu durum peroksitlerin yanı sıra kükürtle vulkanizasyonu ve diğer polimerlerle karıştırılabilme imkanını sağlamaktadır (ExxonMobil Chemical, 2000).

EPDM Kauçukların en büyük özellikleri:

- Isı, ışık ve oksidasyona karşı mükemmel dayanıklılık gösterir.
- Yüksek dolgu ve yağ alabilme özelliğinden düşük maliyette karışımlar oluştururlar.
- Sulu ve konsantre asit ve alkalilere dayanıklılık gösterirler.
- Düşük yoğunluklu olduğu için hafif malzemeler üretmek mümkündür.
- İyi dielektrik özellikler vermektedir (Savran, 2001).

1.1.3. Kauçuk Ürün Üretim Aşamaları

Kauçuk ürün üretim prosesi, üretilecek ürün türüne bağlı olarak değişmektedir. Her ürün için spesifik bir üretim şekli olmasına rağmen, proses temeli ortak işlemlerden oluşmaktadır.

Temel işlemler aşağıda verilmiştir:

1. Hamur karıştırma
2. Hamur ön şekillendirme
3. Presleme veya Ekstrüzyon
4. Vulkanizasyon (Kauçuğun pişmesi)
5. Finisyon (Son kontrol ve bitim işlemi)

1.1.3.1. Hamur Karıştırma

Kauçuk karışımları, imal edilen ürünün karakteristiklerine göre, farklılık taşırlar. Kauçuk karışımının (hamurunun) üretimi, bileşenlerin kombinasyonu için kullanılan internal mixer **(**karıştırıcı) içinde daha önceden tartılan ve yükleme yapılan bileşen maddelerin karıştırılmasından oluşur. Karışımda kullanılan katkı maddeleri kauçuk karışımı kısmında kısaca tanıtılmıştır. Polimerler ve çeşitli kimyasal maddeler, madde depolama sisteminden karıştırma makinası içine manuel olarak ilave edilirken, karbon siyahı(dolgu maddesi) ve yağlar genelde direkt olarak enjekte edilirler. Makine içerisinde 2 adet rotor ve bu rotorlara dikey baskı uygulayan bir çekiç olması, hamurun homojen bir kütle yapısında olmasını ve karışımını sağlar.



Şekil 1.1. Kauçuk Hamur Karıştırıcısı (http://www.hf-mixinggroup.com/)

1.1.3.2. Hamur Ön Şekillendirme

Müşteri ve/veya üretimin ihtiyacına göre de dizayn edilebilen Ön şekillendirme makineleri genelde silindir çapına göre anılır, ve içine konulabilecek hamur miktarına göre de sınıflandırılır, silindir çapları değişkendir. Ön şekillendirme makineleri genellikle ürün gramaj ve hassasiyetlerini kendisi otomatik olarak ayarlayabilmektedir. Makine üzerinde entegre edilmiş hassas özel bir terazi ile bu gramaj ayar işlemi gerçekleştirilir. Aynı zamanda proses süresince bu terazi, kesilen parçaların ağırlığını yeniden kontrol etmek için de kullanılabilir.

Hamur karıştırma işleminden sonra mixerden çıkan kauçuk hamuru kütlesi, hamur ön şekillendirme (tabakalaşma veya çeşitli boyutlarda parçalara bölünme) için bu prosese girer. Bu proseste sıcak kauçuk su bazlı anti-tack (yapışma engelleyici) solüsyondan geçirilerek, ortam sıcaklığına soğutulur. Yapıştırma sonrasında kauçuk tabakaları oluşur. Kauçuk tabakaları, soğuk hava veya soğuk su uygulamaları ile soğutmaya tabi tutulur ve istiflenir.

Kauçuk hamuru, hamur yapım dairesinden alındıktan sonra bundan sonraki işlemler için temiz ve uygun bir depoda muhafaza edilir. Doğal olarak henüz çapraz bağlanmamış olan bu karışımın saklanmasında uyulması gereken kurallar vardır. Kauçuk hamurunun yapıldıktan bir gün sonra kullanılmasının ürün kalitesini yükselteceği, kauçuk sektöründe bilinmektedir.



Şekil 1.2. Hamur Ön Şekillendirme (http://www.prodicon.it/en/products/)

1.1.3.3. Presleme veya Ekstrüzyon

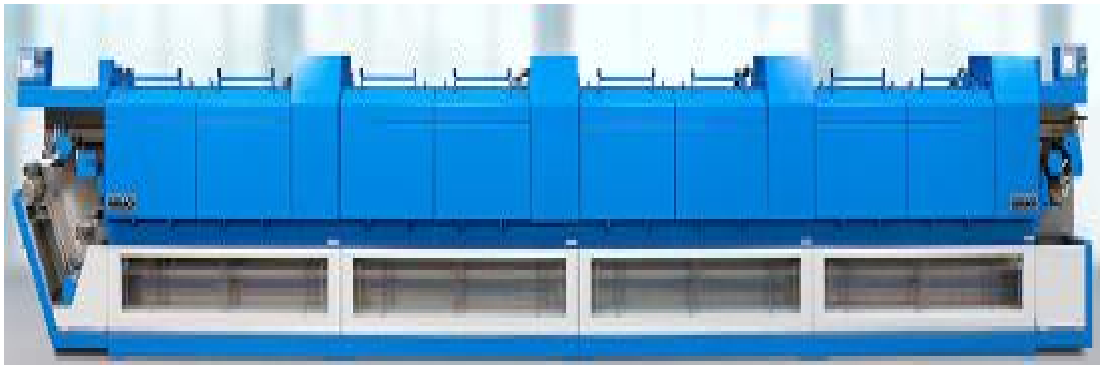
i) Presleme: Presler, kauçuğu değişik şekillere veya profillere dönüştürürler. Pres kalıbına yerleştirilen kauçuk hamuru, yüksek basınç ve sıcaklık altında hamurun vulkanizasyon zamanına göre belirli bir süre işlem görür ve nihai ürüne dönüştürülür. Bazen de metalli parçalar ve kauçuk aynı anda prese konarak, metalli kauçuk parçaları üretilir. (Örneğin; anti-vibrasyon parçaları, Otomotiv fitilleri vb) Pres makineleri tonajlarına göre değişmektedir. Preslenen kauçuk ürünleri beyaz eşya sektörü, güneş enerji sektörü, otomotiv sektörü gibi farklı sektörlerde kullanılabilir.



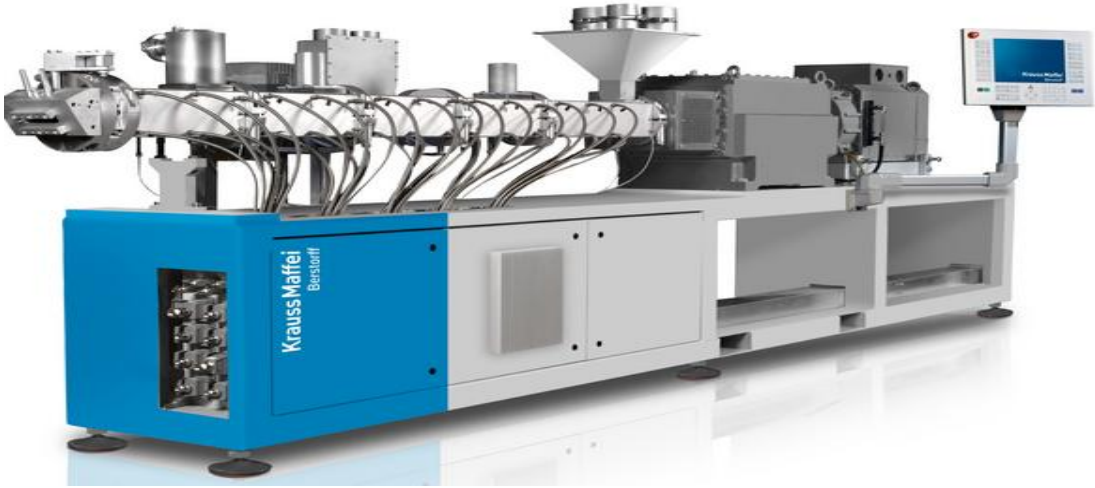
Şekil 1.3. Pres Makinesi (http://www.directindustry.com/)

ii) Ekstrüzyon: Kauçuk sektöründe bu yöntem malzemenin biçimlendirilmesinde kullanılan önemli bir şekil verme yöntemidir. Hamurdan istenilen şekli elde etmek için tasarlanmış kalıbın ısıtılması ve kovan'ın önüne yerleştirilmesinin ardından, kontrollü bir basınçla kalıbın içinden geçirilerek istenilen şeklin çıkması sağlanır.

Ekstrüzyon hattı; ekstrüder, ön çekici, mikrodalga fırın, sıcak hava tüneli, soğutma ünitesi gibi bölümlerden oluşur. Kauçuk konveyor bant sayesinde mikrodalga fırın içerisinde ilerler. Hamur dairesinden gelen kauçuk hamur bu proseste yüksek frekanslı UltraHigh Frekans ışınları, homojen sıcaklık ve basınca tabi tutularak vulkanizasyon işlemini gerçekleştirir. Ekstrüderde şekil almış kauçuğun bu hattan geçme hızını ise (m/sn), kauçuk hamur karışımının reometrik testleri sonucu ortaya çıkan vulkanizasyon eğrisi belirler.



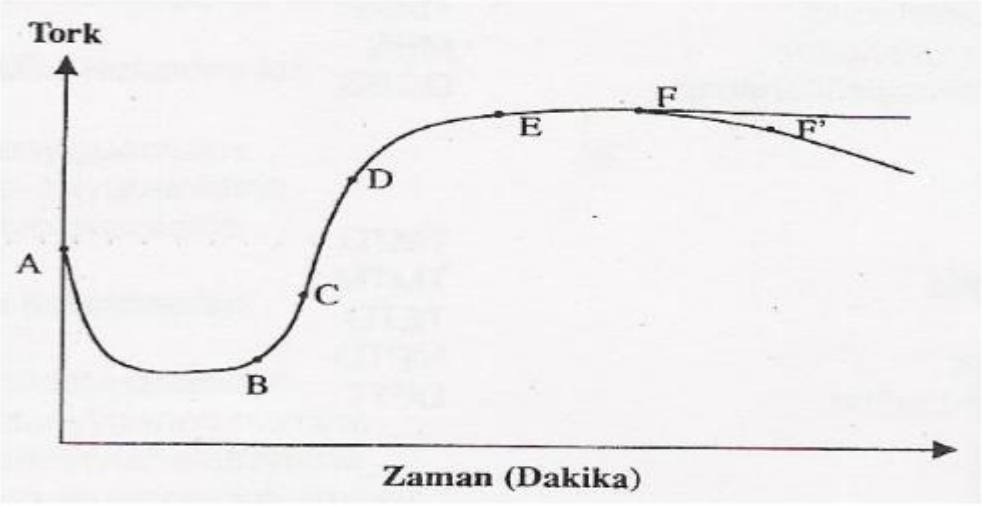
Şekil 1.4. Mikrodalga Fırın (http://www.gerlach-maschinen.de/)



Şekil 1.5. Ekstrüder (www.kraussmaffeigroup.com)

1.1.3.4. Vulkanizasyon

Tüm kauçuk ürünleri, vulkanizasyona girerler. Elastomerlerin ya da en bilinen adıyla kauçukların farklı bir yapısının elde edilmesi vulkanizasyon ile sağlanır. Vulkanizasyon modern endüstrinin en önemli teknolojilerinden biridir (Verlag, 1989). Vulkanizasyon, ısıtılan basınçlı kalıplarla, sıcak hava ve mikrodalga fırınlarla veya çeşitli akışkan yatak ünitelerinde yapılır. Vulkanizasyon prosesi süresince kauçuktaki polimer zincirleri, elastik ve termoset kauçuğa yani nihai ürün formuna, çapraz bağlarla dönüşür. Vulkanizasyon prosesinin temeli, polimer moleküllerinin çapraz bağlı ağ yapısına dönüşümü ve kauçuk makromoleküllerini birleştiren kimyasal bağlar ya da köprüler kurulmasını sağlamaktır (Kuriakose, 2001). Çapraz bağ oluşumu kauçuğun elastomerik özelliklerinin oluşumunun başlıca koşullarından biridir. Kauçuktaki çapraz bağ sayısının artışı, kauçuğun elastikiyet kalitesinin de arttığını ifade eder. Vulkanizasyon birçok yolla gerçekleştirilebilir ama en bilindik yolu kükürt vulkanizasyonudur. Vulkanizasyon reaksiyonu sırasında zamanı kısaltarak en önemli görevi hızlandırıcılar üstlenir (Kuriakose, 2001). Hızlandırıcı olmadan sadece kükürt ile vulkanizasyon uzun saatler gerektirir ve ticari olarak karlı değildir (Decker, 1997). Vulkanizasyon sonrası kauçuk; sert, yapışkan olmayan, yüksek mukavemet, düşük kalıcı deformasyon, ısıdan az etkilenme ve elastik gibi özellikler elde eder.



Şekil 1.6. Vulkanizasyon Eğrisi (Savran, 2001)

AB : Akma zamanı (hamur plastiktir, yumuşar ve kalıba akar)

BC : Yanma zamanı (kükürt halkası açılarak polimeri etkilemeye başlamıştır)

CD : Yetersiz vulkanizasyon (çapraz bağlanmaların başladığı zaman. Kükürt halkası açılıp yeni bağlar kuruyor)

DE : Optimum vulkanizasyon (vulkanizasyon için en uygun zaman)

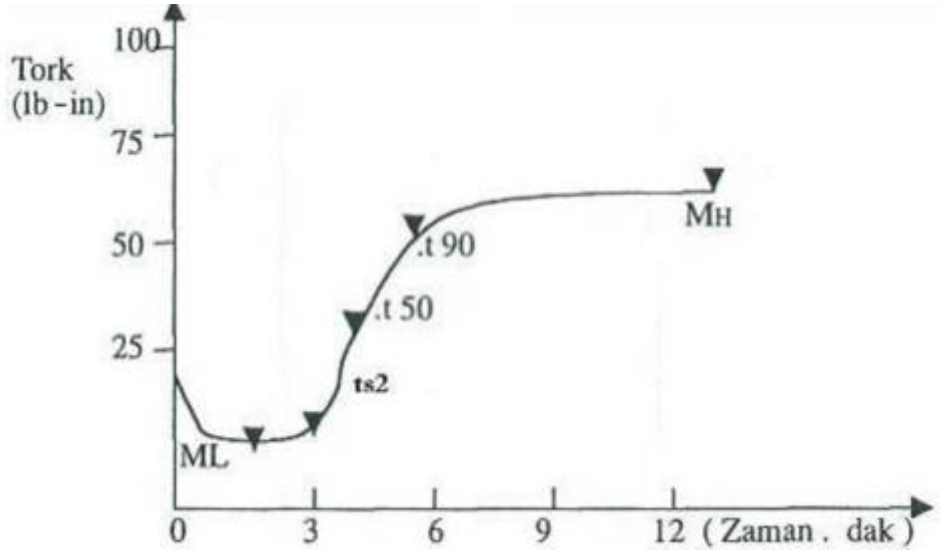
EF : NBR'de sertleşme, kükürt bağlarının kısalması ve esnekliğin azalması.

EF' : NR'de karbon karbon bağlarının açıldığı durum ve fiziksel özelliklerde düşme.

Bu eğrinin en önemli parçası CD parçasıdır. CD parçasının eğimi, vulkanizasyon hızını verir. Eğim ne kadar dik ise, vulkanizasyon o kadar hızlı olur. AB'nin uzunluğu çalışma emniyetini ifade eder. Tercih edilen uzun akma zamanı ve dik CD eğrisidir.

Karışımın vulkanizasyon özelliklerini ölçen ve vulkanizasyon eğrisini kaydeden cihazlara reometre denir. Reometre, karışıma yüksek sıcaklık ve basınç altında salınım gerilimi uygular ve çapraz bağ yoğunluğundaki artışın sonucu olarak torktaki (rotasyon merkezine belli bir mesafeden etki eden kuvvettir, moment kuvveti) artışı zamanın bir fonksiyonu olarak gösterir. Tork birimi N-m ya da Ib-in (pounds inch)'tir.

Reometrede test edilecek parça, pozitif bir basınç ve sürekli yüksek sıcaklık altında çift konik diski içeren test boşluğuna yerleştirilir. Boşluk kapanır ve disk salınım (1,7 ±0,1 Hz) yapmaya başlar. Kauçuğun katılığına bağlı olarak salınım için bir güce ihtiyaç duyar. Bu güç (tork) zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Kaydedilen tork bir denge ya da maksimum değere ulaştığında tamamlanmış bir eğri gözlenir. Vulkanizasyon eğrisi için gerekli olan zaman test sıcaklığı ve kauçuk özelliklerinin bir fonksiyonudur (http://vatanlar.wordpress.com).



Şekil 1.7. Vulkanizasyon Değişkenleri (http://vatanlar.wordpress.com).

ts_2 : Pişme başlangıcı zamanı, birimi dakika:dakika ya da dakika: saniye'dir.

ML : Minimum viskozite, birimi N-m ve ya Ib-in (pounds-inch)'tir.

MH : Maksimum tork, birimi N-m ve ya Ib-in (pounds-inch)'tir.

t_{90} : Maksimum pişmeye ulaştığındaki zaman, birimi dakika:dakika ya da dakika: saniye'dir (http://vatanlar.wordpress.com).

Bu parametreler reolojik parametreler olarak adlandırılmaktadır. Cisimlerin yük, şekil değiştirme ve zaman faktörleri altındaki davranışlarını inceleyen bilim dalına reoloji denmektedir(http://tr.wikipedia.org/wiki/Reoloji). Bu parametrelerden ; ML, karıştırma koşullarıyla ilgilidir. Ts_2, proses güvenliğini belirlemede yardımcıdır. t_{90}, üretim esnasında pres süresini ya da ekstrüzyon süresini belirlemede yardımcıdır. MH ise gerilme, yırtılma ve kopma dayanımı gibi özellikler hakkında bilgi vermektedir.

1.1.3.5. Finisyon

Vulkanizasyon sonrasında gelen finisyon işlemi, vulkanize olmuş kauçuk ürünün temizlenmesini, gereksiz kauçuk parçalarından arındırılmasını, ürünlerin müşteri isteklerine göre belirlenen boylara kesilmesini, delinmesini, tırtıklanmasını veya kauçuk ürünlerin başka bir kauçuk hamuru ile alın kaynak işlemine tabi

tutulmasını ifade eder. Kauçuk sektöründeki işletmelerde bu operasyonlar için finisyon bölümleri bulunmaktadır. Bu işlemler genellikle el becerileri iyi olan operatörler ve otomasyon makineler ile yapılmaktadır.

1.2. Problemin Tanımı

İşletmeler ürün ve süreçlerinin kalitesini iyileştirerek ve maliyetleri azaltarak müşterilerinin mevcut ve gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlayarak piyasadan en önemli payı almaya çalışırlar. Bu iyileştirmeler sırasında süreçlerin etkinliğini ve verimliliğini farklı koşullarda tasarlanmış deneylerde test ederler. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgularla süreci optimize edebilmek için hangi faktörleri nasıl değiştireceklerini öğrenirler.

Deney tasarımı kalite kontrol sürecinin temel araçlarından birisi olarak süreçlerin optimize edilmesinde kullanılır. Bu teknik, yetmiş yılı aşkın zamandır istatistikçiler tarafından geliştirilen, sınırlı sayıda deneyden mümkün olduğunca çok yararlı bilgi elde etmeyi hedefleyen bir bilgi toplamıdır. Deney tasarımı, sürecin incelenen kalite karakteristiğine etki eden kontrol edilebilir değişkenlerin değerlerini sistematik olarak değiştirerek süreç performansını etkileyecek değişken değerlerini belirlemede kullanılan bir tekniktir (Montgomery, 2005).

Dünyada ve ülkemizde bir çok sektörde uygulanan ve efektif sonuçların elde edildiği bu teknik bir süreç iyileştirme tekniğidir. Bir deney için tasarımda; problemin genel amacının, incelenecek girdi değişkenlerinin ve düzeylerinin, deneyin çıktı değişkeninin, deneyin nasıl yapılacağının ifadesinin ve uygun analiz yöntemlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Gürsakal, 2005).

Deney tasarımında ilgilenilen durumlar faktör olarak adlandırılmaktadır. Bir deneyde birden fazla faktörün söz konusu olduğu durumlarda faktöriyel tasarım kullanılmaktadır. Faktöriyel tasarım, her bir faktörün seviyelerinin tüm mümkün kombinasyonlarının denemeye tabi tutulmasıdır. Başka bir ifade ile, tam faktöriyel deney tasarımı en az iki veya daha fazla faktör ve bu faktörlere parametrelere ait en az iki veya daha fazla seviyelerin bulunduğu deneylerde seviyelerin birbirleri ile çarpımları ile oluşan kombinasyondur (Lazic, 2004).

Bu çalışma kauçuk sektöründe faaliyet gösteren, kauçuk ürün üreten bir işletmenin kauçuk hamur üretme sürecinde yapılmıştır. Yurt içinden veya yurt dışından satın alınan hammaddeler son teknoloji ile donatılmış olan işletmenin ar-ge laboratuvarında gerekli standartlara göre test edildikten sonra her biri farklı reçeteye sahip olan hamurların üretimde kullanılırlar. İşletmenin hamurhane departmanında üretilen hamurlar vulkanize olacağı prosese yani nihai ürüne göre ekstrüzyon hatlarının veya pres makinelerinin bulunduğu üretim bölümlerine teslim edilir. Bu bölümlerde kauçuk ürün üretme süreçlerinden ilgili proseste üretilen kauçuk ürünü nihai haline dönüştükten sonra sevkiyata hazır ürün olarak depoya teslim edilir.

Hamurlar reçetelerine göre belirli oranlarda kimyasal ve dolgu maddesi kullanılarak oluşturulmaktadır. Hamur üretimi sonrası yapılan reometre testinden elde edilen prarametreler kauçuğun vulkanizasyon süreci için bilgi vermektedir. Bu bilgiler bir sonraki aşama olan ekstrüzyon üretimindeki değerleri simule etmek için kullanılmaktadır. Ekstrüzyon üretimindeki parametreler (sıcaklık, basınç, hattın hızı vb.) bu değerlere göre set edilmektedir. Ekstrüzyon üretiminde kontrol edilebilen faktörlerin etkisini minimize etmek, üretimin hızını belirlemek dolayısıyla ürünün maliyetini belirlemek ve verimli bir üretim yapabilmek için bu parametreler çok önem arz etmektedir.

Çalışmanın yapıldığı işletmede, standart bir reçetede bulunan ve vulkanizasyon sürecinin hızında etkili olan, üç farklı kimyasal maddenin uygun seviyedeki karışım oranlarıyla yapılan üretimlerinden en uygun olanının seçilerek reometre parametrelerin optimizasyonunun sağlanması, problemin konusunu oluşturmaktadır.

Literatürde tanımlanmış problemlerde, özellikle kauçuk sektöründe tam faktöriyel deney tasarımı ile reolojik performans parametrelerinin optimizasyonuna rastlanmamıştır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Üretim süreçlerinde optimum parametrelerin belirlenmesi ve istatistiksel süreç kontrollerinin uygulanması için deneysel tasarımlar ve deney süreçlerinin optimizasyonu çok önemlidir.

Bu çalışmada EPDM kauçuk hamuru için standart test reçetesinin üretilmesi sürecinde deney tasarımı yaparak elde edilen yarı mamulde (hamurda) değişkenlik (hedef değerden olan farklılık) meydana getiren kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin en iyi seviyelerinin seçilmesi ve performans parametrelerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır.

Kontrol edilebilen faktörler, reçetedeki aktivatör, akselaratör ve pişirici grubu olarak belirlenmiştir. Bu yardımcı kimyasallar vulkanizasyon sürecininin etkinliğinde çok önemli rol oynamaktadır. Performans parametreleri olarak hamurun viskozitesi (ML, Tork), hamurun sertliği (MH, Tork), hamurun pişmeye başlama zamanı (Ts_2, Dakika) ve hamurun % 90'ının pişmesi için gereken süre (T_{90}, Dakika) belirlenmiştir. Çalışmanın bir diğer amacı ise; T_{90} (hamurun optimum pişerek ekstrüzyon hattından geçmesi gereken süre) parametresinin minimize edilerek üretim verimliliğinin artırılmasıdır.

1.4. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada ticari bir amacı olmayan, maksimum kaliteyi hedefleyen bir reçete olarak standart test formülasyonu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan faktörler vulkanizasyon sürecine etki eden aktivatör, akselaratör ve pişirici'dir. Üç faktörlü ve iki seviyeli faktöriyel tasarım yapılarak bütün deneysel üretimler, bu reçetede ve bu faktörlerin düşük ve yüksek seviyesi için yapılmıştır. Bu reçete kullanılarak hem deneme maliyetleri minimize edilmiş hem de faktörlerin etkisi dana net olarak görülmüştür.

İdeal kauçuk reçeteleri yaklaşık 300-400 Phr ağırlığında bulunmaktadır yani 100 birim kauçuğa yaklaşık 200-300 birim dolgu ve/veya yardımcı kimyasalların eklenmesi ile oluşmaktadır. Bu çalışmada standart test formülasyonunun reçetesi kullanılarak 100 birim kauçuğa yaklaşık 50-75 birim dolgu malzemesi ve/veya kimyasallar ilave edilerek üretimler yapılmıştır. Elde edilen verilerle regresyon analizi yapılarak reometrik parametrelerin matematiksel fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu verilerle optimizasyon modeli kurularak modelin çözümü elde

edilmiştir. Doğrulama üretimi yapılarak matematiksel modelin sonucu test edilmiş ve tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

1.5. Çalışmanın Adımları

Çalışmanın adımları;

1. Belirlenen çalışma konusu hakkında daha önce yapılan çalışmaların araştırılması ve yapılan çalışmalarda dikkate alınan faktörlerin, oluşturulan tasarımların, çözüm yöntemlerinin ve kullanılan programların incelenmesi,
2. Problemin literatürdeki çalışmalardan farklı yönlerinin ortaya konulması,
3. Çalışmanın amacına yönelik prosesteki performans parametrelerin belirlenmesi,
4. Parametreleri etkileyen faktörlerin ve faktör seviyelerinin belirlenmesi,
5. Deney tasarımının yapılması,
6. Performans istatistiklerinin belirlenmesi,
7. Deneylerin yapılması ve sonuçlarının kaydedilmesi ,
8. Verilerin istatistiksel analizinin yapılması, parametreler arasındaki matematiksel ilişkinin çıkarılması,
9. En iyi parametre kombinasyonunun belirlenmesi,
10. Optimizasyon için matematiksel modelin kurulması,
11. Optimizasyon modelinin çözümü,
12. Optimizasyon modelinin test edilmesi için doğrulama deneylerinin yapılması,
13. Sonuçların yorumlanması,
14. Gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulması şeklinde sıralanabilir.

1.6. Orjinal Katkılar

Bu çalışmada kauçuk sektöründe EPDM kauçuk hamurunun standart test reçetesinde faktöriyel tasarım ve matematiksel modellemeye dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Vulkanizasyon prosesinde etkili olduğu düşünülen faktörlerin (Aktivatör, Akseleratör, Pişirici) etkilediği performans parametreleri ile arasında regresyon analizi yapılarak performans parametrelerinin matematiksel fonksiyonları ortaya konmuştur. Matematiksel modelleme yardımıyla EPDM kauçuk test reçetesi için performans parametrelerinin optimum değerleri hesaplanmıştır.

1.7. Çalışmanın Organizasyonu

Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde sırasıyla; ikinci bölümde deney tasarımı ve optimizasyon, kauçuk karışımları ve kauçuğun vulkanizasyon prosesi üzerine yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde toplanan veriler, tezde kullanılan materyaller ve metotlar açıklanmıştır. Dördüncü bölümde kullanılan metotlar ve yapılan uygulama sonucu elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalara önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma konusu ile ilgili yapılan literatür taraması deney tasarımı ve optimizasyonun birlikte kullanıldığı çalışmalar, kauçuk ve kauçuğun vulkanizasyon prosesinde yapılan çalışmalar olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

2.1. Deney Tasarımı ve Optimizasyon Literatür Taraması

Deney tasarımına (DT) ait yapılan çalışmalar incelenirken deney tasarımlarının faktöriyel versiyonları da ele alınmıştır. Deney tasarımlarını dikkate alan çalışmalar hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

DT yöntemi, 1920'lerde, ünlü İngiliz İstatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca, deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "varyans analizi" yöntemini de geliştirmiştir.

DT yöntemi 1930'larda Sir Ronald Fisher tarafından geliştirildikten sonra ilk kez, değişkenliğin azaltılması için Taguchi tarafından kullanılmıştır. Taguchi tarafından geliştirilen kalite sistemi 1950'li yıllarda savaş sonrası Japonya'nın telefon sistemi üzerinde yeniden yapılanma sürecinde uygulanmış ve son derece başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Saat, 2000).

Nachtsheim (1987), bilgisayar destekli deney tasarımı için geliştirilen bilgisayar programlarını incelemiş ve bu programların gelişimlerinde kolay kullanımlarının önemli bir rol oynadığını belirtmiştir. Nachtsheim (1987), bu yazılımları üç gruba ayırmıştır; klasik tasarımların oluşturulması için kullanılanlar, klasik ve optimal tasarımlar için kullanılanlar, tepki yüzeyi (Response Surface) deneysel optimizasyonu için kullanılanlar. Basit tasarımların tasarım ve analizlerinin istatistikçi olmayanlar için zaman alıcı ve zor olduğunu, pratik hayatta her zaman istatistikçilere başvurulamayacağını belirtmiştir.

Taylan (2009)'a göre, Ross ve Sykes (1989), "Sıcak Damgalama Sürecinin En İyilenmesi" isimli çalışmalarında tasarım aşamasının yaklaşık iki ayda bitmesi düşünülen bir sıcak damgalama sürecinin tasarım aşamasında taguchi yöntemini

kullanmışlardır. Dört tanesi iki seviyeli, bir tanesi ise dört seviyeli olan beş faktörün performans karakteristiğine olan etkilerini araştırmak için yapılan uygulamada $L_8(2^7)$ ortogonal dizinini kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda imalat aşaması dahil tüm çalışmalar bir aya düşürülmüş ve şirket büyük bir oranda kar sağlamıştır.

Yang ve Tarng (1997), Tornalama işlemleri için kesici parametrelerini optimize ettiği çalışmalarında S45C çelik barların tornalanmasında kesici takım parametrelerinin en iyi seviyelerinin belirlenmesi için Taguchi metodunu kullanmışlardır. Her biri üç seviyeli üç temel faktörün tornalama işlemi üzerindeki etkilerini görmek için $L_9(3^4)$ ortogonal dizinini kullanmışlardır. Deneylerden elde edilen veriler ise varyans analizi yardımıyla analiz edilmiştir.

Kağnıcıoğlu (1998), çalışmasında Taguchi yöntemi ele alınarak termik santrallerden çıkan kükürt dioksit gazının giderilmesi için sitrat yönteminin kullanılması araştırılmıştır. Yöntemin en iyi sonuçları Taguchi yöntemi yardımıyla bulunmuştur. Amaç sitrat yönteminin en iyi sonuçlarının alınabilmesi için üç ayrı performans istatistiğinin en iyilenmesidir. Çalışmada $L_{18}(2^1 3^7)$ ortogonal dizini kullanılmıştır ve uygulama sonucunda çevre kirliliği ve maliyetlerde düşme olacağı öngörülmüştür.

Dovey ve Matthews (1998), çalışmalarında matkap uçlarının PVD tekniği kullanılarak TİN kaplaması uygulamasında, performans istatistiği olarak kayıp fonksiyon ele alınmıştır. Yapılan Taguchi yöntemi uygulaması sonucunda, kaplama maliyetlerinde %25 oranında bir artış olmasına rağmen matkap uçlarının paslanmaya karşı olan dayanımlarında %40'lık bir kalite sağlanmıştır.

Montgomery ve Runger (1999), Mühendisler için uygulamalı istatistik ve olasılık kitabında deneylerin tüm mühendislik ve bilimsel disiplinlerde gerçekleştirildiğini ve sistemlerle proseslerin nasıl çalıştıklarının önemli unsurlar olduğunu ifade etmişlerdir. Bir deney sonrasında tespit edilen çözüm ve önerilerin geçerliliğinin geniş bir anlamda deneyin nasıl oluşturulduğuna dayandığını, böylece bir deneyin tasarımının problemin nihai çözümünde ana rol oynadığı vurgulanmıştır.

C.Y. Nian ve ark. (1999), Taguchi deney tasarımı metodu ile L_9 deney tasarımı kullanılarak kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği faktörleri

incelenerek takım ömrü, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri optimize edilmiştir.

Saat (2000), Taguchi yöntemi hakkında genel bir bakış açısı sağlamıştır. Saat makalesinde, kalite geliştirme sürecine giren her işletmenin Taguchi'nin deney tasarımı yönteminden yararlanabileceğini ancak Taguchi'nin bu yaklaşımının Toplam Kalite Yönetiminin (TKY) bir parçası olduğunun unutulmaması gerektiğini, bu yüzden de tasarım çalışmalarına girişecek işletmelerin bu yöntemi tek başına kullanmayarak TKY'ni de hayata geçirmeye çalışmasının gerekeceği görüşünü savunmuştur.

Goh (2001), deney tasarımını, geleneksel istatistiksel süreç kontrol teknikleri ile kıyasladığı çalışmasında, deney tasarımı için öncelikle eğitim, öğrenme ve uygulama aşamalarında gerekli ve uygun verilerin elde edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca deney tasarımının diğer teknikler olan Taguchi metodu ve Altı Sigma ile kıyaslamasını da çalışmasına dahil etmiştir.

Chan ve Spedding (2001), bir üretim sistemindeki kalite düzeyinin optimizasyonu konulu çalışmalarında, Altı Sigma kalite düzeyine ulaşılması için deney tasarımı, cevap yüzeyi ve sinir ağı metamodel yaklaşımlarından faydalanmışlardır.

Demir ve Mutlu (2002), çalışmalarında tekstil işletmeleri boyahanelerinde yıkama işlemi sonrası renk değişimini incelemişlerdir. Yapılan çalışma için deney tasarımı geliştirmişlerdir. Deney tasarımı çalışmalarında çıktı değişkeni olarak renk haslığı değerini, girdi değişkeni olarak da yumuşatıcı, fiksatör, kaynatma ve sabunlama parametrelerini ele almışlardır. Yapılan analizler sonucunda faktörlerin renk haslığı üzerinde önemli derecede bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Fığlalı ve Engin (2002), optimum çözümü zor olan (NP-zor), çok makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm performansının artırılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Genetik algoritmanın optimum veya optimuma yakın çözüme ulaşma performansını etkileyen; başlangıç popülasyonu; üreme, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile çaprazlama ve mutasyon oranları gibi parametrelerin uygun değerlerini belirlemeye çalışmışlardır. Taguchi yöntemi ile iki seviyeli, altı faktörlü deney tasarımını L_8 (2^7) ortogonal dizinini kullanarak

uygulamışlardır. Turbo pascal programlama dilinde hazırlanan genetik algoritma programı ile akış tipi çizelgeleme problemleri için bilinen beş ayrı problem üzerinde toplam 1000 adet deney yapmışlardır. Bu deneyler sonucunda akış tipi çizelgeleme problemlerinin Genetik Algoritma ile çözümünde etkili olan parametreler ile Genetik Algoritma'nın çözüm performansını artıracak parametre setlerinin belirlenmesini amaçlanmışlardır.

Baynal (2003), çalışmasında otomotiv endüstrisinin tedarikçi firması tarafından üretilen far kumanda kolu şapkasının baş kısmında meydana gelen bombelik ve parlaklığının giderilmesi ve ağırlık ve boyutunun hedef değerlerde olması amaçlanmıştır. Uygulamada ürünün ağırlığı, görünümü (bombelik ve parlaklık) ve boyutu olmak üzere üç kalite karakteristikli bir problem üzerinde çalışılmıştır. $L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizini kullanılmış, on üç faktörün performans karakteristiği üzerindeki etkileri incelenmiş ve en iyi faktör-seviye kombinasyonu tespit edilmeye çalışılmıştır ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Güral (2003), çalışmasında deney tasarımı ile iyi bir kaynak dikişi elde edebilmek amacıyla prosesi etkileyen parametrelerin optimizasyonunu hedeflemiştir. Yapılan çalışmada çıktı değeri olarak dikiş üst yüksekliği, dikiş üst genişliği ve dikiş alt genişliği değerleri ölçülmüştür. Girdi parametreleri olarak ise akım şiddeti, kaynak gerilimi, kaynak hızı ve serbest tel uzunluğu belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda parametre değerleri optimize edilmiştir. Bu sayede de elektrot kullanımında ve enerji tüketiminde tasarruf sağlanmıştır. İşlem sürelerinde de kısalma sağlandığı için diğer maliyet kalemlerinde de maliyet avantajı sağlanmıştır.

Canıyılmaz ve Kutay (2003), çalışmalarında şalter üretimi yapan bir firmanın, şalter gövdelerinin, kullanıldıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri mekanik darbelere karşı mukavemetlerini arttıracak en uygun proses şartlarının bulunması amaçlanmıştır. Yedi faktörlü iki seviyeli problem L_{16} ortogonal dizinine göre yapılan tasarım deneyleri sonucunda elde edilen veriler analiz edilmiştir ve verilerin analiz edilmesinde "Faktör Etkilerinin Grafiksel Gösterimi (FEGG)" metodu kullanılmıştır. Gerçek sistemden alınan veriler kullanılarak Varyans Analizi Yöntemiyle çözülmüş olan problem, Faktör Etkilerinin Grafiksel Gösterimi Yöntemiyle tekrar çözülerek iki

yöntemin sonuçları karşılaştırılmış ve çalışma sonunda FEGG yönteminin bu çalışma için, varyans analizi yönteminden daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür.

Özdemir ve ark. (2003), çalışmalarında bor üretimi sırasında oluşan katı atıkların neden olduğu çevresel problemleri ortadan kaldırmayı hedeflemişlerdir. Bor üretimi sırasında meydana gelen katı atık maddelerinden olan boraksın maddesinin su ile katı-sıvı özütlemesi yapılarak geri kazanılması hedeflenmiştir. Deney tasarımı geliştirilmiş olup, girdi değişkenleri olarak katı-sıvı oranı, reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklıkları ele alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda girdi değişkenlerinin geri kazanım için optimum sonuçlara ulaşılmıştır.

Taylan (2004)'e göre, Savaşkan ve ark. (2004), "Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu" isimli çalışmalarında metal işleme sanayinde delme işleminin öneminden yola çıkılarak, proses parametrelerinin optimizasyonunun ve matkap uçlarının ömrünün arttırılmasının maliyetlere ve kaliteye olan değer katkılarının bulunması amaçlanmıştır. Bu hedefe ulaşmak için başlıca çıkış noktası, aşınma ve korozyon etkilerini azaltmak, malzemenin yüzey özelliklerini iyileştirmek ve performansı arttırmak olmuştur. Talaşlı imalatta istenilen bu etkiyi yakalamak için en etkili yöntemin yüzey kaplamaları olduğu gözlenmiştir. Sebep-sonuç diyagramından hareketle kesme kuvvetine etki eden faktörler; kaplama malzemesi, kesme hızı ve ilerleme hızı olarak belirlenmiştir. Her biri en düşük, en yüksek ve orta değer olmak üzere eşit aralıklı üç seviyeli olarak ele alınmıştır. Deney sonuçları dinamometre yardımıyla ölçülen kesme kuvveti değerleridir. Çalışma Taguchi L_9 deney tasarımına göre tasarlanmış ve S/N oranlarından yola çıkılarak varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Analize göre Taguchi Deney Tasarımı metoduyla yapılan optimizasyon ve onama deneyleri sonucunda elde edilen değerler yorumlanmıştır.

Ghani ve Choudhury (2004), çalışmalarında üzerine kalsiyum karbür ilave edilmiş AISI H13 sıcak iş takım çeliği üzerinde, P10 sert metal uç takımı kullanılarak yapılan bir tornalama işlemi için kullanılan en iyi tornalama parametrelerinin seçimi için Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmada performans istatistiği olarak S/N oranı kullanılmış ve deneylerden elde edilen sonuçları varyans analizi tekniği kullanarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda en

iyi tornalama parametrelerinin yüksek kesme hızı, düşük ilerleme hızı ve ince talaş derinliği olduğu savunulmuştur.

Akyalçın ve Kaytakoğlu (2005), çalışmalarında, kalorifik değeri düşük ve kükürt içeriği yüksek kömürlerin ülke ekonomisine kazandırılması amacıyla, termik santrallerde yakılması sonucunda oluşan ve havayı önemli derecede kirleten SO_2 gazının giderilmesinde kullanılan, geri dönüşüm yöntemlerinden biri olan sitrat prosesini ele almışlardır. Çalışmada Taguchi metodu kullanılarak Tribazik Sodyum Sitrat (TSS) çözeltisiyle SO_2 giderimine ait en uygun koşullar incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, mevcut proses için en iyi şartların reaksiyon sıcaklığına, gaz akış hızına ve çözelti derişimine bağlı olduğu görüşü savunulmuştur.

Lindler ve Hitzmann (2005), çalışmalarında Fischer bilgi matrisine dayalı olarak enzim kinetiği prosesinin optimum parametre tahminleri için deney tasarımı yaklaşımını geliştirmişlerdir. Enzim kinetiğinde etkili maddelerin bulunması ve hücre içi davranışların tespit edilmesinin önemine odaklanmışlardır. Yapılan analizlerde enzim beslemesinin parametre tahmininde etkin olmadığı, enzimin kimyasal değişimini kolaylaştıran maddenin beslemesinin daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Bayramov ve Taşdemir (2005), çalışmalarında çelik tel narinliğinin ve içeriğinin eğilme halinde çelik tel donatılı betonun kırılma parametrelerine etkisini araştırmışlardır. Geliştirilen deney tasarımında girdi değişkenleri olarak çelik telin tipi, içeriği, narinliği (uzunluk / çap), çekme dayanımı, beton içindeki dağılımı ve matris özellikleri ele alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda daha sünek ve daha düşük maliyetli beton değerlerinin elde edilebileceği optimum değerler elde edilmiştir.

Sakarya ve Göloğlu (2005), çalışmalarında plastik hacim kalıp imalatında cep yüzey işleme uygulamalarında farklı takım yolu hareketleri ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Geliştirilen deney tasarımı modelinde takım yolu hareketleri olarak tek yönlü, zigzag ve spiral hareketler belirlenmiştir. Kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici yanal adımı değerleri de diğer girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar

neticesinde cep işleme için en uygun takım yolunun spiral takım yolu olduğuna karar verilmiştir.

Bilişik ve Gençyılmaz (2006), çalışmalarında, eğitim kurumlarındaki sınıf içi eğitim ve öğretim faaliyetlerinin kalitesini arttırmak amacıyla en uygun ders anlatım yönteminin belirlenmesini amaçlamışlardır. Yüksek öğrenim kurumunda yapılan çalışmada en uygun yöntemin belirlenmesinde L_9 ortogonal dizini kullanılarak Taguchi Deney Tasarımı yaklaşımından faydalanmışlardır.

Demir (2006), ısı transferlerinde yüzey ile onu çevreleyen akışkan arasında kullanılan kanatların ısı transferini daha verimli bir şekilde gerçekleştirebilmesi amacıyla deney tasarımı gerçekleştirmiştir. Çalışmasında kare ve dairesel kesitlere sahip iğne kanatlarını delikli ve deliksiz olmak üzere gruplamıştır. Sıcaklık üzerinde etkili olduğunu düşündüğü diğer parametreler olan kanat yüksekliği, reynold katsayısı ve kanatlar arası mesafe değerleri için çalışmalarını yapmıştır. Çalışmaların sonucunda her bir alternatif kanat şekli için optimum değerler saptanmıştır.

Kopaj ve Krajnik (2007), enjeksiyon kalıpları için alüminyum alaşımlı dökme plakaların alın tornalama parametlerini çok amaçlı optimizasyon problemi olarak ele almış ve Taguchi metodu ile L_{18} ortagonal dizisini kullanarak optimize edilmiştir. Ayrıca eş zamanlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri bileşkesi minimize edilerek talaş kaldırma oranı arttırılmıştır.

Havuz (2007), çalışmasında ham anod çamuru içerisindeki kurşun maddesini gidermek için deneysel çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında kurşun maddesinin anod çamurundan giderilebilmesi için konsantrasyon parametrelerinin optimum değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Durmaz (2008), kauçuk prosesine Taguchi metodu uygulanarak kalite kayıpları önlenmeye çalışılmıştır. Uygulama yapılan firmanın problemi, imalatını gerçekleştirmiş olduğu ürünlerin istenen müşteri memnuniyetini sağlamayarak iade edilmesidir. Bu durumda amaç, ürün dayanıklılığını etkileyen faktörlerin üretim aşamasındaki en iyi değerini bulmak olmuştur. Göz önüne alınacak olan kalite karakteristiği ürün mukavemetidir. Ürünü ve prosesi etkilediği düşünülen yedi kontrol edilebilen faktör belirlenmiş, L_{16} ortogonal dizisi seçilmiş, denemeler beşer kez tekrar edilmiş ve hata faktörlerinin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma

sonucunda hatalı çıkan ürün sayısının, en iyi üretim şartları sağlandığında %60 azaldığı savunulmuştur.

Yang ve ark. (2008), çalışmalarında torna tezgahlarında delme işlemlerinde yüksek saflıkta grafit elde edebilmek için makine parametrelerini optimize etmek için deney tasarımı geliştirmişlerdir. Çalışmada yiv genişliklerindeki farklılıklar ve yiv içerisindeki alt düzlemin sertlik değerleri incelenmiştir. Girdi değişkeni olarak da kesme hızı, besleme oranı ve kesme derinliği ele alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda besleme oranı parametresinin yiv genişliğindeki farklılıklarda ve yiv içerisindeki alt düzlemin sertlik değeri üzerinde en önemli faktör olduğu kanısına varılmıştır.

Erler ve ark. (2008), çalışmalarında %12,5 kalınlığa sahip bir eliptik profil ve NACA 0015 kanat kesidi üzerine yerleştirilen sentetik jetlerin akış üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında deney tasarımı geliştirmişler ve girdi değişkeni olarak da jetin hızı, yeri, açısı ve frekansını incelemişlerdir. Eliptik profil için sürükleme kuvveti, kanat kesidi için ise kaldırma ve sürükleme kuvvetleri oranı çıktı değişkeni olarak ölçülmüştür. Yapılan analizlerde optimum değerler saptanılmaya çalışılmıştır.

Öztürk ve Kaya (2008), çalışmalarında %40 ofsetli çarpışmaya maruz kalan otomobil ön tampon ve darbe emici sisteminin absorbsiyonunu incelemişlerdir. Çalışma için deney tasarımı oluşturulmuş ve çalışmada araçlarda güvenlik elemanlarından birisi olan tampon ve darbe emici modeli üzerinde çarpışma analizleri yapılmış ve darbe emiciler üzerinde burkulma başlatıcı bölgelerin etkisi incelenmiştir. % 40 ofsetli bir çarpışma modeli için burkulma başlatıcı bölge sayısının absorbe edilen enerji miktarına etkisi görülmemiş ancak maksimum tepki kuvvetini azalttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca düşük araç ağırlıkları için minimum ağırlık için optimum sac et kalınlığı belirlenmiştir.

Kırış ve ark. (2009), bir motora ait hava aralığı hata sayısı ile bunun toplam üretim hacmi içerisindeki payının yüksek olması sonucu oluşan ilgili kalite karakteristiklerini tespit ederek Taguchi yöntemi ile iyileştirme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir.

Kasman (2009), çalışmasında lazer oyma tekniği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemek adına deney tasarımı yaklaşımını geliştirmiştir. Çıktı değişkeni olarak yüzey pürüzlülüğü ele alınmıştır. Girdi değişkeni olarak da ışın tarama hızı ve güç değerleri ele alınmıştır. Yapılan analizler neticesinde yüzey pürüzlülüğü değerlerini en iyi kılacak girdi değişkeni değerleri bulunmuştur.

Yükseloğlu ve Gültekin (2009), oksijen bazlı ağartıcı temizlik maddelerinin pamuklu kumaşlardaki sararma üzerine etkisini incelemek için deney tasarımı yöntemini kullanmışlardır ve olumlu sonuç almışlardır.

Çopur ve ark. (2010), çalışmalarında 3 mm elek altı uleksitin yüksek basınçlı bir reaktörde CO_2 ile doyurulmuş sularda çözünürlüğünün optimizasyonu incelenmiştir. Sıcaklık, katı-sıvı oranı, basınç, tane boyutu ve zaman bu sistem için parametreler olarak belirlenmiştir. Optimizasyon için Taguchi metodu uygulanmış ve sıcaklık 120°C, basınç, 20 bar, katı-sıvı oranı 0,4 g/mL, tane boyutu 150 μm, karıştırma hızı 500 rpm optimum şartlar olarak belirlenmiştir.

Hasgül (2010), 2^3 faktöriyel tasarımların kullanımına ilişkin gıda sektöründe yaptığı çalışmasında ısıl işlem ile farklı üretim koşullarında pişirilen ürünlerin ağırlığını etkileyen faktörler ve bunların uygun üretim düzeyleri belirlenmiştir. “Urfa Kebap” ürününün ağırlık özelliğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ürünün ağırlığını etkileyen ve etkisi araştırılacak faktörler belirlenmiştir. Bu faktörler; pişirme süresi, pişirme sıcaklığı ve fan hızıdır. Belirlenen tasarım düzeninde göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen gözlem değerleri ortalama, grafik ve varyans analizi ile değerlendirilmeye alınmıştır. Analizler sonucunda %95 güven düzeyinde etkili faktör ve etkileşimler belirlenmiş, çizilen yüzey grafikleri sonucunda düzey önerisinde bulunulmuştur. 3,5 dk. Pişirme süresinde, 225 °C pişirme sıcaklığında ve 500 (1/dk) fan hızı ile çalışılması sonucunda ürünlerin ağırlık değerlerinin yüksek olacağı tespit edilmiştir.

Baynal ve ark. (2012), çalışmalarında klasik deney tasarım metoduyla ortodontik uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılan NiTi, β-Ti ve FeCrNi alaşımlarının flor ve asit katkılı Fusuyama çözeltisi içerisinde 14 ve 28 günlük etkileşimleri sonrasındaki korozyon davranışları analiz edilmiştir. Varyans analizi ve hipotez testleri ile parametreler arası etkileşim irdelenmiş ve grafiklerle de ifade

edilmiştir. Çalışmada 3^k çok faktörlü deney tasarımı kullanılmıştır. Diş teli türü 1. faktör, çözelti türü 2. faktör ve çözelti içinde bekleme süresi (gün) ise 3. faktör olarak seçilmiştir. Yapılan analizler sonucu, tel türü ve çözelti-tel türünün anlamlı bir etkileşiminin olduğu ortaya konulmuştur. En fazla aşınmanın asit içeren modifiyeli fusuyama çözeltisinde ve β-Titanyum alaşımı telde gerçekleştiği ifade edilmiştir.

Cronholm (2013), geliştirdiği yaklaşımda varyasyon modu ve etki analizi ile iki seviyeli faktöriyel deney tasarımını birlikte kullanarak bir kamyonetin yakıt tükemi üzerinde çevresel faktörlerin etkisini araştırmıştır.

Mangili ve ark. (2014), yaptıkları çalışmalarında 2^4 ful faktoriyel tasarım ile CO_2 'in kauçuğun devulkanizasyon sürecindeki etkisi araştırılmıştır. Ömrünü tamamlamış kauçuğun difenil disulfid ile tekrar vulkanizasyona girebileceği belirtilmiştir. Yapılan deney tasarımında sıcaklık, basınç, reaktif miktarı, tepkime süresi ve etkileşimlerin sürece olan etkisi araştırılmak istenmiştir. Çalışma sonunda, sıcaklık, difenil disulfit ve sıcaklık-difenil sulfid etkileşiminin bu proseste önemli parametreler olduğu savunulmuştur ve tepkime zamanı basınç ve diğer etkileşimlerin etkisinin bu proseste ihmal edilebilir olduğu ortaya konmuştur. Bu çalışmayla devulkanizasyon sürecinin enerji tasarrufu sağlanarak daha düşük bir basınçta gerçekleştirilebileceği kanısına varılmıştır.

Literatür incelendiğinde deney tasarımı ve optimizasyon tekniklerinin süreç iyileştirmede sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu da konunun güncelliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmalarda deney tasarımı ile düşük maliyetli tasarımlar oluşturmak ve optimizasyon yönetimiyle performans parametrelerini en iyilemek temel amaç olarak ele alınmıştır. İncelendiği kadarıyla önceki çalışmalarda kauçuğun hamur üretme sürecinde vulkanizasyon parametrelerinin optimize edilmesi problemine rastlanmamıştır.

2.2. Kauçuk ve Vulkanizasyon Prosesi Literatür Taraması

Çalışma kapsamında faktöriyel deney tasarımı ile standart bir reçeteye sahip Etilen-Propilen Dien Monomer (EPDM) kauçuk hamurun vulkanizasyon prosesindeki reometrik parametrelerin optimizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Bu

nedenle kauçuk hamur karışımında bulunan kimyasalların, vulkanizasyona olan etkilerini dikkate alan veya bu çalışmaya katkıda bulunabilecek, kauçuk hakkındaki çalışmalar incelenmiş ve aşağıda belirtilmiştir.

Tokita ve ark. (1968) , Etilen-Propilen Monomer (EPM) ve Etilen-Propilen Dien Monomer (EPDM) polimerleri için başlangıç viskozitesinin bir fonksiyonu olarak maksimum gevşeme zamanı ile ağırlıkça E/P oranı arasındaki ilişki araştırılmıştır. EPM 'de etilen-propilen ağırlıkça oranı 60/40' ın altında olduğunda gevşeme zamanının yalnızca molekül ağırlığının bir fonksiyonu olduğu görülmüştür. Ağırlık oranı 60/40'ın üzerinde olduğunda etilen etkisinin meydana geldiği ve gevşeme zamanının aniden artarak en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrılma sıcaklığının yaklaşık 50 ^{O}C olduğu bulunmuştur. EPDM polimerinin polimerizasyon kinetiğinde, termonomer özelliklerinin, uzun, dallanmış zincir içine girmede önemli bir faktör olduğu anlaşılmıştır.

Boldwin (1972), EPDM vulkanizatlarının yapılarının tanımlanmasında akseleratör tipi ve konsantrasyonu, pişme süresi ve sıcaklığı ve stearik asit konsantrasyonu gibi pişirim değişkenlerinin rolü araştırılmıştır. Stearik asitin vulkanizasyon için yararlı bir katkı maddesi olduğu bulunmuştur. Stearik asit konsantrasyonunun 0-4 phr (per hundred rubber) arasında artmasıyla pişmenin daha hızlı olduğu ve polisülfidik çapraz bağlanmanın azaldığı görülmüştür. Düşük yüzdeli polisülfidik çapraz bağlanma içeren vulkanizatlar oluşturmak için pişme süresinin uzatılması ya da düşük sülfür ve düşük sülfür/akseleratör oranı gerektiği bulunmuştur.

Fujio ve ark. (1978), EPDM ve Divinil Benzen (DVB) bileşimlerinin peroksit pişirimi üzerine sülfür etkisi araştırılmıştır. EPDM (veya EPM) ve DVB bileşimleri, sert vulkanizatlar elde etmek, oldukça iyi mekaniksel özelliklere sahip olmak ve yüksek çapraz bağlanma yoğunluğu sağlamak için peroksit ile pişirilmiştir. EPDM ve DVB bileşimlerinde az miktarda kükürt kullanımı yaşlanma öncesi esneklik katsayısı ve kopma enerjisini önemli derecede arttırmıştır. Kükürt eklenmesiyle çapraz bağlanma artmış ve bunun sonucunda dinamik mekaniksel özekliklerin ve şişme davranışının iyileştiği gözlemlenmiştir. Elektron mikroskopisi çalışmaları sülfür içeren vulkanizatların dispersiyon durumunun sülfürsüz pişirilen

vulkanizatlardan daha iyi olduğunu göstermiştir. Sülfür miktarı fazla kullanıldığında DVB' nin yetersiz polimerizasyonu sonucu vulkanizatların esneklik katsayısının önemli derecede azaldığı görülmüştür.

Van Den Berg ve ark. (1983a) , Etiliden norbornan'dan (ENBH) vulkanizasyon ürünlerinin yapısı tanımlanmıştır. EPDM için model olan ve Etiliden norbornen (ENB) içeren ENBH'ın sülfür, çinko oksit, stearik asit, tetrametiltiuramdisülfit (TMTD) ve merkaptobenzotiazol (MBT) içeren sistemde vulkanizasyonu açıklanmıştır. Vulkanizasyon işlemi 140 ^{o}C ' de 1 saat yapılmıştır. Ayırma metodu olarak yüksek performanslı sıvı kromotografisi (HPLC) ve tanımlayıcı metot olarak proton magnetik rezonans (1H-NMR) kullanılarak her bir bileşiğin yapısı tanımlanmıştır.

Van Den Berg ve ark. (1983b) , Etiliden norbornan'dan vulkanizasyon ürünleri üzerine sıcaklık ve zamanın etkisi araştırılmıştır. Vulkanize olmuş EPDM'de kükürt çapraz bağlanmaları üzerine vulkanizasyon sıcaklığının ve zamanın etkisi düşük moleküler model olarak ENBH (C9H14) bileşiği kullanılarak çalışılmıştır. Vulkanizasyon şartları 180, 160, 140 ve 120 ^{o}C'de 60 dakika ve 140 ^{o}C'de 60,30,15,5 dakika olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda daha yüksek sülfit çapraz bağlanmaları yerine disülfidik çapraz bağlanmaların oluşumunun tercih edildiği, daha yumuşak vulkanizasyon şartları altında (60 dakika 120 ^{o}C'de veya 140 ^{o}C'de 5 dakika) bağlanmaları hemen hemen olmadığı ve pentasülfidik çapraz bağlanmaların en fazla olduğu görülmüştür.

Botros ve ark. (1997) , Butil/Akrilonitril Bütadien kauçuk karışımının özellikleri incelenmiştir. Karışımın pişme davranışları, vulkanizatların fizikomekaniksel özelliklerinin yaşlanma ve yağ direnci özellikleri aydınlatılmıştır. Elektrik yalıtım uygulamaları dielektrik sabiti ve dielektrik kaybı ölçülmüştür. Karışım içindeki NBR oranının artmasıyla maksimum tork artarken minimum tork ve pişme süresi azalmıştır. Kopma anında uzama ve gerilme kuvveti arttıktan sonra azalarak minimuma düşmüştür.

Erkek (2007) bildirdiğine göre, Buzare ve ark. (2000) , organik peroksit ile hızlı vulkanizasyon sisteminde ve sülfür ile konvansiyonel sistemde vulkanize edilen dolgusuz ve karbon siyahı dolgulu doğal kauçuk üzerine termal oksidatif

yaşlandırma ve ağ oluşumunun etkisi katı hal 13C-NMR spektroskopisi ile araştırılmıştır. Çeşitli vulkanizatlarda gözlenen cis-trans izomerizasyonu ve farklı sülfit yapıları tanımlanmıştır. Farklı pişirim sistemlerinde doğal kauçukta meydana gelen farklı çapraz bağlanmalar NMR ile aydınlatılmıştır.

Erkek (2007) bildirdiğine göre, Suzuki ve ark. (2004) , silika dolgulu SBR vulkanizatları için gerginlik-kuvvet davranışı üzerine kauçuk/dolgu maddesi etkileşimini, deformasyon sırasında kauçuk moleküllerinin zincir hareketleri ile ilgili olarak araştırılmıştır. Kauçuk/dolgu maddesi etkileşimi çeşitli türde silan bağlanma ajanı kullanılarak silika yüzeylerinin değiştirilmesiyle kontrol edilmiştir.

Essawy ve ark. (2004), diferansiyel tarama kalorimetri (DSC) elektron tarama mikroskopi (SEM), fiziko-mekaniksel özellikler ve reometrik ölçümler kullanılarak montmorillonite kilinin dolgu maddesi olarak, Akrilonitril Bütadien Kauçuğu (NBR) ve Stiren Bütedien Kauçuğu (SBR) karışımı üzerine kuvvetlendirici ve bağdaştırıcı etkileri incelenmiştir. Bunun için montmorilonite kilinden SBR-NBR karışımına farklı oranlarda eklenmiştir. Optimum pişme süresi (t_{90}) ve scorch süresinde (ts_2) önemli derecede azalma görülmüştür. Bu durum pişme oranı indeksinin (CRI) artmasıyla desteklenmiştir. Dolgulu karışımlarda kopma anındaki gerilimin 2.5-5 kez daha yüksek olduğu ve toluen içinde şişme direncinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Erkek (2007), yapmış olduğu çalışmasında C-siyah/dolgumaddesi ve C siyah/yağ oranının farkl vulkanizasyon sistemlerinde, (EPDM, NBR, SBR) fiziko mekaniksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Kükürt ve peroksit vulkanizasyon sistemlerindeki denemelerde diğer tüm bileşenler sabit tutulurken, C-siyah miktarı 10 phr arttırılarak isteğe uygun ürün elde etmede C-siyah/yağ ve C- siyah/dolgu maddesi oranlarnın belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. C-siyahının, güçlendirici dolgu maddesi olarak tüm kauçuklar için fiziko-mekaniksel özellikleri geliştirdiği, C-siyahının en olumlu etkisinin EPDM'in kükürtlü vulkanizatlarında görüldüğü ve C- siyah miktarının artışının yeni bağ oluşumuna katkı sağlamadığı görüşleri savunulmuştur.

Marancı (2009), çalışmasında, bir plastik malzeme olan EPDM (Ethylene-Proplylene-Diene terpolimer) kauçuğun metale yapışma mukavemetine, değişik

yüzey kalitelerinin ve değişik yapıştırıcı cinslerinin yapışmaya olan etkisi araştırılmıştır. Farklı dolgu oranlarında üretilen birbirinden farklı 5 tip EPDM kauçuğunun içinden belirlenen bir tanesi ile metal ve kauçuk birleştirmenin çekme, kayma ve kopma gerilemeleri hesaplanmıştır. İncelenecek yapıştırma yüzey durumları metalin yüzeyinde yapılan farklı taşlama ve talaş alma yöntemleri ile elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülükleri değiştirilen metal numuneler çeşitli yapıştırıcılarla kauçuğa yapıştırılmış ve yapışma mukavemetleri tespit edilmiştir. Ayrıca mukavemetlerin farklılığının tespit edilebilmesi açısından kauçuk kauçukla, metal metalle ve metal alüminyumla yapıştırılarak aynı cins yapıştırıcıların farklı tip malzemelerdeki etkileri de değerlendirilmiştir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde kauçuk kimyası üzerine birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Kauçuğun vulkanizasyon sürecinde farklı kauçuk türlerinin ve kauçuk karışımlarının bu süreçteki etkilerini araştıran çalışmalar da yapılmıştır. Ancak incelendiği kadarıyla vulkanizasyon sürecindeki reolojik parametrelerin fonksiyonel ilişkilerinin çıkarılması ve matematiksel model kurularak bu parametrelerin optimize edildiği bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

3.MATERYAL VE METOD

3.1.Materyal

Çalışmanın uygulaması Adana-Tarsus yolu üzerinde bulunan ve kauçuk sektöründe faaliyet gösteren Seçil Kauçuk San. ve Tic. A.Ş ' de gerçekleştirilmiştir.

Seçil Kauçuk Fabrikası 1983 yılında güneş enerjisi bağlantı elemanları üretim ve pazarlama şirketi olarak kurulmuştur. Ürün yelpazesini aldığı kalite belgeleriyle geliştiren Seçil kauçuk 2000 yılında yeni fabrika inşaatını tamamlayarak pazardaki yerini güçlendirmiştir. 2002 yılında beyaz eşya sızdırmazlık malzemeleri üretmeye başlayarak uluslar arası pazara açılmış ve ihracatını artırmıştır. 2005 yılında alt yapı sızdırmazlık malzemeleri üretimine başlamıştır. 2005 yılında toplam kalite yönetimi (TKY) felsefesinin, stratejik yönetim ilkeleriyle işletme yönetimini ve EFQM öz değerlendirme sürecini hedef alan uygulamalar başlatmıştır. 2011 yılında TS16949 kalite belgesinin alınmasıyla da otomotiv sektörüne yönelik yatırımlara ve kalite çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Şu an otomotiv sektöründe de başarıyla üretimine devam etmektedir.

Tam entegre bir tesis olan Seçil Kauçuk San. ve Tic. A.Ş ‘nin yaklaşık 40.000 metre kare kapalı alanı, 66.200 metre kare yerleşim alanı bulunmakta ve 560 personele istihdam sağlamaktadır. Seçil kauçuk 30.000 ton / yıl hamur kapasitesi, 25.000 ton/yıl ekstrüzyon kapasitesi ve 300 ton/yıl enjeksiyon/pres kapasitesine sahiptir.

Bu çalışma işletmenin kauçuk hamur üretme sürecinde yapılmıştır. İşletmenin hamur üretme sürecinin akışı aşağıdaki gibidir:

1. Üretim planlama bölümü tarafından iş emrinin hazırlanması,
2. ERP sisteminden alınan toplu malzeme çekme listesinin hammadde depo bölümüne gönderilerek koltuk ambarı için hammadde talebinin yapılması,
3. İş emri ve formül föylerine (reçetelerine) göre otomatik besleme sistemi ve dozajlama sistemine gerekli formül föyü ve iş emri verilerinin girilmesi,

4. İş emri ve formül föylerine göre otomatik besleme sistemi silolarına dolgu maddelerinin yüklenmesi,
5. İş emri ve formül föylerine göre kauçuk ve diğer küçük kimyasalların tartımı, silolardan gelen hammaddelerin ve tanklardan gelen yağın otomatik tartımının ve silolarda olmayan hammaddelerin manuel tartımının yapılması,
6. Tartımı yapılan hammaddelerin üretim alanına aktarılması,
7. Otomatik besleme haricinde tartılan malzemelerin hat dozaj sisteminden geçirilerek tartı kontrollerinin yapılması,
8. Tartımların uygunluğunun kontrol edilmesi,
9. Standart çalışma koşulları ve hamur üretim metotlarına göre mixer ve diğer makine ayarlarının yapılması,
10. Tartımı yapılan hammaddelerin ve otomatik besleme sisteminden gelen hammaddelerin hamur üretim metotlarına göre mixerde karışımı,hamur üretiminin başlaması,
11. Hamurun stokblender makinesinde silindirlerde karışımı,
12. İlk hamur reometre değerlerinin kontrol edilmesi,
13. Hamurun standart çalışma koşularına uygun olarak batch off sistemine aktarılması,
14. Batch off sonundaki ERP bilgisayarına barkod bilgilerinin girilmesi,
15. Batch off sonunda hamurun arabalara/paletlere istiflenmesi,
16. Reometre kontrollerinin yapılması,
17. Uygun arabaların hamur stok alanına aktarılması,
18. ERP sisteminden üretim raporlarının alınması,
19. ERP sistemi el terminali ile etiketlerin okutularak hamurun üretim departmanına sevkiyatının yapılması.

Çalışma kapsamında deneme üretimleri ve doğrulama üretimleri deney tasarımı tekniğiyle oluşturulan kombinasyonlara göre aşağıdaki reçete üzerinde yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan Standart EPDM Kauçuk Reçetesi

BİLEŞENLER	PER HUNDRED RUBBER (PHR)
EPDM Kauçuk	100
Karbon Siyahı	50
Parafinik Yağ	10
Aktivatör (A)	3 - 7
Akseleratör (B)	0,6 - 1,5
Pişirici (C)	1 - 2

Bu reçete'de Kauçuk, Karbon Siyahı ve Parafinik yağ miktarı sabit tutularak A-B-C kimyasallarının düşük ve yüksek seviyeli (-1, 1) miktarlarının olduğu reçetelerden her biri yaklaşık 1,5 kg ağırlığında hamurlar üretilmiştir. Reçetedeki kimyasalların ağırlıkları phr cinsinden grama çevrilerek hesaplanmıştır. Örneğin 165 phr ağırlığındaki reçete de bulunan 100 phr kauçuk yaklaşık 909 gramdır (165 phr 1,5 kg olarak kabul edilerek).

Çizelge 3.2. Üç Kimyasalın Düşük ve Yüksek Seviyeli Karışım Kombinasyonları

Aktivatör (A)	Akselaratör (B)	Pişirici (C)
-1	-1	1
-1	-1	-1
-1	1	-1
-1	1	1
1	-1	1
1	-1	-1
1	1	-1
1	1	1

A için düşük seviye (-1), 3 phr, yüksek seviye (1) ,7 phr,

B için düşük seviye (-1), 0,6 phr, yüksek seviye (1) , 1,5 phr,

C için düşük seviye (-1), 1 phr, yüksek seviye (1) , 2 phr'dir. Yukarıdaki 8 farklı kombinasyon kullanılarak 3 tekrarla 24 adet deneme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim reçeteleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 3.3. Gerçekleştirilen Deneme Üretimlerindeki Reçeteler

REÇETE	KAUÇUK (PHR)	KARBON SİYAHI (PHR)	PARAFİNK YAĞ (PHR)	AKTİVATÖR (PHR)	AKSELERATÖR (PHR)	PİŞİRİCİ (PHR)
1	100	50	10	3	0,6	2
2	100	50	10	3	0,6	1
3	100	50	10	3	1,5	1
4	100	50	10	3	1,5	2
5	100	50	10	3	0,6	2
6	100	50	10	7	0,6	2
7	100	50	10	7	0,6	1
8	100	50	10	3	1,5	2
9	100	50	10	7	1,5	1
10	100	50	10	7	0,6	2
11	100	50	10	3	1,5	2
12	100	50	10	7	1,5	2
13	100	50	10	7	0,6	2
14	100	50	10	7	1,5	1
15	100	50	10	3	0,6	1
16	100	50	10	7	0,6	1
17	100	50	10	7	1,5	2
18	100	50	10	3	0,6	1
19	100	50	10	3	0,6	2
20	100	50	10	7	1,5	2
21	100	50	10	3	1,5	1
22	100	50	10	7	1,5	1
23	100	50	10	7	0,6	1
24	100	50	10	3	1,5	1

3.1.1. Çalışmada Kullanılan Makineler ve Test Cihazı

Hamur üretimi yapılmadan önce her bir reçeteye göre içerisindeki bileşenler hassas terazide tartılarak hazırlanmıştır. Reçeteler tam faktöriyel tasarımdaki üretim sırasına göre üretilmiştir. Hamur üretimlerinde Kapalı hamur karıştırma makinesi ve Açık mil makinesi kullanılmıştır. Daha sonra üretilen hamurlardan sertlik plakası çıkartılarak reometre cihazında test edilmiştir.

3.1.1.1 Kapalı Hamur Karıştırma Makinesi

Kapalı karıştırma makinesinin setup ayarları yapıldıktan sonra makine üretime hazır hale gelmektedir. Makinenin ağız kapağı açılınca ilk önce EPDM ve aktivatör grubu makinenin besleme ağzından içeriye bırakılmıştır. Maddeler, yatık olan ağızdan kapalı olan ve içinde aksi yönde dönen rotorun bulunduğu karıştırma

haznesine dolarak karıştırılmaya başlanmıştır. Yaklaşık 50-60 saniye sonra diğer dolgu maddeleri ilave edilmiştir ve Sıcaklık 100+/- 5 civarına geldiğinde akselaratör ve pişirici grubu karışıma ilave edilerek karıştırma işlemine devam edilmiştir.

Makinede bulunan rotorların üzerinde özellikle yapılmış olan kanatlar, haznenin tabanına düşen karışım ve maddeleri kapıp tekrar yoğurma işlemini gerçekleştirmektedir. Bu arada iki rotorun üzerinde bulunan ve tepedeki pistonla basan tokmak, gelen maddeleri rotorların arasına itmekte ve böylece karışımı sağlamaktadır. Makinenin çevrimi sonrası alt kapaktan karışmış olan hamur düşmektedir.

Tipik bir kapalı hamur makinesi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kapalı Hamur Karıştırma Makinesi (MEGEP, 2008).

3.1.1.2 Açık Mil Makinesi

Kapalı hamur karıştırma makinesinde karıştırılan hamur daha sonra bu makineye alınarak hamura sıfırlama işlemi yapılmıştır. Yani kimyasalların homojen bir şekilde karıştırılması sağlanılmıştır. Makinede bulunan sert dökümden yapılmış

iki silindir paralel olarak birbirine doğru dönmektedir. Ezilmeyen küçük kimyasallar bu makinede bulunan silindir sayesinde ezilerek homojen bir karışım oluşması sağlanmıştır.

Tipik bir Açık mil makinesi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Açık Mil Makinesi (MEGEP, 2008).

3.1.1.3. Reometre Cihazı

Üretilen hamurlar reometre cihazında test edilmiştir. Yapılan testlerin sonucunda ekstrüzyon üretimini simule eden 200 ^{0}C deki değerler kayıt altına alınmıştır. Üretilen hamurlarda ölçülen reometre değerleri Çizelge 3.4' te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Üretilen Hamurların Ölçülen Reometre Değerleri

REÇETE NO	ML (N-m)	MH (N-m)	TS2 (Dakika)	T90 (Dakika)
1	3,58	25,67	0,24	1,38
2	2,47	21,93	0,31	1,26
3	2,67	24,52	0,32	0,9
4	2,9	29,8	0,3	0,97
5	3,5	25,5	0,22	1,37
6	4,02	28,72	0,24	1,9
7	4,13	22,59	0,27	1,28
8	2,92	30,1	0,33	1
9	2,55	25,42	0,3	0,91
10	4	28,64	0,25	1,86
11	2,88	29,59	0,29	0,98
12	3,26	30,55	0,27	1,13
13	4,06	28,88	0,24	1,91
14	2,57	24,48	0,33	0,89
15	2,5	21,85	0,33	1,24
16	4,15	22,63	0,26	1,25
17	3,28	30,6	0,28	1,16
18	2,44	21,95	0,3	1,22
19	3,56	26,01	0,23	1,39
20	3,24	30,56	0,29	1,12
21	2,66	24,48	0,31	0,85
22	2,54	25,44	0,29	0,9
23	4,11	22,57	0,28	1,27
24	2,7	24,8	0,33	0,92

Tipik bir Reometre cihazı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Reometre Cihazı (http://www.alpha-technologies.com).

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

Çalışmada, Minitab 16.0 istatistiksel analiz programı ve Design Expert 9.0 programı kullanılarak üç faktörlü, iki seviyeli ve üç replikasyonlu deney tasarım matrisi oluşturulmuştur. Deney tasarımı matrisine göre deneme üretimleri yapılmıştır. Yapılan üretimler test edildikten sonra elde edilen veriler Excell veri tabanına kaydedilmiştir.

Excell veri tabanında veriler gruplandırıldıktan sonra bu veriler, deney tasarımının analizi ve matematiksel modelin oluşturulması için tekrar Minitab 16.0 ve Design Expert 9.0 programlarında değerlendirilmiştir. Elde edilen matematiksel modelin çözümü için bir optimizasyon programı olan Lingo 14.0 paket programı kullanılmıştır. LINGO, LINDO Sistem Inc. Şirketi tarafından üretilmiş, doğrusal, tamsayılı ve doğrusal olmayan matematiksel modelleri çözebilen, duyarlılık analizi yapan bir en iyileme yazılımı ve modelleme dilidir (LINGO Kullanım Kılavuzu, 2003).

3.2. Metod

Çalışmada ilk olarak dikkate alınan problem tanımlanarak ortaya konulmuştur. Problem ortaya konulduktan sonra çözüm için gerekli veriler belirlenmiş ve toparlanmıştır. Problem belirlenirken deney tasarımı ve optimizasyon yöntemleri incelenmiştir. Problemin çözümüne yönelik deneme ve doğrulama üretimleri yapılmış ve veriler toplanmıştır. Problemin çözümünde tam faktöriyel deney tasarımı, matematiksel modeller, istatistiksel analizler ve optimizasyon modelleme metodları kullanılmıştır.

3.2.1. Deney Kavramı ve Deney Tasarımı

Bir şey öğrenmek veya bir düşüncenin doğruluğunu kanıtlamak amacıyla yapılan gözlemlere “deney” denmektedir (Anagün, 2000).

Deney, kontrol altındaki çeşitli durumların/koşulların, deney birimlerinin bilinmeyen karakteristik özellikleri üzerindeki etkisini test etmek amacıyla uygulanan bir işlem (veya süreç) olarak tanımlanabilir (Şenoğlu, 2010).

Ürün veya sürecin geliştirilmesinde iki durumla karşılaşılmaktadır (Anagün,2000):

1. Ürünün veya sürecin ilgilenilen performans karakteristiğini en iyi değere getirecek parametrelerin belirlenmesi,
2. Ürün veya süreç için eşdeğer performans düzeyini verecek şekilde daha ucuz alternatif tasarım, malzeme ya da yöntemin bulunması.

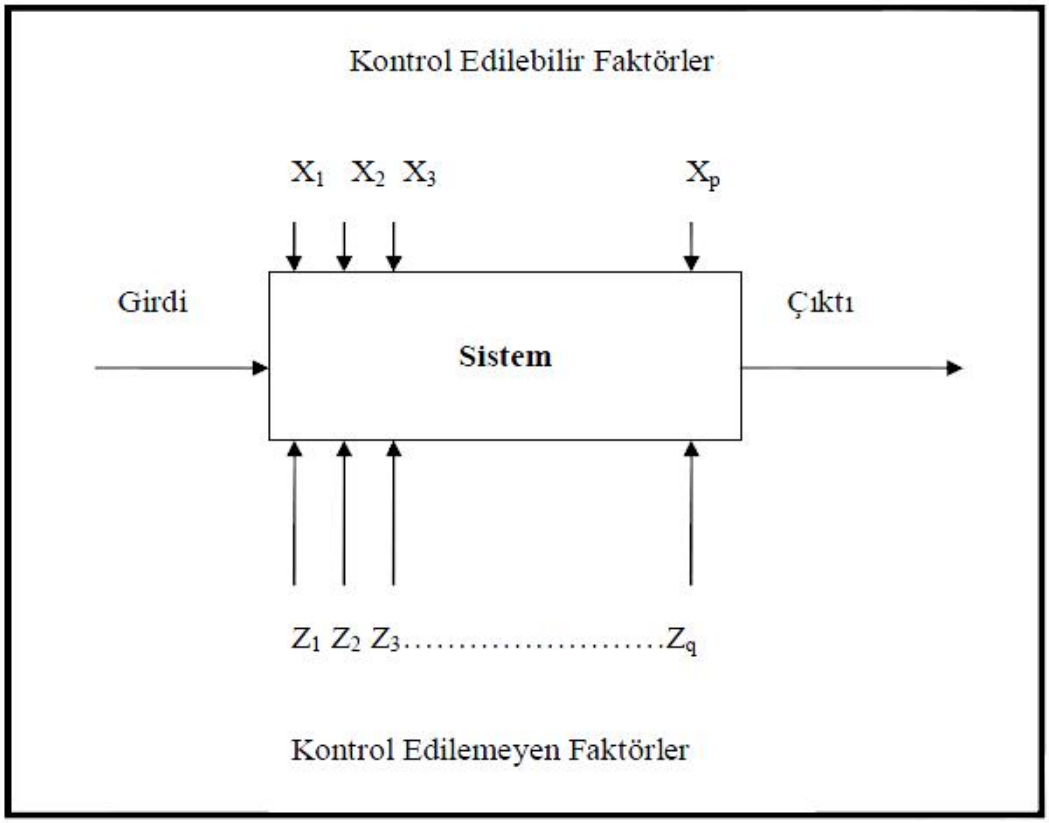
Bu iki durumda performansın geliştirilmesi için deneyler yapılır. Bir deney, iki işlem ortalamasının karşılaştırılması gibi basit bir uygulama gerektirebileceği gibi, çok karmaşık bir deney tasarımının uygulanmasını da gerektirebilmektedir.

Deney tasarımı (DT) 1920'lerde İngiliz istatistikçi “Sir Ronald Fisher” tarafından tarım alanında üretim verimini arttırmak amacıyla araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Yöntem özellikle tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama yüzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır (Şırvancı, 1997).

DT, daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları, 1970’lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amerika’da imalat sektörü, 1980’lerin başında, deney tasarımını Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deneyin tasarımı, o tarihlerde Japonya’da Profesör Geniçi Taguchi’nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmıştır. Taguchi, deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemiştir. Ancak, üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır (Şirvancı, 1997).

DT, bir prosesteki girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi, elde edilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanabilir (Besterfield vd., 1995).

Proses optimizasyonunda, proses değişkenlerinin tanımlanmasında ve prosesteki değişkenliğin azaltılmasında DT önemli bir yöntemdir. Bir sistemin veya sürecin genel modeli Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bir sistem veya sürecin genel gösterimi (Lunani vd., 1997).

Proses değişkenlerinden X_1, X_2, …, X_P kontrol edilebilir değişkenler ve Z_1, Z_2, ... , Zq kontrol edilemeyen değişkenler olarak adlandırılır (Lunani vd. 1997).

DT teknikleri, yeni bir proses geliştirmede ve performans arttırma amacıyla mevcut prosesi düzeltmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Burada amaç, sağlam (robuts) bir proses geliştirmektir. Asıl istenen değişkenliğin kaynağı olan, kontrol edilemeyen değişkenlerin (Z_1, Z_2 ..., Z_q) etkisinin en az olduğu prosesi geliştirmektir (Montgomery, 1991).

3.2.2. Deney Tasarımının Temel İkeleri

Bloklama, rassallaştırma ve tekrar DT' nin olmazsa olmaz ilkelerindendir. Bu ilkeler deneysel hatanın azaltılması için kullanılmaktadır.

3.2.2.1. Bloklama

Deneyin hassaslığını artırmak için aralarında sistematik farlar bulunan deney birimleri, kendi içinde homojen kendi aralarında heterojen olacak biçimde blok adı verilen gruplara bölünür. Bu işleme bloklama denmektedir. Bloklama yapılarak deneysel hatanın azaltılması hedeflenmektedir (Şenoğlu, 2010).

Bloklamada temel amaç, benzer deneysel birimleri gruplara bölerek, kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimize ederek bloklar içindeki gözlemlerin homojenliğini sağlamaktır.

3.2.2.2. Rassallaştırma

Modern deney tasarımının çok önemli özelliklerinden biri olan rassallaştırma (rasgeleleştirme) R.A. Fisher tarafından geliştirilmiş bir kavramdır. Rassallaştırmayı gerçekleştirmenin bir yolu deney birimlerinin rassal olarak atanmasıdır (Çömlekçi, 1997).

DT ' da deney birimlerinin mümkün olduğunca homojen olması istenir, bloklama kavramı da bu amaca yönelik kullanılmaktadır. Deney birimlerinin arasında yaradılıştan gelen veya çevresel koşullardan kaynaklanan farklılıklar her zaman mevcuttur ve bu farklılklar rasgeledir. Denemeler deney birimlerine rasgele atanmaz/uygulanmaz ise deneme etkileri arasındaki farklar ile hatanın varyansının tahmin değerleri yanlı olur. Deney birimleri arasındaki farklılıkların, ölçüm değerleri üzerindeki sistematik etkisini kontrol altına almak için rasgeleleştirme yapılır. Rasgeleleştirme, deney birimlerinin denemelere atanma olasılıklarının eşit olmasını sağlamaktadır (Şenoğlu, 2010)

Deney kombinasyonlarının ortalamalarının karşılaştırılmasında ortaya çıkabilecek yanlılığın engellenmesi için her deney kombinasyonunun herhangi bir deney birimine atanması olasılığı aynı olmalıdır. Rassallaştırma, deney materyelinin atanmasının ve uygulanmasının rassal olarak belirlenmesidir (Çömlekçi, 1997).

3.2.2.3. Tekrar

Denemelerin atandıkları deney birimi sayısına tekrar denir. Tekrar sayısı birden büyük değilse hata terimi hesaplanamaz.

Tekrarlama, deneylerin aynı faktör düzeyleri ile birden çok yapılması anlamına gelmektedir. Tekrarlama sayesinde değişkenliğin belirlenmesi kolaylaşmaktadır. Hata değişkeninin bulunabilmesi için deneyin iki veya daha fazla sayıda tekrarlanması gerekmektedir. Hata ise, tesadüfler ve deneye dahil edilmeyen kontrol edilemeyen faktörlerin etkisi sonucu oluşmaktadır.

Tekrar sayısının artması, anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilen istatistiksel anlamlılık sınamasının gücünü de arttırmaktadır.

3.2.3. Deney Tasarımının Adımları

Bir DT, ürün ya da süreç performansında olması gereken durumdan sapmaya neden olan söz konusu problemin tanımlanması ile başlayıp, problemin çözümlenip çözümlenmediğinin ortaya çıkarılması ile sona eren aşağıda verilen bir dizi adımda gerçekleştirilir. DT adımları on başlık altında toplanmaktadır (Anagün, 2000) :

1. Problemin Tanımlanması,
2. Amacın Belirlenmesi,
3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi,
4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi,
5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi,
6. Deney Tasarımının Seçilmesi,
7. Verilerin Toplanması,
8. Verilerin Analiz Edilmesi,

9. Sonuçların Yorumlanması,
10. Doğrulama Deneylerinin Yapılması.

Problemin Tanımlanması: Problemin tanımlanması, iyi anlaşılması deney tasarımının en önemli adımlarından biridir. Deney tasarımında, elde edilen verilerin analizinde, deneye başlamadan önce neyin araştırılacağı, verilerin hangi deney tasarımıyla derlenerek hangi teknikle çözümleneceği konusunun çok iyi belirlenmesi gerekmektedir.

Amacın Belirlenmesi: Kontrol edilebilir ve kritik malzeme, süreç değişkenleri belirlenerek, yapılan işlemin, kullanılan yöntemin ürün veya sürece etkisi mevcut durum dikkate alınarak öngörülmektedir. Amaç net ve anlaşılır olmalıdır.

Performans Karakteristiğinin Seçilmesi: Analiz edilen probleme bağlı olarak belirlemek durumunda olduğu performans karakteristiği ölçüm değişkeni olabileceği gibi, özellik belirten bir değişken de olabilmektedir. Performans karakteristiği, ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli performansı sağlayacak özelliklerde olmalıdır.

Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi: Bağımsız değişkenlerin diğer bir adı olan performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi deney tasarımının en kritik aşamalarından biridir. Beklenen durumdaki sapmayı oluşturan her bir kaynağa faktör denmektedir. Bu faktörlerin tam ve doğru olarak oluşturulabilmesi için ürüne ve sürece ilişkin bir akış çizelgesi hazırlanması veya ilgili kişi ve bölümlerin görüşlerinin alınması çok yararlı olmaktadır.

Faktör Düzeylerinin Seçilmesi: İncelenen performans karakteristiğine etki eden faktörler belirlendikten sonra faktör düzeyleri seçilir. Bazı faktörler için sadece iki alternatif durum (Var-Yok, Düşük- Yüksek, gibi) olmakla birlikte, bazıları için ikiden fazla alternatif (100, 1250 ve 1500 rpm, gibi) durum söz konusu olabilmektedir. Faktörler için seçilen düzey sayısı da yapılacak deney tasarımını ve dolayısıyla tasarımdaki her bir deney için gerekli gözlem sayısını etkilemekte ve tasarımda sabit, rassal ve/veya karışık etkilerin oluşmasına neden olmaktadır (Anagün, 2000).

Deney Tasarımının Seçilmesi: Örnek büyüklüğünün, deneylerin yapılış sırasının ve tekrarlama sayısının deneylerin maliyetinin de göz önüne alınarak belirlenmesidir.

Verilerin Toplanması: Performans karakteristiğine etkisi olan faktörler ve uygun tasarım belirlendikten sonra analiz için verilerin toplanması gerekmektedir. Her bir deney için gerekli veriler, rassallaştırma ilkesi temelinde toplanmaktadır.

Verilerin Analiz Edilmesi: Verilerin analizinde, ilgilenilen performans karakteristiğine beklenen yönde etkisi olan faktör ve/veya etkileşimler belirlenir. Daha sonra kritik olan faktör ve/veya etkileşimlerin belirlenmesi amacıyla istatsitiksel analiz metodları özelliklede varyans analizi kullanılmaktadır. Minitab paket programı bu analizleri çok rahat yapabilmektedir.

Sonuçların Yorumlanması: İlgilenilen ürün performansına etkisi olan faktörler ve uygun düzeyler belirlendikten sonra, sadece kritik olan faktör ve/veya etkileşimler yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve analizi yapılır. Analizde, kurulan model temelinde deney için elde edilmiş verilere ilişkin bazı grafikler oluşturulur. Sapmaların tahmin değerlerinin de karşılaştırıldığı analizde, verilerin bir tür kontrol grafiği formatında dağılımına, sapmalar için normal dağılımı temsil edip etmediğini belirtmek için histograma ve sapmalar için normal olasılık grafiğine yer verilmektedir (Anagün, 2000).

Doğrulama Deneylerinin Yapılması: Bu aşamada DT sonucunda belirlenen kritik faktör ve/veya etkileşimlerin ürün performansını etkileyip etkilemediğine bakılır. Faktörlerin uygun düzeyleri belirlenir ve gerekli deney/deneyler yapılırak doğrulama yapılır.

3.2.4. Faktöriyel Tasarımlar

Bir deneyde birden fazla faktörün söz konusu olduğu durumlarda faktöriyel tasarım kullanılmalıdır. Faktöriyel tasarım, her bir faktörün seviyelerinin tüm mümkün kombinasyonlarının denemeye tabi tutulmasıdır. Başka bir ifade ile, tam faktöriyel deney tasarımı en az iki veya daha fazla faktör ve bu faktörlere

parametrelere ait en az iki veya daha seviyelerin bulunduğu deneylerde seviyelerin birbirleri ile çarpımları ile oluşan kombinasyondur (Lazic 2004).

Faktöriyel tasarımlar, zaman ve para tasarrufu sağlamak bakımından , her seferinde bir tane faktörün etkisini araştıran geleneksel tasarımlara göre çok daha etkindirler. Bunun yanı sıra , faktörler arasındaki etkileşim veya etkileşimleri araştırmak bakımından da her seferinde bir tane faktörün etkisini araştıran tasarımlara göre avantajlıdır (Şenoğlu, 2010).

Faktöriyel tasarımların uygulamada yaygın olarak kullanılan bazı özel halleri vardır. Bunların içinde en bilineni ve en yaygın olarak kullanılan 2^k faktöriyel tasarımdır. 2^k faktöriyel tasarımda , 2 düzey sayısını , k ise faktör sayısını gösterir. Faktörlerin düzeyleri genellikle (a_0, a_1), (0,1), (düşük, yüksek),veya (-1,1) gibi semböllerle ifade edilir. Deneyde etkisi araştırılmak istenen faktör çok fazla olduğunda, 2^k faktöriyel tasarım özellikle süreç geliştirme problemlerinde bir sonraki araştırmanın yönünün belirlenmesi için bir ön çalışma niteliği taşır (Montgomery, 2001).

A ve B faktörlerinin, sırasıyla *a* ve *b* düzeyinin olduğu bir *axb* faktöriyel tasarım için matematiksel modelin gösterim şekli (Şenoğlu, 2010);

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad (3.1)$$

$i = 1,2,...,a$; $j = 1,2,...,b$; $k = 1,2,...,n$ olarak ifade edilir. Burada,

Y_{ijk} , A faktörünün *i*-inci ve B faktörünün *j*-inci düzeyindeki *k*-ıncı gözlem değerini,

μ , genel ortalamayı,

τ_i , A faktörünün *i*-inci düzeyinin etkisini,

γ_j , B faktörünün *j*-inci düzeyinin etkisini,

$(\tau\gamma)_{ij}$, A ve B faktörlerinin etkileşim etkisini ve

ε_{ijk} , rasgele hata terimlerini gösterir.

Bu model 2^2 faktöriyel tasarımlar için kullanılmaktadır.

A,B ve C faktörlerinin, sırasıyla *a,b,c* düzeyinin olduğu bir *axbxc* faktöriyel tasarım için matematiksel model;

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \delta_k + (\tau\delta)_{ik} + (\gamma\delta)_{jk} + (\tau\gamma\delta)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \qquad (3.2)$$

$i = 1,2,...,a$; $j = 1,2,...,b$; $k = 1,2,...,c$; $l = 1,2,...,n$ olarak ifade edilir. Burada , $(\tau\gamma\delta)_{ijk}$, A faktörünün *i*-inci , B faktörünün *j*-inci ve C faktörünün *k*-ıncı düzeyi arasındaki etkileşimi gösteren model parametresidir. Diğer terimler, (3.1) modelindekine benzer olarak tanımlanır. Bu model 2^3 faktöriyel tasarımlar için kullanılmaktadır.

Tam faktöriyel deney tasarımı istatistiksel yöntemler ile birleştirildiğinde analiz aşamasında araştırmacılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Tam faktöriyel deneylerin analizinde Varyans Analizi (ANOVA) ve regresyon analizi kullanılmaktadır. Varyans analizi hangi proses üzerinde hangi faktörlerin ne derecede önemli olduklarını istatistiksel olarak açıklar (Yang ve Tarng, 1998). Regresyon Analizi, sebep (bağımsız girdi değişkeni) ve sonuç (bağımlı çıktı değişkeni) arasında net bir matematiksel ilişkinin varlığını tespit etmek için kullanılır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Bu yöntemler yardımı ile bir faktörün deney üzerindeki etkisi hesaplamak mümkündür. Bu yöntemler, işlemlerin sırasında bir değişiklik yapmadan farklılıkların kaynağının belirlenmesine yardımcı olur (Breyfogle, 2003).

Çizelge 3.5. 2^2 Faktöriyel Tasarım ANOVA Tablosu

Kaynak	*df*	*SS*	*MS*	*F*
A	1	SS_A	MS_A	F_A
B	1	SS_B	MS_B	F_B
AB	1	SS_{AB}	MS_{AB}	F_{AB}
Hata	2^2 (n-1)	SS_{Hata}	MS_{Hata}	
Genel	*N-1*	SS_{Toplam}		

Çizelge 3.6. 2^3 Faktöriyel Tasarım ANOVA Tablosu

Kaynak	*df*	*SS*	*MS*	*F*
A	1	SS_A	MS_A	F_A
B	1	SS_B	MS_B	F_B
AB	1	SS_{AB}	MS_{AB}	F_{AB}
C	1	SS_C	MS_C	F_C
AC	1	SS_{AC}	MS_{AC}	F_{AC}
BC	1	SS_{BC}	MS_{BC}	F_{BC}
ABC	1	SS_{ABC}	MS_{ABC}	F_{ABC}
Hata	2^3 (n-1)	SS_{Hata}	MS_{Hata}	
Genel	*N-1*	SS_{Toplam}		

(3.1.) Modelinde, A ve B faktörlerinin ana etkileri ile AB etkileşim etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilir. Her bir durum için hipotezler sırasıyla (Şenoğlu, 2010);

$$H_{01} = \tau_1 = \tau_2 = 0 \tag{3.3}$$

veya H_{01} : A ana etkisi anlamlı değildir.

$$H_{02} = \gamma_1 = \gamma_2 = 0 \tag{3.4}$$

veya H_{02} : B ana etkisi anlamlı değildir.

$$H_{03} = \tau\gamma_{11} = \tau\gamma_{12} = \tau\gamma_{21} = \tau\gamma_{22} = 0 \tag{3.5}$$

Veya H_{03} : AB etkileşimi anlamlı değildir.

(3.1.) yani 2^2 Faktöriyel tasarımda, H_0 hipotezi altında F_A , F_B , F_{AB} test istatistiklerinin her biri 1 ve 2^2 (n-1) serbestlik dereceli merkezi *F* dağılımına sahiptir. F_A , F_B , F_{AB} test istatistiklerinin değeri, α anlam düzeyinde 1 ve 2^2 (n-1) serbestlik dereceli *F* tablo değerinden daha büyükse sıfır hipotezi reddedilir.

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

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

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

A ana etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır,

B ana etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır,

AB etkileşim etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır.

(3.2.) yani 2^3 Faktöriyel tasarımda H_0 hipotezi altında F_A, F_B, F_{AB}, F_C, F_{AC}, F_{BC} ve F_{ABC} test istatistiklerinin her biri 1 ve 2^3 (n-1) serbestlik dereceli merkezi F dağılımına sahiptir.

2^3 Faktöriyel tasarım için karar kısmı 2^2 faktöriyel tasarıma benzer şelkilde ifade edilebilir.

3.2.5. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur. Eğer tek bir değişken kullanılarak analiz yapılıyorsa buna tek değişkenli regresyon, birden çok değişken kullanılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilir. Regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı, eğer ilişki var ise bunun gücü hakkında bilgi edilinebilinir (http://tr.wikipedia.org/wiki/Regresyon_analizi).

Regresyonda, değişkenlerden biri bağımlı diğerleri bağımsız değişken olmalıdır. Buradaki mantık eşitliğin solunda yer alan değişkenin sağında yer alan değişkenlerden etkilenmesidir. Sağda yer alan değişkenlerse diğer değişkenlerden etkilenmemektedir. Burada etkilenmemek matematiksel anlamda bu değişkenleri bir doğrusal denkleme koyduğumuzda etki yapması anlamındadır (http://tr.wikipedia.org/wiki/Regresyon_analizi).

Basit Doğrusal Regresyon Modeli : $Y_i = \alpha + \beta x i + \varepsilon_i$

Çoklu Regresyon Modeli : $Y_i = \alpha + \beta X_1 + \delta X_2 + ... + \varepsilon_i$

Y_i : Bağımlı değişken

X_1 , X_2 , X_3 : Bağımsız değişkenler

α, β, δ : Regresyon katsayıları

ε_i : Hata terimi

Çalışma kapsamında Minitab 16.0 programı kullanılarak optimize edilmek istenen reometre parametreleri için (ML,MH,t_{s2},t_{90}) A,B,C (Aktivatör, Akseleratör ve Pişirici grubu) faktörlerine bağımlı dogrusal regresyon analizleri hesaplanmıştır.

Regresyon analizi için veriler yapılan deneme üretimlerinden elde edilmiştir (24 adet deneme hamur üretimi) ve bu matematiksel modellerin güvenilirliğini minitab programının hesapladığı Rsq^2 değerleri belirlemektedir. Daha fazla veriyle yapılan regresyon analizleri daha güvenilir olabilmekte ve hata teriminin payı azalabilmektedir. Ancak bu çalışmada deneme üretimlerinin maliyeti düşünüldüğünde model sadece, gerçek deneme üretimi ve test sonucu elde edilen verilerden oluşturulmuştur. Bu yüzden çalışmadaki regresyon modelleri elde edilen veriler için geçerlidir. Oluşturulan modeller matematiksel modelin kurulması için kullanılmıştır.

3.2.6. Matematiksel Modelleme

Modelleme farklı alanlarda farklı anlamlarda kullanılan yaygın bir terimdir. Matematiksel modelleme en genel anlamda gerçek hayat durumunun matematik diline aktarılma ve matematiksel olarak ifade edilme sürecidir. Model ve modelleme terimleri arasındaki anlam farkı, süreç ve ürün arasındaki anlam farkına benzer Modelleme, sorunsal bir durumun modelini oluşturma sürecidir. Bu anlamda “model” bir süreç sonunda oluşturulmuş ürünü ifade ederken, “modelleme” ise bir durumun fiziksel, sembolik ya da soyut modelini oluşturma sürecini ifade etmektedir (Sriraman, 2005).

Matematiksel modelleme sürecinde verilenleri kullanarak bir çözüme ulaşma, çözümü gerçek hayat durumuyla karşılaştırma, eğer yeterli değilse çözümü geliştirme veya daha farklı bir çözüm geliştirme gibi birden fazla döngü vardır. Matematiksel modelleme sürecinde bahsedilen modelleme döngüsü, yani

modellemenin döngü içeren bir süreç olduğu fikri, modelleme yaklaşımlarında gözlemlenen ortak fikir olarak karşımıza çıkmaktadır (Zbiek ve Conner, 2006).

Optimizasyon eldeki kısıtlı kaynakları en optimum biçimde kullanmak olarak tanımlanmaktadır (Bunday, 1984). Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse optimizasyon kısaca bir fonksiyonun minimize veya maksimize edilmesi olarak tanımlanabilir (Kahaner, 1989).

Optimizasyon ya da matematiksel modelleme; izin verilen bir set içerisinden reel ya da tamsayılı değişkenlerin değerlerinin sistematik bir biçimde seçilmesiyle reel bir fonksiyonu minimize ya da maksimize etmek için araştırılan problemleri çözmeye çalışır. Başlıca alt alanları;

- Doğrusal programlama,
- Tamsayılı doğrusal programlama,
- Dinamik programlama,
- Quadratik programlama,
- Doğrusal olmayan programlama,
- Konveks programlama ve
- Stokastik programlama olarak sıralanabilir (http://tr.wikipedia.org).

Çalışma kapsamında kısıtlayıcılı nonlinear (doğrusal olmayan) matematiksel modeller kurulmuştur. Kurulan model bir minimizasyon problemi olup reolojik paramtereler (ML,MH,Ts_2,T_{90}) için alt ve üst sınır tanımlanmıştır. Matematiksel modelin çözümünde amaç fonksiyonunun minimizasyonu kadar kısıtların da sağlanacağı bir çözüm değeri bulunur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kauçuk ürün üreten bir işletmede yapılan bu çalışma, standart EPDM kauçuk test reçetesinde gerçek verilerle yapılmıştır.

4.1. Performans Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Belirlenen problem ve amaca uygun olarak optimize edimek istenen karakterler, reometre testi sonucu belirlenen ve kauçuk hamurun ekstrüzyon üretimindeki vulkanizasyon sürecini simüle eden ML, MH, TS_2 ve T_{90} reometre parametreleridir.

ML, lastik hamurunun (kauçuk) karıştırılma koşullarıyla ilgilidir ve minimum viskoziteyi temsil eder. MH, kauçuğun gerilme, yırtılma ve kopma dayanımı gibi özellikleri ile alakalıdır. TS_2, pişme başlangıç zamanını ifade eder ve prosesin güvenliğini belirlemede yardımcıdır. T_{90} ise optimum pişmeye ulaşıldığı zamandır ve ürerim esnasında ürünün ekstrüzyon süresini belirler. Bu dört parametre kauçuğun vulkanizasyon sürecinde etkili parametrelerdir ve problemin çözümündeki amaca uygun olarak bu dört parametre performans karakteristikleri olarak belirlenmiştir.

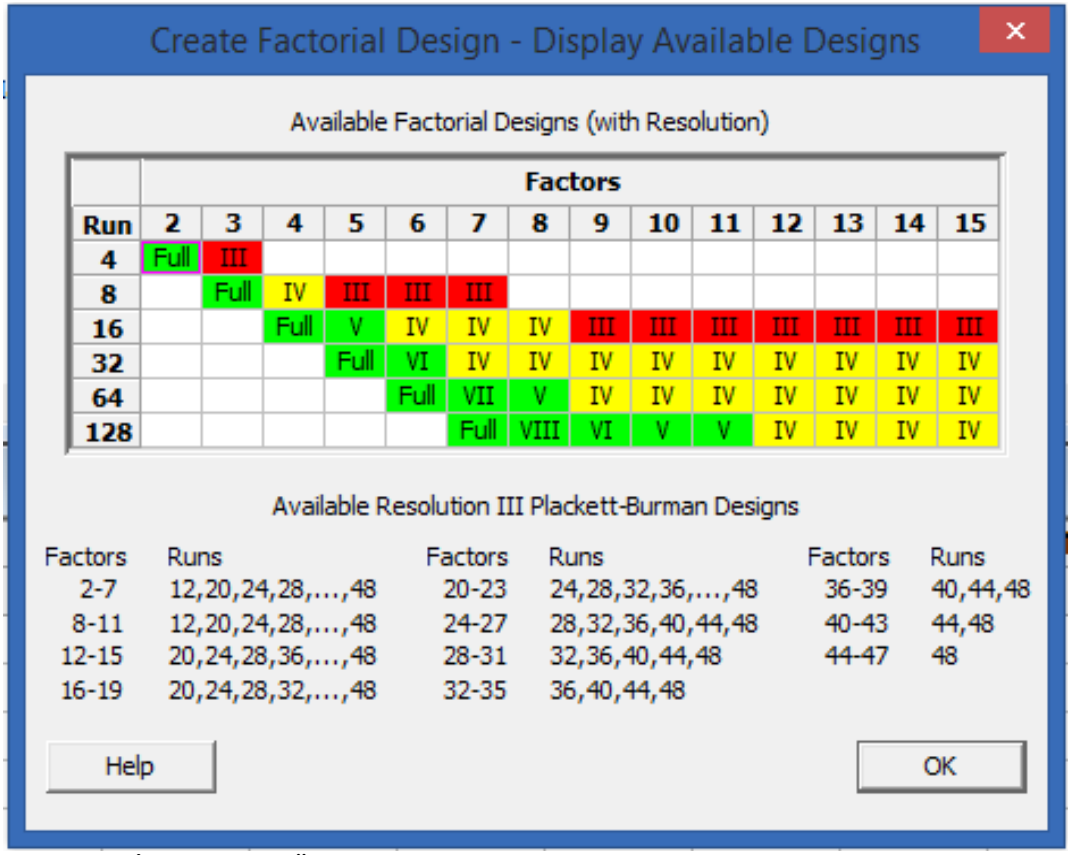
4.2. Performans Karakteristiklerine Etki Eden Faktörlerin ve Düzeylerinin Belirlenmesi

Uygulamanın gerçekleştirildiği reçete işletmede kullanılan EPDM kauçuk için standart test reçetesi olup bu reçete Çizelge 3.1. de gösterilmiştir. Bu reçetede performans parametrelerini etkileyen faktörler, yapılan beyin fırtınası ve işletmede bu proseste uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda; Aktivatör (A), Akselaratör (B) ve Pişirici (C) olarak seçilmiştir. Bu faktörler iki seviyeli (düzey) olarak ele alınmıştır.

Her bir faktör için reçetede düşük ve yüksek seviyeli karışım oranları kullanılmıştır. Düşük seviye (-1), yüksek seviye (1) olarak kodlanmıştır. Çizelge 3.2.' de faktörlerin düşük ve yüksek seviyeli karışım kombinasyonları gösterilmiştir.

4.3. Deney Tasarımının Seçilmesi

Belirlenen probleme ve faktörlere en uygun deney tasarımı olan üç faktörlü ve iki seviyeli tam faktöriyel tasarım çalışmada uygulanmak üzere belirlenmiştir. Çalışmada Minitab 16.0 ve Design Expert 9.0 paket programı kullanılarak aşağıdaki deney tasarımı oluşturulmuştur. Minitab 16.0' da seçilen tasarım aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1. İki Seviyeli Üç Faktörlü Full Faktöriyel Tasarımın Seçilmesi

Çizelge 4.1. Oluşturulan Faktöriyel Tasarım

STD ORDER	RUN ORDER	CENTER Pt	Blocks	A	B	C
14	1	1	1	-1	-1	1
7	2	1	1	-1	-1	-1
8	3	1	1	-1	1	-1
24	4	1	1	-1	1	1
3	5	1	1	-1	-1	1
2	6	1	1	1	-1	1
11	7	1	1	1	-1	-1
19	8	1	1	-1	1	1
10	9	1	1	1	1	-1
1	10	1	1	1	-1	1
22	11	1	1	-1	1	1
6	12	1	1	1	1	1
21	13	1	1	1	-1	1
18	14	1	1	1	1	-1
16	15	1	1	-1	-1	-1
5	16	1	1	1	-1	-1
20	17	1	1	1	1	1
23	18	1	1	-1	-1	-1
13	19	1	1	-1	-1	1
12	20	1	1	1	1	1
9	21	1	1	-1	1	-1
17	22	1	1	1	1	-1
4	23	1	1	1	-1	-1
15	24	1	1	-1	1	-1

Çizelge 4.1.'de Minitab paket programının seçilen tasarım için oluşturduğu tablo görülmektedir. Bu tasarımda üç replikasyon yapılarak tasarımın çözünürlüğünün artması ve anlamlılık düzeyinin artması amaçlanmıştır. Ayrıca deney tasarımın temel ilkelerinden bloklama ve rasgeleleştirme tarasımda kullanılarak hata teriminin etkisi minimize edilmek istenmiştir.

Deneme üretimleri Çizelge 4.1.'de görüldüğü üzere tasarımın ön gördüğü sıralamada gerçekleştirilmiştir.

4.4. Verilerin Toplanması

Deneme üretimleri sonucu elde edilen lastik hamurları reometre testine tabi tutulmuştur ve elde edilen parametre (ML, MH, TS_2, T_{90}) değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.2. Reometre Test Sonuçları

STD ORDER	RUN ORDER	CENTER Pt	Blocks	A	B	C	ML (N-m)	MH (N-m)	TS2 (Dakika)	T90 (Dakika)
14	1	1	1	-1	-1	1	3,58	25,67	0,24	1,38
7	2	1	1	-1	-1	-1	2,47	21,93	0,31	1,26
8	3	1	1	-1	1	-1	2,67	24,52	0,32	0,9
24	4	1	1	-1	1	1	2,9	29,8	0,3	0,97
3	5	1	1	-1	-1	1	3,5	25,5	0,22	1,37
2	6	1	1	1	-1	1	4,02	28,72	0,24	1,9
11	7	1	1	1	-1	-1	4,13	22,59	0,27	1,28
19	8	1	1	-1	1	1	2,92	30,1	0,33	1
10	9	1	1	1	1	-1	2,55	25,42	0,3	0,91
1	10	1	1	1	-1	1	4	28,64	0,25	1,86
22	11	1	1	-1	1	1	2,88	29,59	0,29	0,98
6	12	1	1	1	1	1	3,26	30,55	0,27	1,13
21	13	1	1	1	-1	1	4,06	28,88	0,24	1,91
18	14	1	1	1	1	-1	2,57	24,48	0,33	0,89
16	15	1	1	-1	-1	-1	2,5	21,85	0,33	1,24
5	16	1	1	1	-1	-1	4,15	22,63	0,26	1,25
20	17	1	1	1	1	1	3,28	30,6	0,28	1,16
23	18	1	1	-1	-1	-1	2,44	21,95	0,3	1,22
13	19	1	1	-1	-1	1	3,56	26,01	0,23	1,39
12	20	1	1	1	1	1	3,24	30,56	0,29	1,12
9	21	1	1	-1	1	-1	2,66	24,48	0,31	0,85
17	22	1	1	1	1	-1	2,54	25,44	0,29	0,9
4	23	1	1	1	-1	-1	4,11	22,57	0,28	1,27
15	24	1	1	-1	1	-1	2,7	24,8	0,33	0,92

4.5. Verilerin Analizi ve Yorumlanması

Veriler analiz edilirken ilk olarak faktörlerin ana etkilerinin, ikili etkileşimlerinin ve üçlü etkileşimlerinin performans parametrelerinin etkileyip etkilemediğine bakılmıştır. Çizelge ve grafiklerdeki R_1,R_2,R_3 ve R_4 kodlamaları sırasıyla ML,MH,TS_2 ve T_{90} parametrelerini temsil etmektedir.

Ana etkilerin analizi aşağıdaki gibidir;

Çizelge 4.3. Faktörlerin (A, B, C) R_1 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R1 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R1 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3,1954	0,07345	43,50	0,000
A	0,5942	0,2971	0,07345	4,04	0,001
B	-0,6958	-0,3479	0,07345	-4,74	0,000
C	0,4758	0,2379	0,07345	3,24	0,004

S = 0,359832 PRESS = 3,729
R-Sq = 71,14% R-Sq(pred) = 58,43% R-Sq(adj) = 66,81%

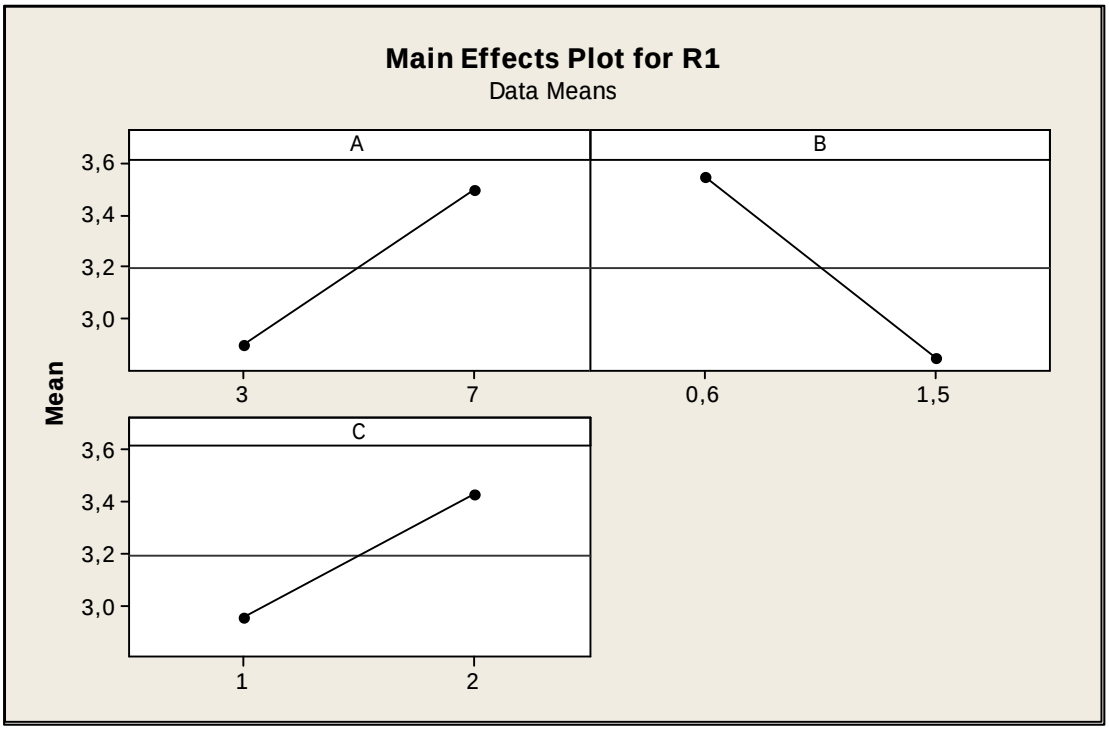
Analysis of Variance for R1 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	6,38181	6,38181	2,12727	16,43	0,000
Residual Error	20	2,58958	2,58958	0,12948		
Lack of Fit	4	2,57872	2,57872	0,64468	949,22	0,000
Pure Error	16	0,01087	0,01087	0,00068		
Total	23	8,97140				

Çizelge 4.3. 'de görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin R_1 parametresi üzerinde etkisi vardır. Çünkü P değerleri %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (H_0, Faktörlerin R_1 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

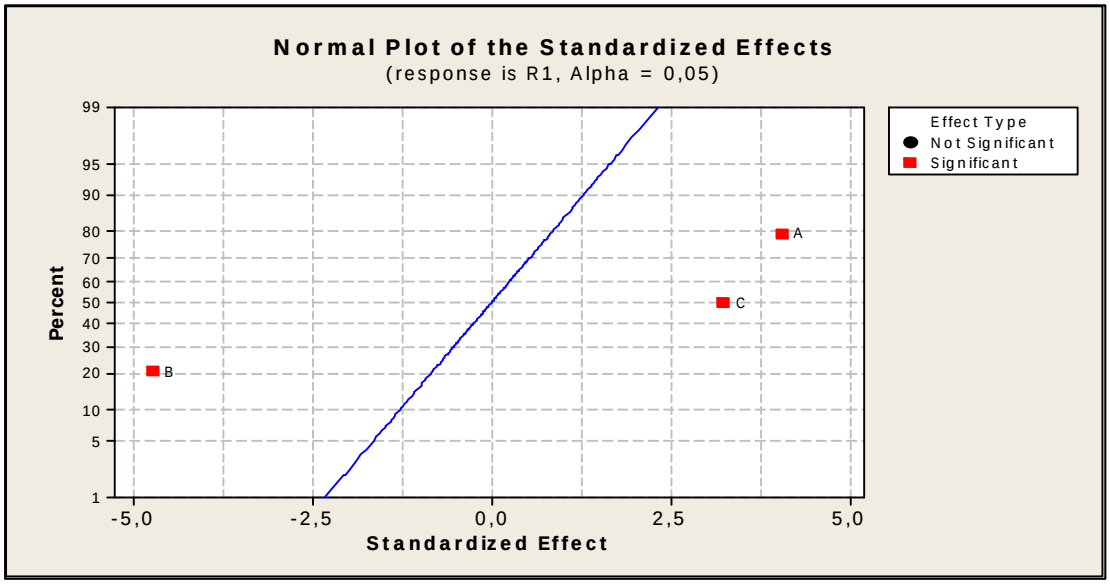
R-sq (adj) değerine bakıldığında %66,81 lik düşük bir oran ortaya çıkmıştır. Bu oran verilerin istatistiki anlam düzeyini göstermektedir. A, B, C faktörlerinin R_1 parametresi üzerine etkisi vardır ancak yeterli görülmemiştir. İstatistikte bu oranın en az % 80 olması istenmektedir ki verilerin analizinde yapılan yorumlar anlamlı olabilsin.

A,B,C Faktörlerinin R_1 parametresine olan ana etkileri aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

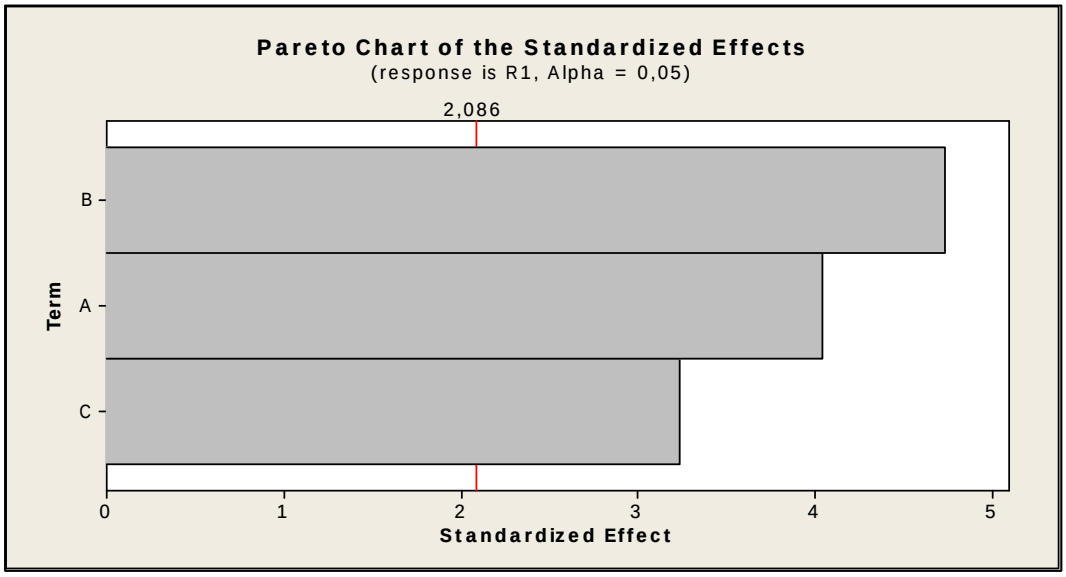


Şekil 4.2. Faktörlerin (A,B,C) R_1 Parametresine Ana Etkileri

A ve C faktörleri R_1 parametresi üzerinde pozitif , B faktörü ise negatif etkiye sahiptir.



Şekil 4.3. Faktörlerin Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_1)



Şekil 4.4. Faktör (A,B,C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_1)

Pareto grafiğinde görüldüğü üzere faktörlerin anlamlı etkisi mevcuttur.

Çizelge 4.4. Faktörlerin (A, B, C) R2 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R2 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R2 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		26,1367	0,1253	208,52	0,000
A	1,2400	0,6200	0,1253	4,95	0,000
B	2,7833	1,3917	0,1253	11,10	0,000
C	5,1633	2,5817	0,1253	20,60	0,000

S = 0,614044 PRESS = 10,8590
R-Sq = 96,62% R-Sq(pred) = 95,14% R-Sq(adj) = 96,11%

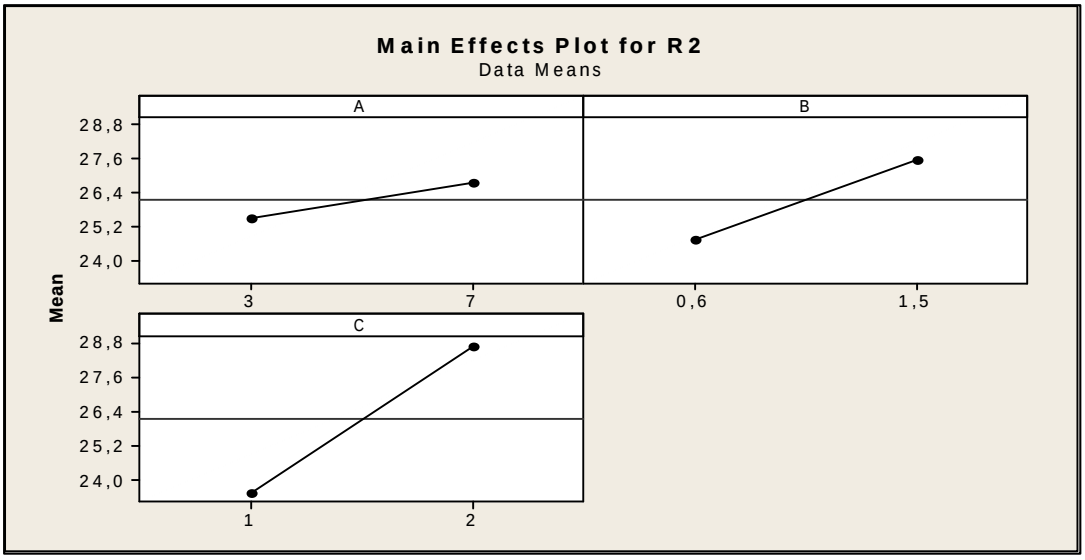
Analysis of Variance for R2 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	215,667	215,667	71,8891	190,66	0,000
Residual Error	20	7,541	7,541	0,3770		
Lack of Fit	4	6,573	6,573	1,6433	27,17	0,000
Pure Error	16	0,968	0,968	0,0605		
Total	23	223,208				

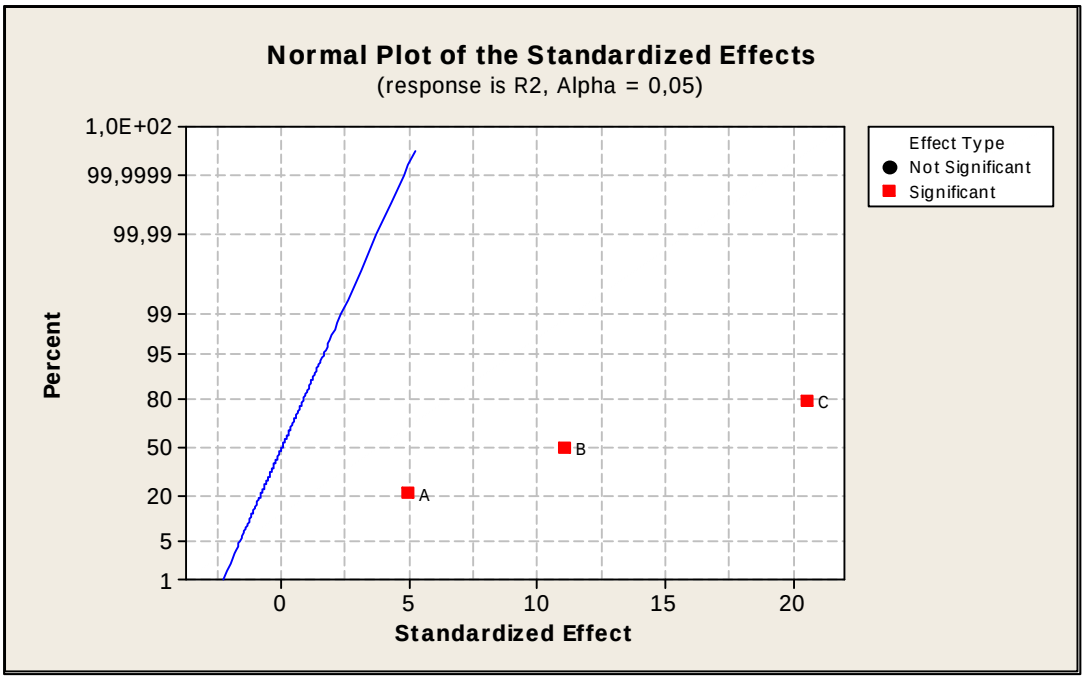
Çizelge 4.4. 'te görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin R_2 parametresi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Çünkü P değerleri %95 güven aralığı içerisinde α =0,05

değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin R_2 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

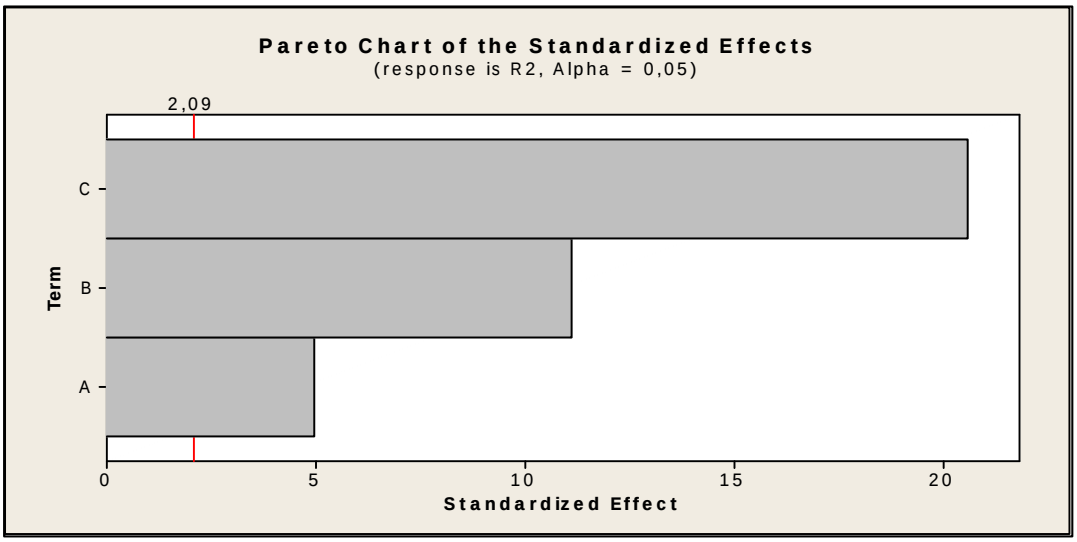
R-sq (adj) değerine bakıldığında %96,11 çok yüksek bir orandır ve sistemdeki değişkenliği yüksek anlamlılıkla açıklamaktadır.



Şekil 4.5. Faktörlerin (A,B,C) R_2 Parametresine Ana Etkileri



Şekil 4.6. Faktörlerin Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_2)



Şekil 4.7. Faktör (A,B,C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_2)

R_2 parametresinin grafiklerine bakıldığında A,B,C faktörlerinin herbirinin bu parametre üzerinde pozitif etkisi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Faktörlerin (A, B, C) R_3 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R3 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R3 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,28375	0,003948	71,86	0,000
A	-0,01750	-0,00875	0,003948	-2,22	0,038
B	0,03917	0,01958	0,003948	4,96	0,000
C	-0,03750	-0,01875	0,003948	-4,75	0,000

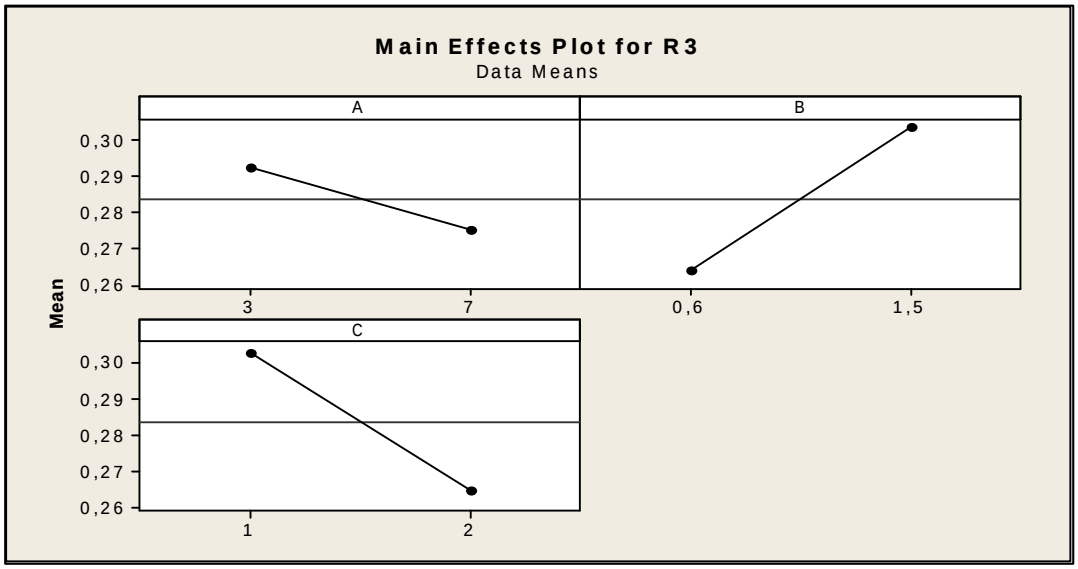
S = 0,0193434 PRESS = 0,010776
R-Sq = 72,25% R-Sq(pred) = 60,03% R-Sq(adj) = 68,08%

Analysis of Variance for R3 (coded units)

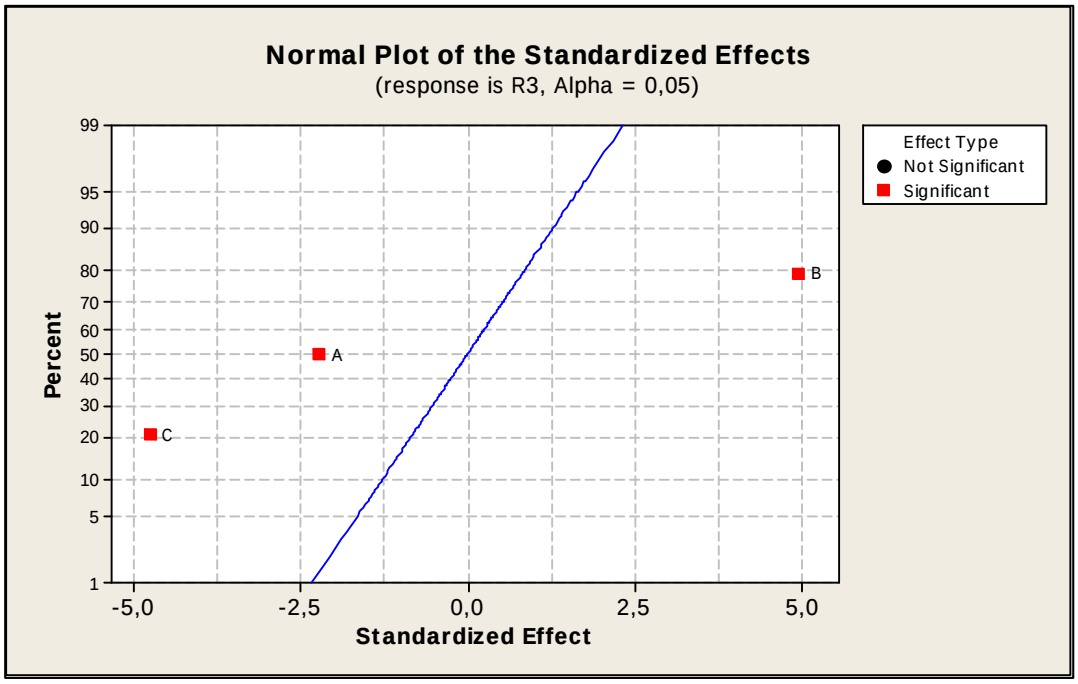
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0,019479	0,019479	0,0064931	17,35	0,000
Residual Error	20	0,007483	0,007483	0,0003742		
Lack of Fit	4	0,004417	0,004417	0,0011042	5,76	0,005
Pure Error	16	0,003067	0,003067	0,0001917		
Total	23	0,026963				

Çizelge 4.5. 'te görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin R_3 parametresi üzerinde etkisi vardır. Çünkü P değerleri %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin R_3 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

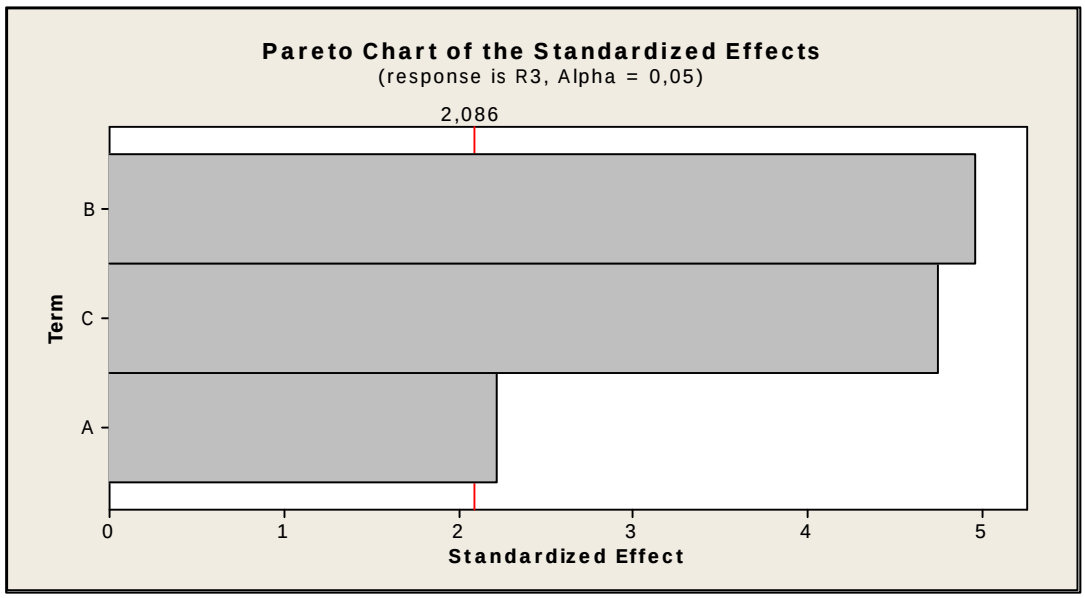
R-sq (adj) değerine bakıldığında %68,08 lik düşük bir oran elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Faktörlerin (A,B,C) R_3 Parametresine Ana Etkileri



Şekil 4.9. Faktörlerin Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_3)



Şekil 4.10. Faktör (A,B,C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_3)

R_3 parametresinin grafiklerine bakıldığında A ve C faktörlerinin bu parametre üzerine negatif, B faktörünün ise pozitif etkisi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Faktörlerin (A, B, C) R_4 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R4 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R4 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1,2108	0,02583	46,87	0,000
A	0,1750	0,0875	0,02583	3,39	0,003
B	-0,4667	-0,2333	0,02583	-9,03	0,000
C	0,2733	0,1367	0,02583	5,29	0,000

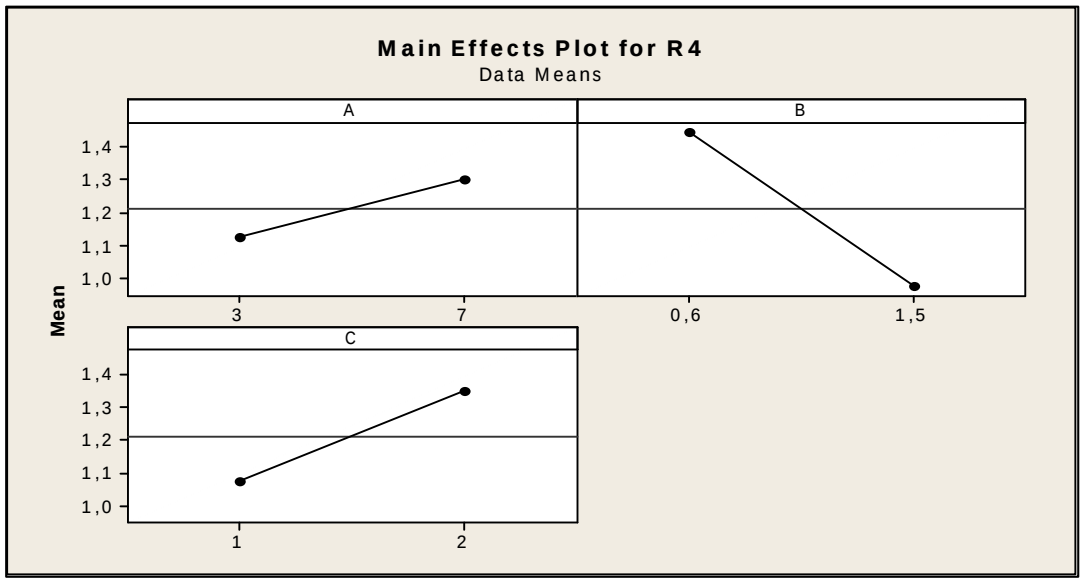
S = 0,126550 PRESS = 0,461232
R-Sq = 85,82% R-Sq(pred) = 79,58% R-Sq(adj) = 83,69%

Analysis of Variance for R4 (coded units)

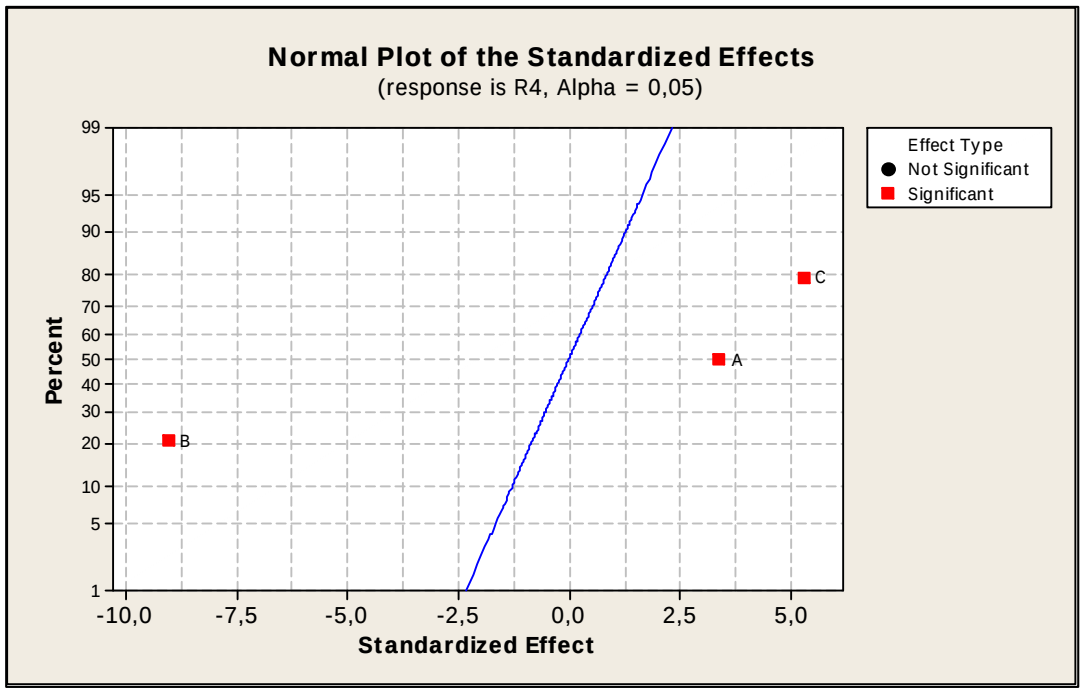
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	1,93868	1,93868	0,646228	40,35	0,000
Residual Error	20	0,32030	0,32030	0,016015		
Lack of Fit	4	0,31330	0,31330	0,078325	179,03	0,000
Pure Error	16	0,00700	0,00700	0,000438		
Total	23	2,25898				

Çizelge 4.6. 'da görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin R_4 parametresi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Çünkü P değerleri %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin R_4 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

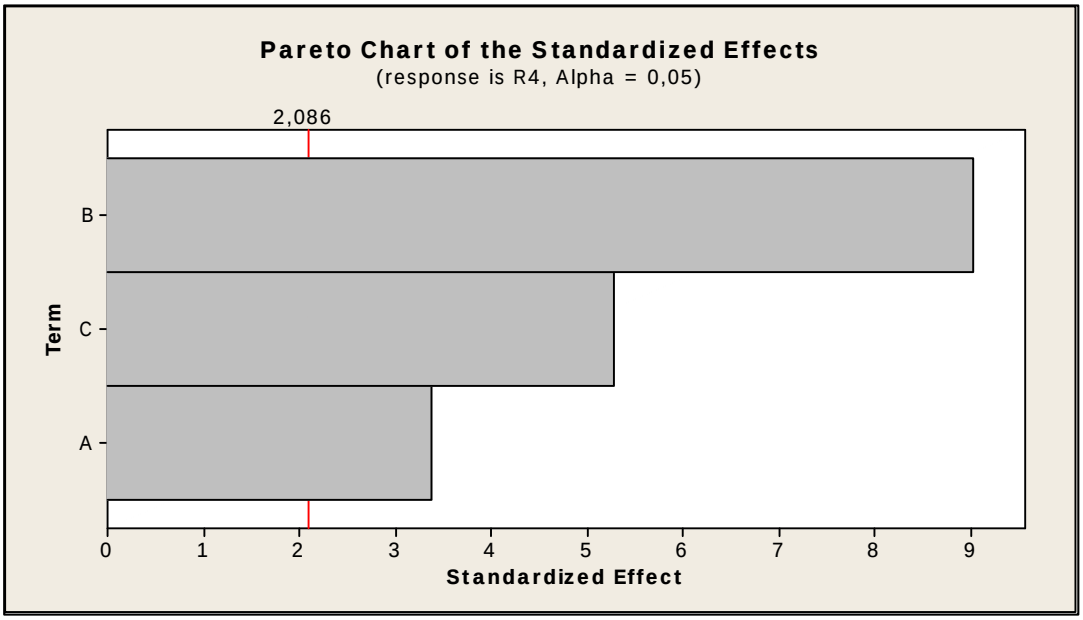
R-sq (adj) değerine bakıldığında %83,69 lik oran anlamlı kabul edilmektedir.



Şekil 4.11. Faktörlerin (A,B,C) R_4 Parametresine Ana Etkileri



Şekil 4.12. Faktörlerin Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_4)



Şekil 4.13. Faktör (A,B,C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_4)

R_3 parametresinin grafiklerine bakıldığında A ve C faktörlerinin bu parametre üzerine pozitif, B faktörünün ise negatif etkisinin olduğu görülmektedir.

Analizlerin bu kısmı, faktörlerin sadece herbir performans parametresine olan ana etkkilerini tespit etmek için yapılmıştır. Faktörlerin her bir performans parametresi üzerinde etkili olduğu görülmüştür ancak R_1 ve R_2 parametrelerinin ANOVA tablosuna bakıldığında R-sq (adj) değerlerinin istatistiki anlamlılıklarının yetersiz olduğu görülmüştür. Bu sebeple faktörlerin ikili etkileşimlerinin ve üçlü etkileşimlerinin her bir performans parametresine olan etkileri tespit edilmek için ikili ve üçlü etkileşimlerin dahil edildiği analizler aşağıda yapılmıştır.

Çizelge 4.7. Ana Etkilerin Anlamlılık Düzeyini Gösteren Özet Tablo

Faktörler	R_1- R-sq(adj)	R_2- R-sq(adj)	R_3- R-sq(adj)	R_4- R-sq(adj)
A, B, C	66,81%	96,11%	68,08%	83,69%

4.5.1. İkili Etkileşimlerin Dahil Edildiği Verilerin Analizi

Çizelge 4.8. Faktörlerin (A, B, C, A*B, A*C, B*C) R_1 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R1 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R1 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3,1954	0,05069	63,04	0,000
A	0,5942	0,2971	0,05069	5,86	0,000
B	-0,6958	-0,3479	0,05069	-6,86	0,000
C	0,4758	0,2379	0,05069	4,69	0,000
A*B	-0,4758	-0,2379	0,05069	-4,69	0,000
A*C	-0,1742	-0,0871	0,05069	-1,72	0,104
B*C	-0,0108	-0,0054	0,05069	-0,11	0,916

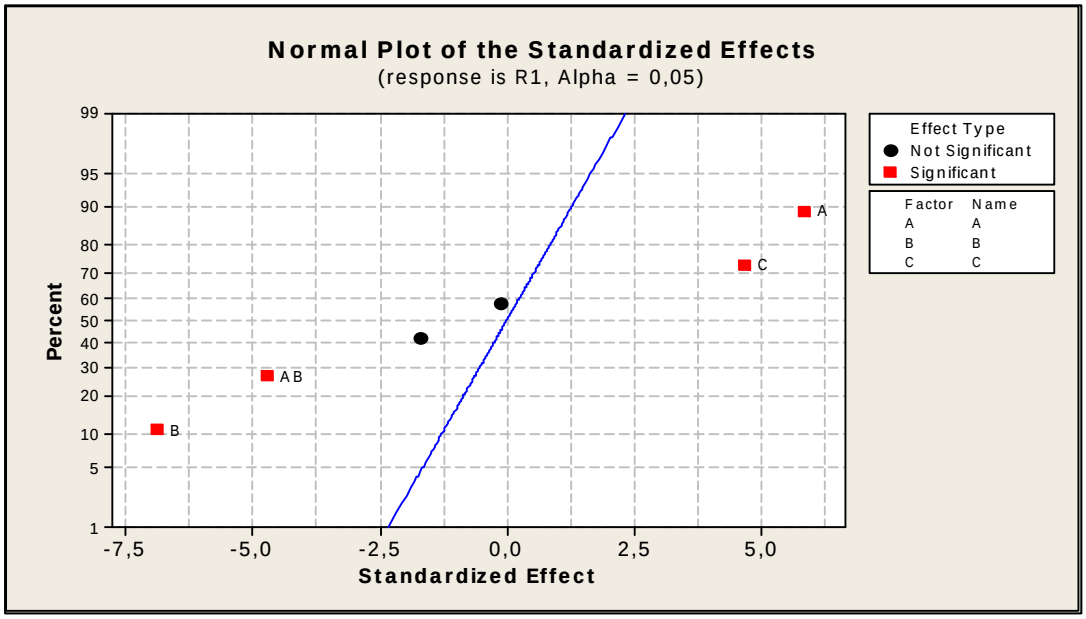
S = 0,248332 PRESS = 2,08949
R-Sq = 88,31% R-Sq(pred) = 76,71% R-Sq(adj) = 84,19%

Analysis of Variance for R1 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	6,38181	6,38181	2,12727	34,50	0,000
2-Way Interactions	3	1,54121	1,54121	0,51374	8,33	0,001
Residual Error	17	1,04837	1,04837	0,06167		
Lack of Fit	1	1,03750	1,03750	1,03750	1527,61	0,000
Pure Error	16	0,01087	0,01087	0,00068		
Total	23	8,97140				

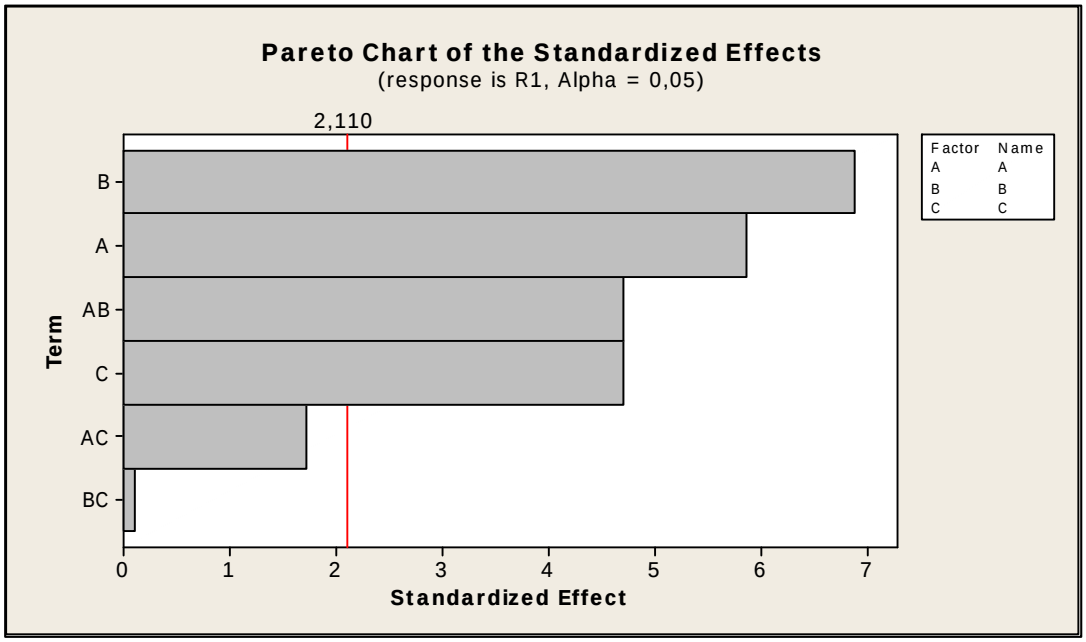
Çizelge 4.8. 'de görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin ikili etkileşimlerinin R_1 parametresi üzerinde etkisi vardır. Çünkü P değeri (0,001) %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin ikili etkileşimlerinin R_1 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

R-sq (adj) değerine bakıldığında, %84,19' luk oranın anlamlı bir istatistik değeri olduğu görülmektedir. Ana etkilerin R1 parametresi üzerine etkisi araştırılmak üzere yapılan varyans analizinde bu değer %66,81 olarak hesaplanmıştı. İkili etkileşimlerin analize dahil edilmesiyle R-sq (adj) değerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 4.14. Faktörlerin İkili Etkileşim Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_1)

Şekil 4.14. 'de ve ANOVA tablosunda görüldüğü üzere A*B, A*C, B*C etkileşimleri R_1 parametresine negatif etki etmektedir.



Şekil 4.15. Faktör (A, B, C, A*B, A*C, B*C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_1)

Şekil 4.15. ve ANOVA tablosunda görüldüğü üzere A*C ve B*C etkileşiminin R_1 paremetresi üzerindeki etkisi diğer faktör ve etkileşimlerin etkisinden daha önemsizdir.

Çizelge 4.9. Faktörlerin (A, B, C, A*B, A*C, B*C) R_2 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R2 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R2 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		26,1367	0,08032	325,42	0,000
A	1,2400	0,6200	0,08032	7,72	0,000
B	2,7833	1,3917	0,08032	17,33	0,000
C	5,1633	2,5817	0,08032	32,14	0,000
A*B	-0,6133	-0,3067	0,08032	-3,82	0,001
A*C	0,6400	0,3200	0,08032	3,98	0,001
B*C	0,1800	0,0900	0,08032	1,12	0,278

S = 0,393471 PRESS = 5,24565
R-Sq = 98,82% R-Sq(pred) = 97,65% R-Sq(adj) = 98,40%

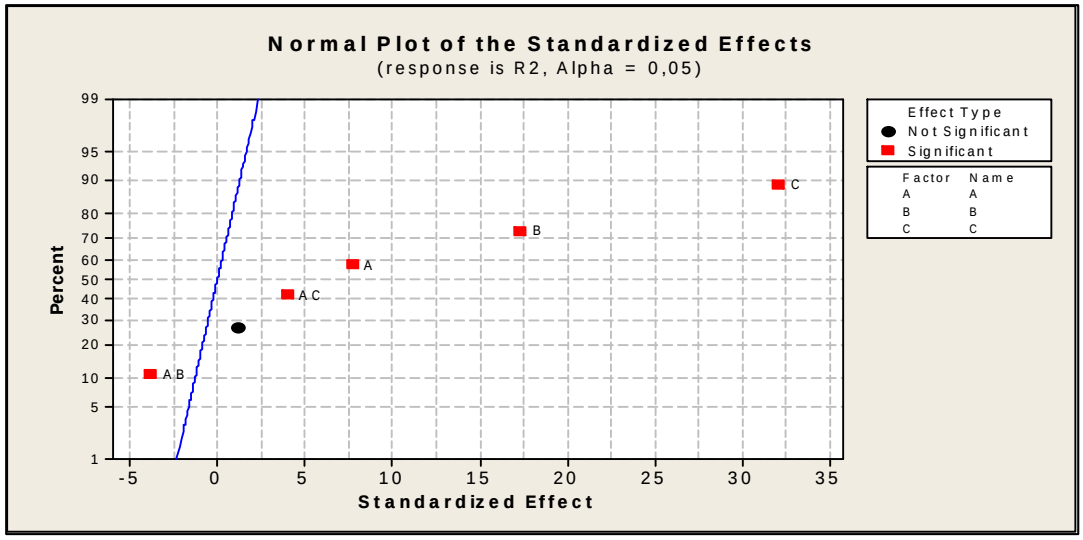
Analysis of Variance for R2 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	215,667	215,667	71,8891	464,34	0,000
2-Way Interactions	3	4,909	4,909	1,6364	10,57	0,000
Residual Error	17	2,632	2,632	0,1548		
Lack of Fit	1	1,664	1,664	1,6643	27,52	0,000
Pure Error	16	0,968	0,968	0,0605		
Total	23	223,208				

Çizelge 4.9. 'da görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin ikili etkileşimlerinin R_2 parametresi üzerinde etkisi vardır. Çünkü ikili etkileşimlerin P değeri, %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin ikili etkileşimlerinin R_2 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

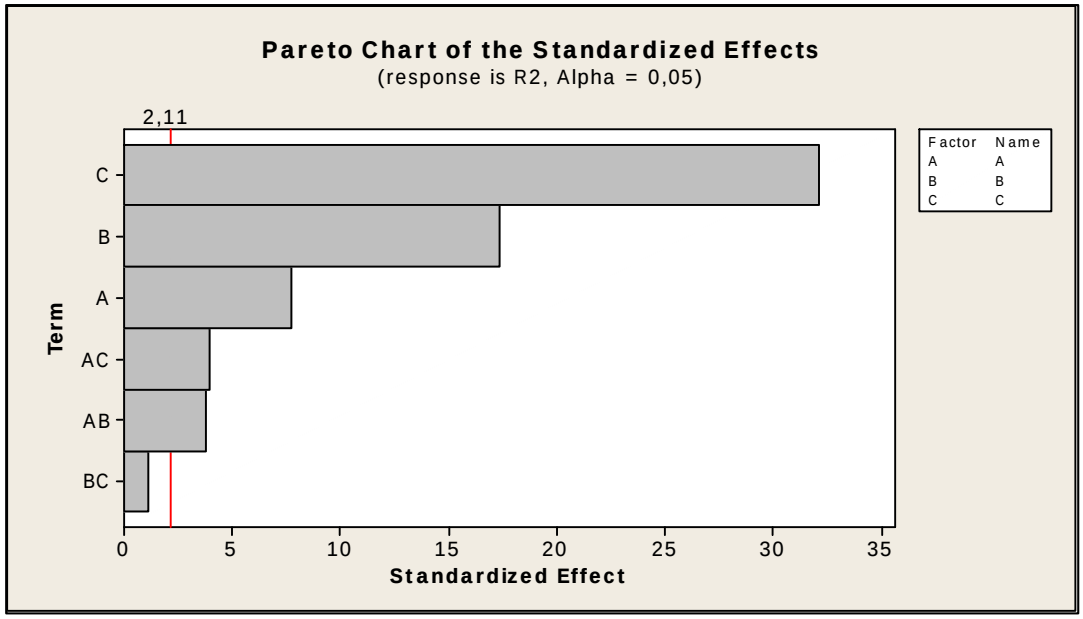
R-sq (adj) değerine bakıldığında çok yüksek bir değer hesaplanmıştır ve %98,4 oranında sistemdeki değişkenlik açıklanabilmektedir. Bu değerin yüksek anlamlılıkta bir istatistik değeri olduğu görülmektedir. Ana etkilerin R_2 parametresi

üzerine etkisi araştırılmak üzere yapılan varyans analizinde bu değer %96,11 olarak hesaplanmıştı.



Şekil 4.16. Faktörlerin İkili Etkileşim Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_2)

Şekil 4.16. ve ANOVA tablosunda görüldüğü üzere A*C ve B*C etkileşimlerinin pozitif, A*B etkileşimi ise R_2 parametresine negatif etki etmektedir.



Şekil 4.17. Faktör (A,B,C,A*B,A*C,B*C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_2)

Şekil 4.17. ve ANOVA tablosunda görüldüğü üzere B*C etkileşiminin R_2 paremetresi üzerindeki etkisi diğer faktör ve etkileşimlerin etkisinden daha önemsizdir.

Çizelge 4.10. Faktörlerin (A, B, C, A*B, A*C, B*C) R_3 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R3 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R3 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,28375	0,003467	81,84	0,000
A	-0,01750	-0,00875	0,003467	-2,52	0,022
B	0,03917	0,01958	0,003467	5,65	0,000
C	-0,03750	-0,01875	0,003467	-5,41	0,000
A*B	-0,00250	-0,00125	0,003467	-0,36	0,723
A*C	0,01083	0,00542	0,003467	1,56	0,137
B*C	0,01750	0,00875	0,003467	2,52	0,022

S = 0,0169847 PRESS = 0,00977439
R-Sq = 81,81% R-Sq(pred) = 63,75% R-Sq(adj) = 75,39%

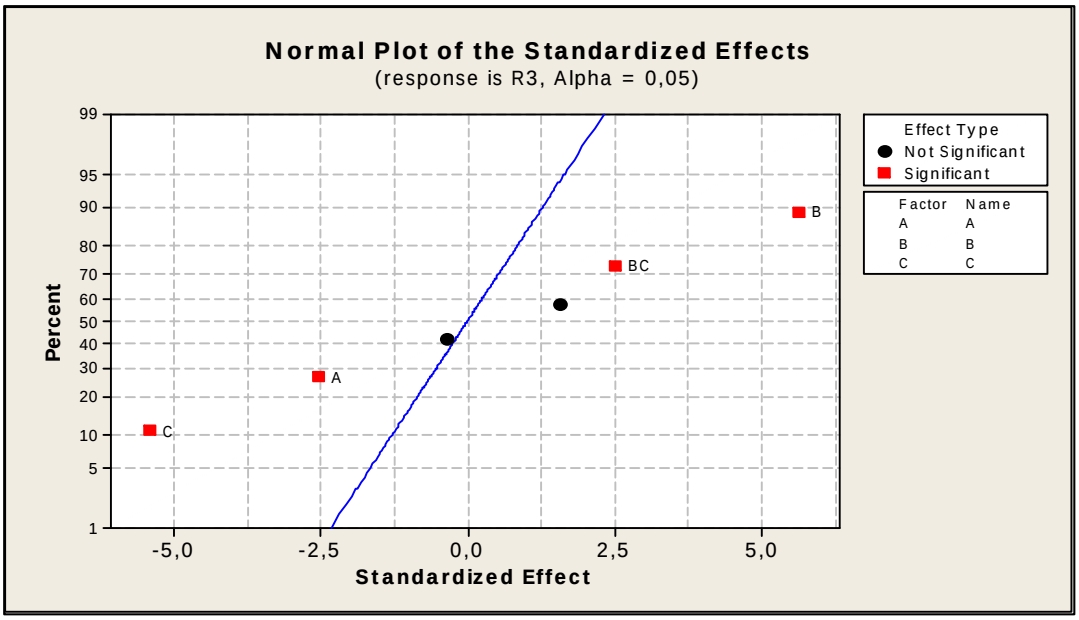
Analysis of Variance for R3 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0,019479	0,019479	0,0064931	22,51	0,000
2-Way Interactions	3	0,002579	0,002579	0,0008597	2,98	0,061
Residual Error	17	0,004904	0,004904	0,0002885		
Lack of Fit	1	0,001838	0,001838	0,0018375	9,59	0,007
Pure Error	16	0,003067	0,003067	0,0001917		
Total	23	0,026963				

Çizelge 4.10. 'da görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin ikili etkileşimlerinden A*B etkileşiminin, R_3 parametresi üzerinde %95 güven aralığı (α =0,05) içerisinde anlamlı bir etkisi yoktur. Ancak %90 güven aralığı içerisinde (α =0,1) anlamlı bir etkisinden söz edilebilir. A*C ve B*C etkileşimlerinin ise R_3 parametresi üzerinde %95 güven aralığı içerisinde az da olsa etkisi olduğu ANOVA tablosundan görülmektedir.

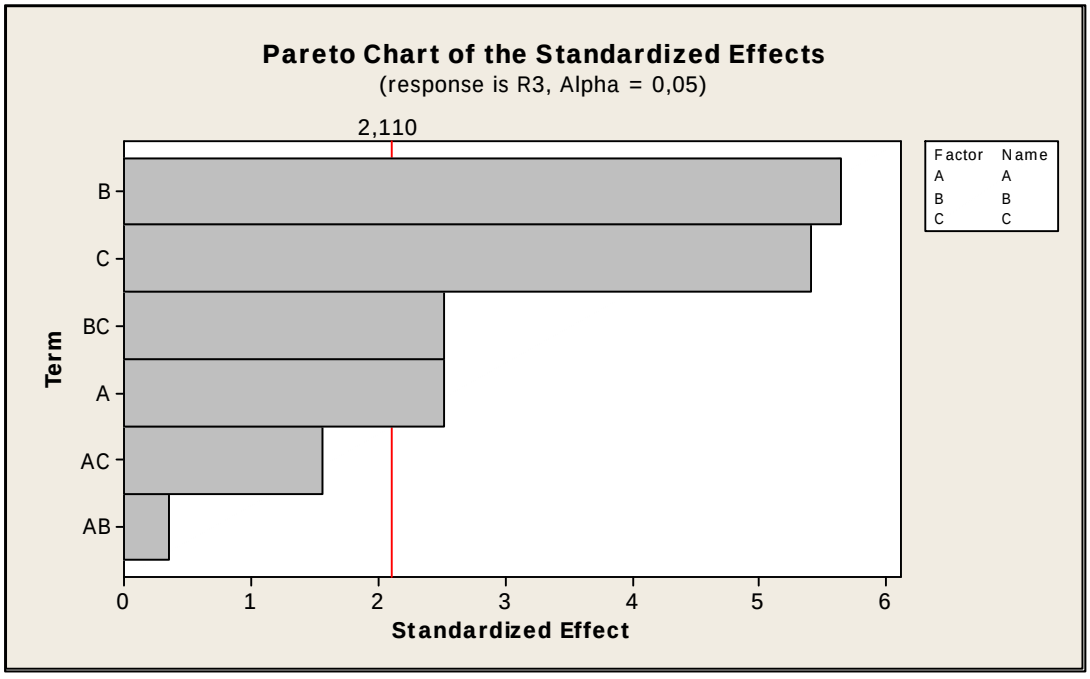
R-sq (adj) değerine bakıldığında ikili etkileşimlerin etkisiyle değerin arttığı ve %75,39 olduğu görülmüştür. Ana etkilerin R_3 parametresi üzerindeki etkisi

araştırılmak üzere yapılan varyans analizinde %68,08 olarak hesaplanmıştı. R-sq (adj) değeri artmıştır ancak bu değer anlamlılık bakımından yeterli değildir.



Şekil 4.18. Faktörlerin İkili Etkileşim Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_3)

Şekil 4.18. ve ANOVA tablosunda görüldüğü üzere B*C etkileşimi R_3 parametresine pozitif etki etmektedir.



Şekil 4.19. Faktör (A,B,C,A*B,A*C,B*C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_3)

Pareto grafiği ve ANOVA tablosunda görüldüğü üzere A*C ve A*B etkileşiminin R_3 parametresi üzerindeki etkisi diğer etkileşimlerin ve faktörlerin etkisinden daha önemsizdir.

Çizelge 4.11. Faktörlerin (A, B, C, A*B, A*C, B*C) R_4 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R4 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R4 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1,2108	0,01111	109,00	0,000
A	0,1750	0,0875	0,01111	7,88	0,000
B	-0,4667	-0,2333	0,01111	-21,00	0,000
C	0,2733	0,1367	0,01111	12,30	0,000
A*B	-0,0933	-0,0467	0,01111	-4,20	0,001
A*C	0,1567	0,0783	0,01111	7,05	0,000
B*C	-0,1083	-0,0542	0,01111	-4,88	0,000

S = 0,0544221 PRESS = 0,100352
R-Sq = 97,77% R-Sq(pred) = 95,56% R-Sq(adj) = 96,98%

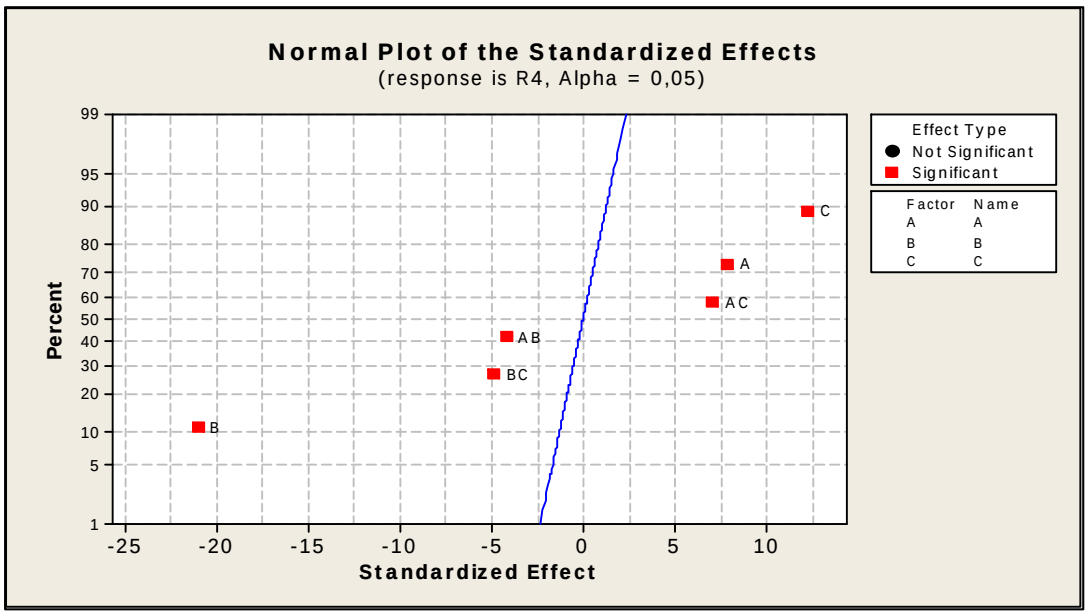
Analysis of Variance for R4 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	1,93868	1,93868	0,646228	218,19	0,000
2-Way Interactions	3	0,26995	0,26995	0,089983	30,38	0,000
Residual Error	17	0,05035	0,05035	0,002962		
Lack of Fit	1	0,04335	0,04335	0,043350	99,09	0,000
Pure Error	16	0,00700	0,00700	0,000438		
Total	23	2,25898				

Çizelge 4.11. 'de görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin ikili etkileşimlerinin R_4 parametresi üzerinde etkisi vardır. Çünkü ikili etkileşimlerin P değeri, %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin ikili etkileşimlerinin R_4 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

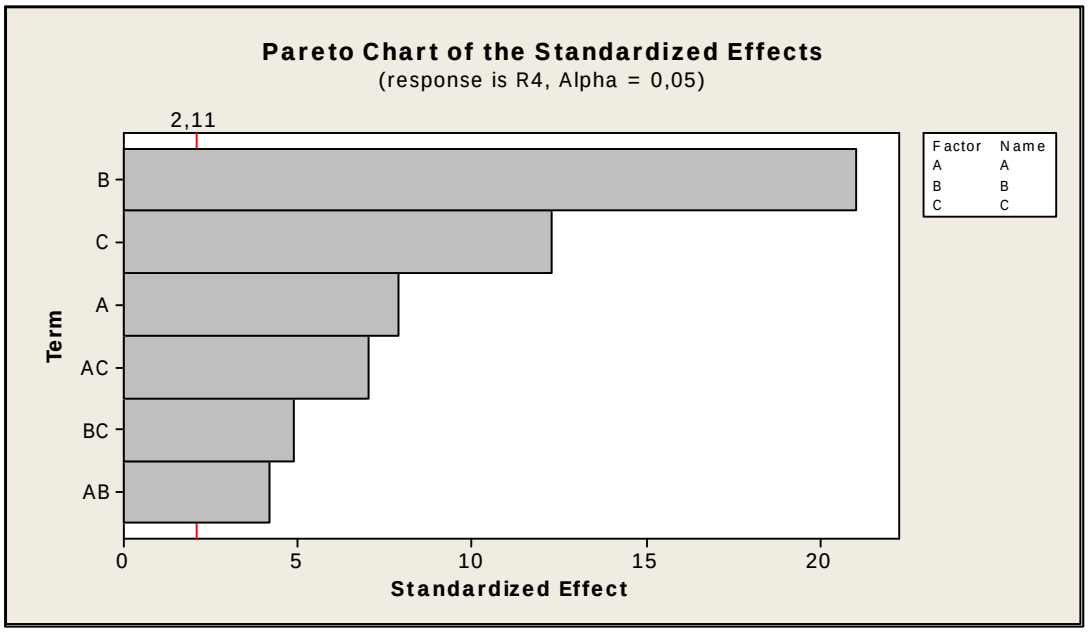
R-sq (adj) değerine bakıldığında çok yüksek bir değer hesaplanmıştır ve %96,98 oranında sistemdeki değişkenlik açıklanabilmektedir. Bu değerin yüksek anlamlılıkta bir istatistik değeri olduğu görülmektedir. Ana etkilerin R_4 parametresi

üzereine etkisi araştırılmak üzere yapılan varyans analizinde bu değer %83,69 olarak hesaplanmıştı.



Şekil 4.20. Faktörlerin İkili Etkileşim Etkilerinin Normal Dağılım Grafiği (R_4)

Şekil 4.20. ve ANOVA tablosunda görüldüğü üzere A*B ve B*C etkileşimi R_3 parametresine negatif , A*C etkileşimi ise pozitif etki etmektedir.



Şekil 4.21. Faktör (A, B, C, A*B, A*C, B*C) Etkilerinin Pareto Grafiği (R_4)

Pareto grafiği ve ANOVA tablosunda görüldüğü üzere A*C ve A*B ve B*C etkileşiminin R_4 parametresi üzerindeki etkisi vardır.

4.5.2. Üçlü Etkileşimlerin Dahil Edildiği Verilerin Analizi

Çizelge 4.12. Faktörlerin Tüm Etkilerinin R_1 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R1 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R1 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3,1954	0,005320	600,68	0,000
A	0,5942	0,2971	0,005320	55,85	0,000
B	-0,6958	-0,3479	0,005320	-65,40	0,000
C	0,4758	0,2379	0,005320	44,72	0,000
A*B	-0,4758	-0,2379	0,005320	-44,72	0,000
A*C	-0,1742	-0,0871	0,005320	-16,37	0,000
B*C	-0,0108	-0,0054	0,005320	-1,02	0,324
A*B*C	0,4158	0,2079	0,005320	39,08	0,000

S = 0,0260608 PRESS = 0,02445
R-Sq = 99,88% R-Sq(pred) = 99,73% R-Sq(adj) = 99,83%

Analysis of Variance for R1 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	6,38181	6,38181	2,12727	3132,18	0,000
2-Way Interactions	3	1,54121	1,54121	0,51374	756,42	0,000
3-Way Interactions	1	1,03750	1,03750	1,03750	1527,61	0,000
Residual Error	16	0,01087	0,01087	0,00068		
Pure Error	16	0,01087	0,01087	0,00068		
Total	23	8,97140				

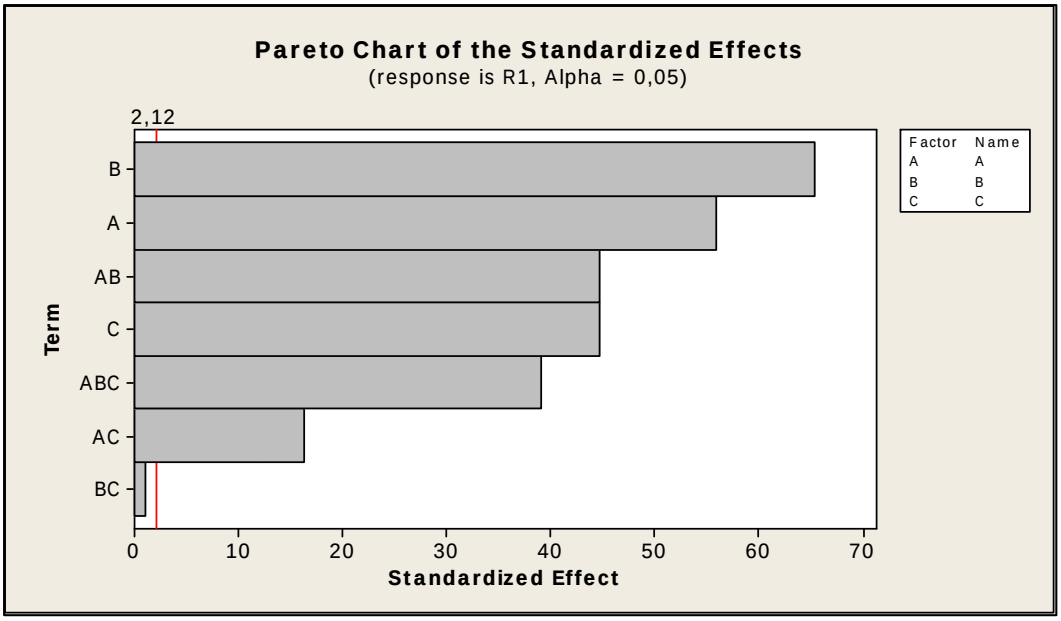
Çizelge 4.12. 'de görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin üçlü etkileşimlerinin R1 parametresi üzerinde etkisi vardır. Çünkü P değeri %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin üçlü etkileşimlerinin R_1 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

R-sq (adj) değerine bakıldığında, %99,83 luk oranın yüksek anlamlı bir istatistik değeri olduğu görülmektedir. İkili etkileşimlerin R_1 parametresi üzerine etkisi araştırılmak üzere yapılan varyans analizinde bu değer %84,19 olarak

hesaplanmıştı. Üçlü etkileşimlerin analize dahil edilmesiyle R-sq (adj) değerinin arttığı görülmüştür.

R_1 parametresi için en yüksek R-sq(adj) değeri %99,83 olarak üçlü etkileşimlerin modele dahil edilmesiyle hesaplanmıştır. Minitab ve Design Expert programlarının çoklu regresyon analizi sonucuna göre, üçlü etkileşimlerin dahil edildiği modelde R_1 parametresine ait regresyon eşitliği aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

$$\begin{aligned} Y_1 = \; & -3{,}1666 \\ & +1{,}2844 * A \\ & +4{,}05 * B \\ & +3{,}3622 * C \\ & -0{,}9574 * A * B \\ & -0{,}5722 * A * C \\ & -2{,}3343 * B * C \\ & +0{,}462 * A * B * C \end{aligned} \qquad (4.1)$$



Şekil 4.22. Faktörlerin Tüm Etkilerinin Pareto Grafiği (R_1)

Oluşturulan pareto grafiğinde faktörlerin ve tüm etkileşimlerinin R_1 parametresi üzerindeki etkisi görülmektedir. Pareto grafiğinde BC etkileşiminin etkisinin , diğer etkileşim etkilerinden daha önemsiz olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.13. Faktörlerin Tüm Etkilerinin R_2 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R2 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R2 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		26,1367	0,05020	520,66	0,000
A	1,2400	0,6200	0,05020	12,35	0,000
B	2,7833	1,3917	0,05020	27,72	0,000
C	5,1633	2,5817	0,05020	51,43	0,000
A*B	-0,6133	-0,3067	0,05020	-6,11	0,000
A*C	0,6400	0,3200	0,05020	6,37	0,000
B*C	0,1800	0,0900	0,05020	1,79	0,092
A*B*C	-0,5267	-0,2633	0,05020	-5,25	0,000

S = 0,245925 PRESS = 2,17725
R-Sq = 99,57% R-Sq(pred) = 99,02% R-Sq(adj) = 99,38%

Analysis of Variance for R2 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	215,667	215,667	71,8891	1188,66	0,000
2-Way Interactions	3	4,909	4,909	1,6364	27,06	0,000
3-Way Interactions	1	1,664	1,664	1,6643	27,52	0,000
Residual Error	16	0,968	0,968	0,0605		
Pure Error	16	0,968	0,968	0,0605		
Total	23	223,208				

Çizelge 4.13. 'de görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin üçlü etkileşimlerinin R_2 parametresi üzerinde etkisi vardır. Çünkü P değeri %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin üçlü etkileşimlerinin R_2 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

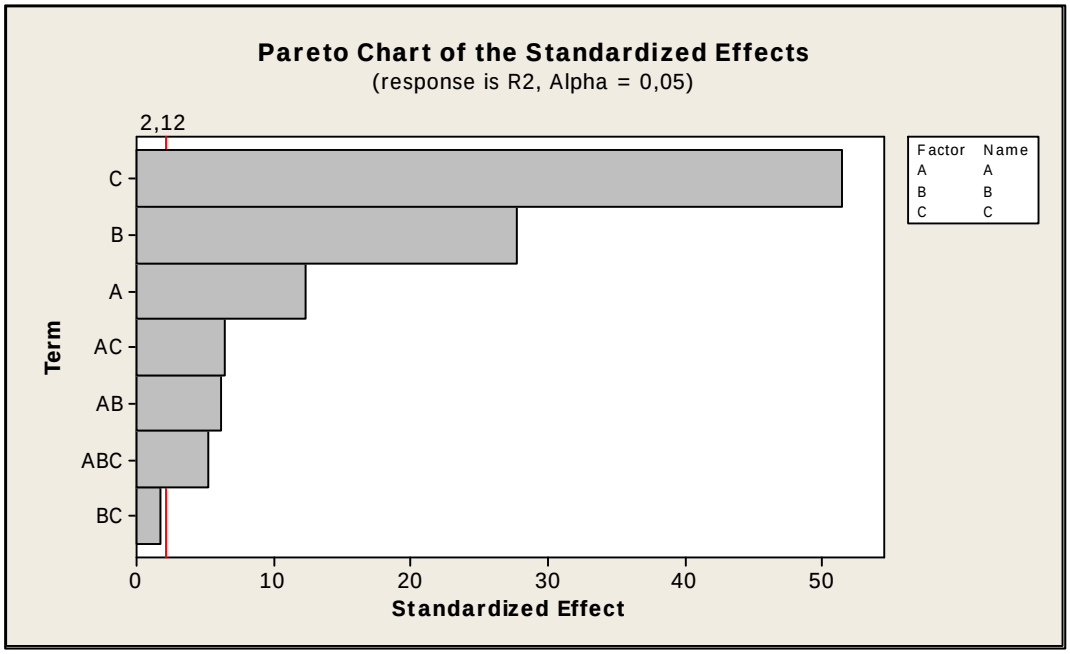
R-sq (adj) değerine bakıldığında, %99,38' lik oranın yüksek anlamlı bir istatistik değeri olduğu görülmektedir. İkili etkileşimlerin R_2 parametresi üzerine etkisi araştırılmak üzere yapılan varyans analizinde bu değer %98,40 olarak

hesaplanmıştı. Üçlü etkileşimlerin analize dahil edilmesiyle R-sq (adj) değerinin arttığı görülmüştür.

R_2 parametresi için en yüksek R-sq(adj) değeri %99,38 olarak üçlü etkileşimlerin modele dahil edilmesiyle hesaplanmıştır.

Minitab ve Design Expert programlarının çoklu regresyon analizi sonucuna göre, üçlü etkileşimlerin dahil edildiği modelde R_2 parametresine ait regresyon eşitliği aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

$$\begin{aligned} Y_2 = \; & 19{,}4439 \\ & -0{,}7339 * A \\ & -0{,}1926 * B \\ & +0{,}0711 * C \\ & +0{,}5370 * A * B \\ & +0{,}9344 * A * C \\ & +3{,}3259 * B * C \\ & -0{,}5852 * A * B * C \end{aligned} \qquad (4.2)$$



Şekil 4.23. Faktörlerin Tüm Etkilerinin Pareto Grafiği (R_2)

Oluşturulan pareto grafiğinde faktörlerin ve tüm etkileşimlerinin R_2 parametresi üzerindeki etkisi olduğu görülmektedir. Pareto grafiğinde R_2 parametresi için de BC etkileşiminin etkisinin, diğer etkileşim etkilerinden daha önemsiz olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14. Faktörlerin Tüm Etkilerinin R_3 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R3 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R3 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,28375	0,002826	100,41	0,000
A	-0,01750	-0,00875	0,002826	-3,10	0,007
B	0,03917	0,01958	0,002826	6,93	0,000
C	-0,03750	-0,01875	0,002826	-6,63	0,000
A*B	-0,00250	-0,00125	0,002826	-0,44	0,664
A*C	0,01083	0,00542	0,002826	1,92	0,073
B*C	0,01750	0,00875	0,002826	3,10	0,007
A*B*C	-0,01750	-0,00875	0,002826	-3,10	0,007

S = 0,0138444 PRESS = 0,0069
R-Sq = 88,63% R-Sq(pred) = 74,41% R-Sq(adj) = 83,65%

Analysis of Variance for R3 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0,0194792	0,0194792	0,0064931	33,88	0,000
2-Way Interactions	3	0,0025792	0,0025792	0,0008597	4,49	0,018
3-Way Interactions	1	0,0018375	0,0018375	0,0018375	9,59	0,007
Residual Error	16	0,0030667	0,0030667	0,0001917		
Pure Error	16	0,0030667	0,0030667	0,0001917		
Total	23	0,0269625				

Çizelge 4.14. 'de görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin üçlü etkileşimlerinin R_3 parametresi üzerinde etkisi vardır. Çünkü P değeri (0,007) %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin üçlü etkileşimlerinin R_3 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

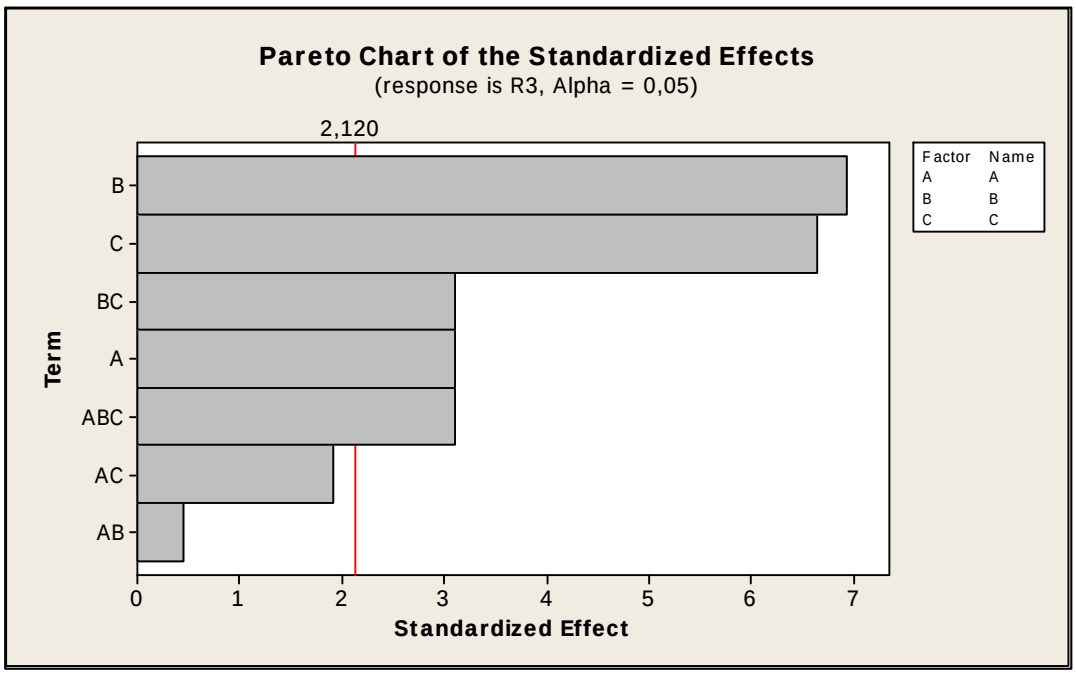
R-sq (adj) değerine bakıldığında, %83,65 lik oranın anlamlı bir istatistik değeri olduğu görülmektedir. İkili etkileşimlerin R_3 parametresi üzerine etkisi

araştırılmak üzere yapılan varyans analizinde bu değer %75,39 olarak hesaplanmıştı. Üçlü etkileşimlerin analize dahil edilmesiyle R-sq (adj) değerinin arttığı görülmüştür.

R_3 parametresi için en yüksek R-sq(adj) değeri %75,39 olarak üçlü etkileşimlerin modele dahil edilmesiyle hesaplanmıştır.

Minitab ve Design Expert programlarının çoklu regresyon analizi sonucuna göre, üçlü etkileşimlerin dahil edildiği modelde R_3 parametresine ait regresyon eşitliği aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

$$\begin{aligned} Y_3 = \; & 0{,}5639 \\ & -0{,}0417 * A \\ & -0{,}1537 * B \\ & -0{,}2075 * C \\ & +0{,}0278 * A * B \\ & +0{,}0258 * A * C \\ & +0{,}1361 * B * C \\ & -0{,}0194 * A * B * C \end{aligned} \qquad (4.3)$$



Şekil 4.24. Faktörlerin Tüm Etkilerinin Pareto Grafiği (R_3)

Oluşturulan pareto grafiğinde faktörlerin ve tüm etkileşimlerinin R_3 parametresi üzerindeki etkisi olduğu görülmektedir. Pareto grafiğinde R_3 parametresi için, AC ve AB etkileşim etkisinin diğer faktör ve etkileşim etkilerinden daha önemsiz olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.15. Faktörlerin Tüm Etkilerinin R_4 Parametresine Olan Etkisi ve ANOVA Tablosu

Factorial Fit: R4 versus A; B; C

Estimated Effects and Coefficients for R4 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1,2108	0,004270	283,60	0,000
A	0,1750	0,0875	0,004270	20,49	0,000
B	-0,4667	-0,2333	0,004270	-54,65	0,000
C	0,2733	0,1367	0,004270	32,01	0,000
A*B	-0,0933	-0,0467	0,004270	-10,93	0,000
A*C	0,1567	0,0783	0,004270	18,35	0,000
B*C	-0,1083	-0,0542	0,004270	-12,69	0,000
A*B*C	-0,0850	-0,0425	0,004270	-9,95	0,000

S = 0,0209165 PRESS = 0,01575
R-Sq = 99,69% R-Sq(pred) = 99,30% R-Sq(adj) = 99,55%

Analysis of Variance for R4 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	1,93868	1,93868	0,646228	1477,09	0,000
2-Way Interactions	3	0,26995	0,26995	0,089983	205,68	0,000
3-Way Interactions	1	0,04335	0,04335	0,043350	99,09	0,000
Residual Error	16	0,00700	0,00700	0,000437		
Pure Error	16	0,00700	0,00700	0,000438		
Total	23	2,25898				

Çizelge 4.15. 'de görüldüğü üzere A,B,C faktörlerinin üçlü etkileşimlerinin R_4 parametresi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Çünkü P değeri %95 güven aralığı içerisinde α =0,05 değerinden küçüktür. Bu aynı zamanda boş hipotezin (Faktörlerin üçlü etkileşimlerinin R_4 parametresi üzerinde etkisi yoktur) reddedilmesi demektir.

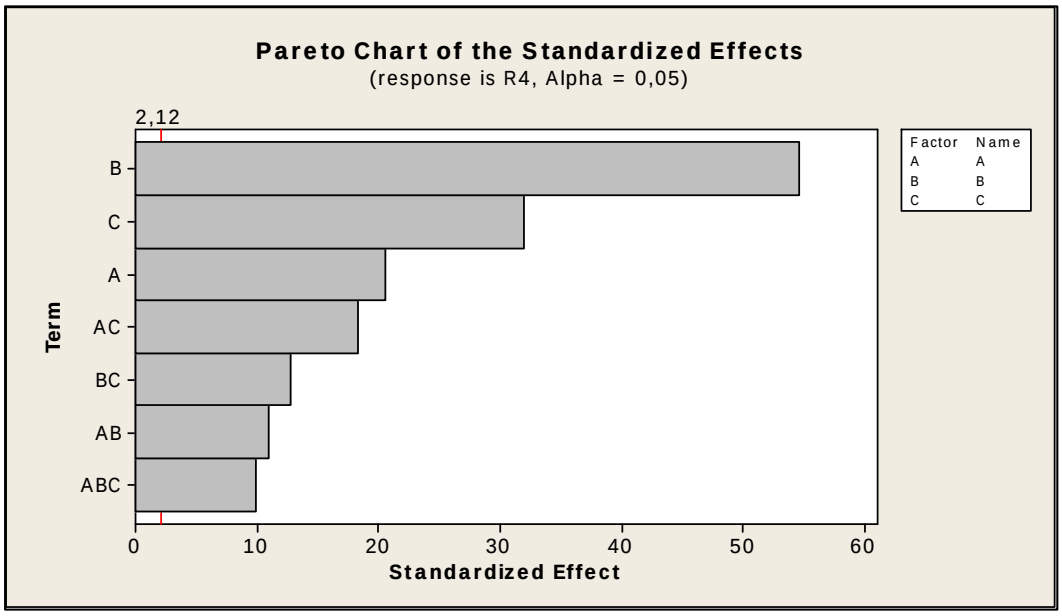
R-sq (adj) değerine bakıldığında, %99,55'lik oranın yüksek dercede anlamlı bir istatistik değeri olduğu görülmektedir. İkili etkileşimlerin R_4 parametresi üzerine etkisi araştırılmak üzere yapılan varyans analizinde bu değer %96,98 olarak

hesaplanmıştı. Üçlü etkileşimlerin analize dahil edilmesiyle R-sq (adj) değerinin arttığı görülmüştür.

R_4 parametresi için en yüksek R-sq(adj) değeri %99,55 olarak üçlü etkileşimlerin modele dahil edilmesiyle hesaplanmıştır.

Minitab ve Design Expert programlarının çoklu regresyon analizi sonucuna göre, üçlü etkileşimlerin dahil edildiği modelde R_4 parametresine ait regresyon eşitliği aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

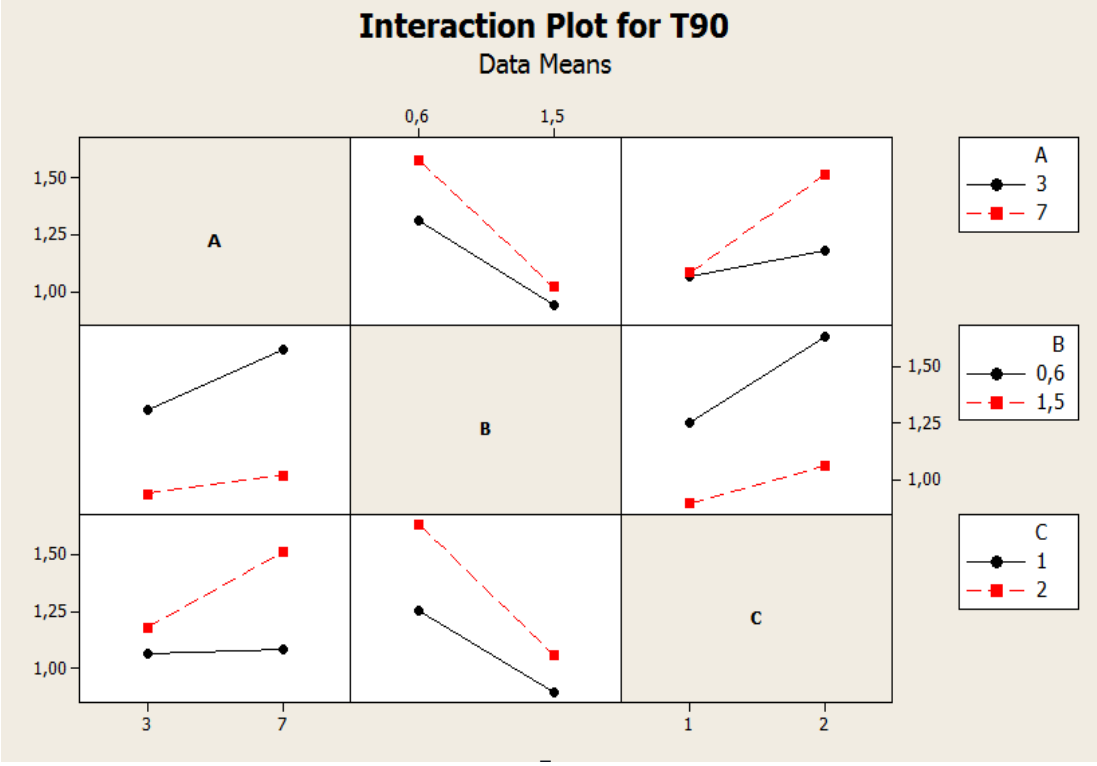
$$\begin{aligned} Y_4 = \; & 1{,}8064 \\ & -0{,}1681 * A \\ & -0{,}6065 * B \\ & -0{,}3614 * C \\ & +0{,}0898 * A * B \\ & +0{,}1775 * A * C \\ & +0{,}2315 * B * C \\ & -0{,}0944 * A * B * C \end{aligned} \qquad (4.4)$$



Şekil 4.25. Faktörlerin Tüm Etkilerinin Pareto Grafiği (R_4)

Oluşturulan pareto grafiğinde faktörlerin ana etkilerinin ve tüm etkileşimlerinin R_4 parametresi üzerindeki etkisi olduğu görülmektedir.

Yapılan tüm analizlerin neticesinde Aktivatör, Akseleratör ve Pişrici grubu faktörlerinin ana etkileri , ikili etkileşimlerinin ve üçlü etkileşimlerinin performans paremetreleri olarak belirlenen ML (R_1), MH (R_2), TS_2 (R_3) ve T_{90} (R_4) üzerindeki etkileri ve önemleri ANOVA çizelgelerinde ve pareto grafiklerinde görülmüştür.



Şekil 4.26. Faktörlerin Etkileşimleri ve R_4 Parametresine Etkileri

Etkileşim grafiğine bakıldığında ilk satırda A faktörünün B ve C faktörüyle olan etkileşimi ve R_4 parametresine olan etkisi, ikinci satırda B faktörünün A ve C faktörüyle olan etkileşimi ve R_4 parametresine olan etkisi, üçüncü satırda ise c faktörünün A ve B faktörüyle olan etkileşimi ve R_4 parametresine olan etkisi görülmektedir. Şekildeki siyah düz çizgiler düşük seviyeleri kırmızı ve kesikli olan çizgiler yüksek seviyeleri göstermektedir. AB etkileşimine bakıldığında, A faktörünün yüksek seviyesinin düşük seviyesine göre B faktörünün karışımdaki oranının artmasıyla, R_4 parametresinin değerini daha hızlı düşürdüğü görülmektedir. AC etkileşimine bakıldığında, A faktörünün yüksek seviyesinin düşük seviyesine göre C faktörünün karışımdaki oranının artmasıyla, R_4 parametresinin değerini hızla

artırdığı görülmektedir. BC etkileşimine bakıldığında ise, B faktörünün düşük seviyesinin yüksek seviyesine göre C faktörünün karışımdaki oranının artmasıyla, R_4 parametresinin değerini daha hızlı artırdığı görülmektedir.

Grafikteki etkileşimler benzer şekilde yorumlanmaktadır ve diğer parametrelerin etkileşim grafikleride ekler bölümünde gösterilmiştir.

Yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek R-sq(adj) değerlerinin istatistiki olarak yüksek anlamlı kabul edildiği oranlar, üçlü etkileşimlerin modele dahil edilmesiyle hesaplanmıştır. Minitab ve Design Expert programında yapılan bu analizler aynı sonucu vermiştir ve R-sq(adj) değerleri birebir aynı hesaplanmıştır.

Varyans ve regresyon analizi sonucu elde edilen ve performans parametrelerinin optimizasyonu için kullanılan lineer modeller (4.1), (4.2), (4.3) ve (4.4) eşitliklerinde belirtilmiştir.

4.1 eşitliği (Y_1) çalışma kapsamında ele alınan faktörlerin (A, B, C) , minimum viskozite değeri (ML) için üretim yapılan reçetede hangi seviyelerde bulunması gerektiğini hesaplamak için kullanılmıştır. Amaç bu değerinin minimize edilmesidir.

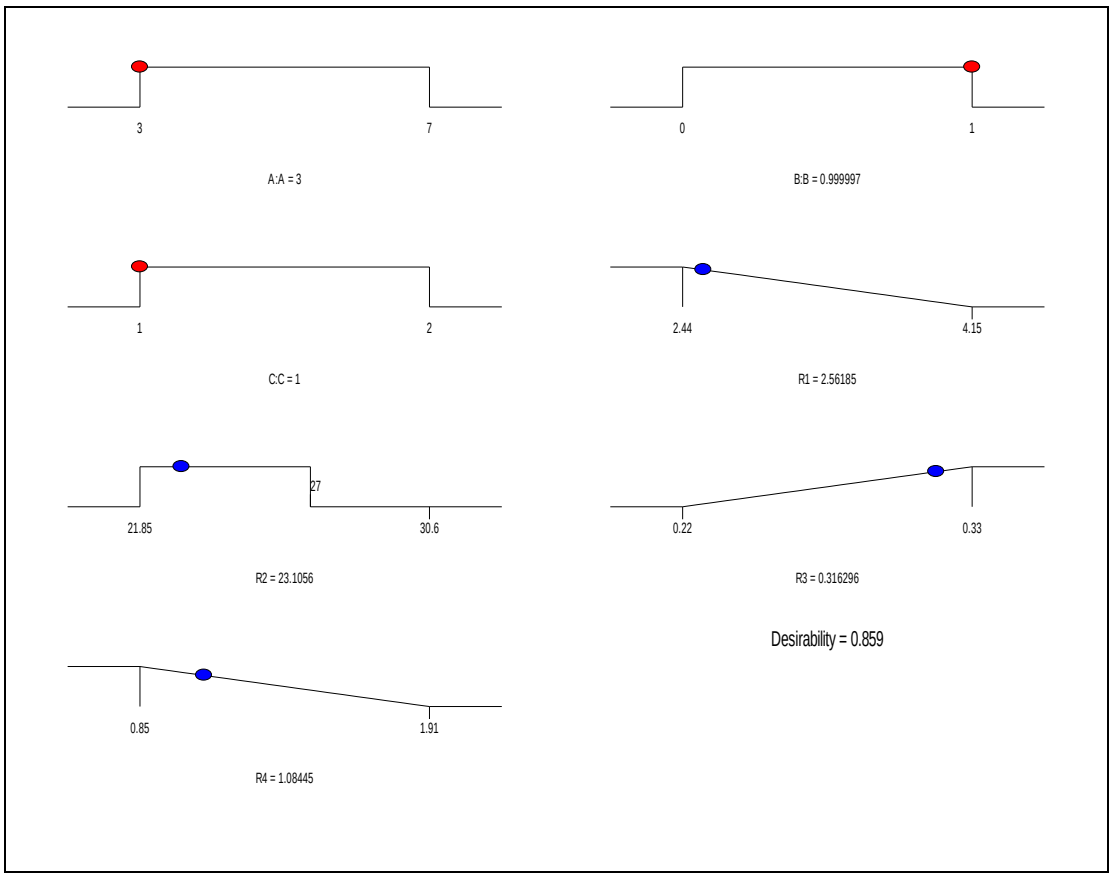
4.2 eşitliği (Y_2) çalışma kapsamında ele alınan faktörlerin (A, B, C , maksimum tork yani hamur sertliği (MH) için üretim yapılan reçetede hangi seviyelerde bulunması gerektiğini hesaplamak için kullanılmıştır. Amaç bu değerin maksimize edilmesidir.

4.3 eşitliği (Y_3) çalışma kapsamında ele alınan faktörlerin (A, B, C) , hamurun pişmeye başlama zamanını (TS_2) hesaplamak için üretim yapılan reçetede hangi seviyelerde bulunması gerektiğini hesaplamak için kullanılmıştır. Amaç bu değerin maksimize edilmesidir.

4.4 eşitliği (Y_4) çalışma kapsamında ele alınan faktörlerin (A, B, C) , hamurun optimum pişme süresini yani ekstrüzyon hattında kalması gereken süreyi (T_{90}) hesaplamak için kullanılmıştır. Çalışmanın en önemli amacı bu parametrenin minimize edilmesiyle ekstrüzyon üretimindeki verimlilik (birim zamandaki üretim miktarının artması) artışının sağlanmasıdır. Çünkü T_{90} değeri, çalışma yapılan işletmede 40 metrelik ekstrüzyon hattından ürünün hangi hızda (metre/dakika)

geçmesi gerektiğini yani ürünün optimum pişme ile vulkanize olabilmesi için kaç saniyede hattan geçmesi gerektiğini göstermektedir.

Design expert paket programı yapılan faktöriyel tasarımda yukaridaki amaçlar doğrultusunda ML, MH, TS_2 ve T_{90} değerinin optimum çözümünü aşağıdaki gibi hesaplamıştır.



Şekil 4.27. Design Expert Optimizasyon Sonuçları

Şekil 4.27. 'de görüldüğü üzere istenilen amaçlar doğrultusunda en uygun çözüm ;

Hamur reçetesinde Aktivatörün 3 PHR, Akseleratörün yaklaşık 1 PHR , Pişricinin 1 PHR olduğu durumda ML,MH, TS_2 ve T_{90} değerlerinin sırasıyla 2.56 , 23.2, 0.32 ve 1.08 olacağı ön görülmüştür.

4.5.3. Matematiksel Modelin Lingoda Çözülmesi

Regresyon analizi sonucu oluşturulan Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 eşitliklerinin lingo paket programında çözülmesiyle elde edilen global sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Amaç fonksiyonları Ekler bölümünde gösterilmiştir.

Kısıtlar;
3<=A<=7 (Aktivatörün düşük ve yüksek seviyeleri arasında bir değer alması)
0.6<=B<=1.5 (Akselaratörün düşük ve yüksek seviyeleri arasında bir değer alması)
1<=C<=2 (Pişiricinin düşük ve yüksek seviyeleri arasında bir değer alması)

Çizelge 4.16. Amaç Fonksiyonlarının Lingo Paket Programda Çözülmesi

Amaç Fonk.	A (PHR)	B (PHR)	C (PHR)	ML (N-m)	MH (N-m)	TS_2 (dakika)	T_{90} (dakika)
Min T_{90}	3	1.5	1	2.66	24.33	0.32	0.89
Min ML	3	0.6	1	2.47	21.54	0.31	1.24
Max MH	7	1.5	2	3.25	30.73	0.28	1.13
Max T_{s2}	3	1.5	1	2.67	24.32	0.32	0.89

Design Expert ve Lingo paket programlarının sonuçları karşılaştırıldığında ; istenilen amaçlar için en iyi karışım oranının A faktörünün 3 phr, B faktörünün 1-1,5 phr ve C faktörünün 1 phr olarak hamur reçetesinde yer alması gerektiği tespit edilmiştir.

4.6. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Deney tasarımı ve optimizasyon sonuçlarına göre doğrulama deneylerinin yapılması için aşağıdaki reçeteler oluşturulmuştur.

Çizelge 4.17. Doğrulama Deneyleri İçin Oluşturulan Reçeteler

REÇETE NO	A (PHR)	B (PHR)	C (PHR)
1.1	5	1,5	1
1.2	5	1,5	1
1.3	5	1,5	1
2.1	3	1,5	1
2.2	3	1,5	1
2.3	3	1,5	1
3.1	3	1	1
3.2	3	1	1
3.3	3	1	1

Deney tasarımının temel ilkeleri doğrultusunda yukarıdaki reçeteler rasgele sırada ve blok etkisinin azaltılması için çalışma başındaki deneme üretimlerini yapan operatörler tarafından üretilmiştir. Deney tasarımının çözünürlüğünün artırılması adına her reçete üç tekrar yapılarak (9 adet üretim) üretilmiş ve reometre testi sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.18. Doğrulama Deneylerinin Reometre Sonuçları

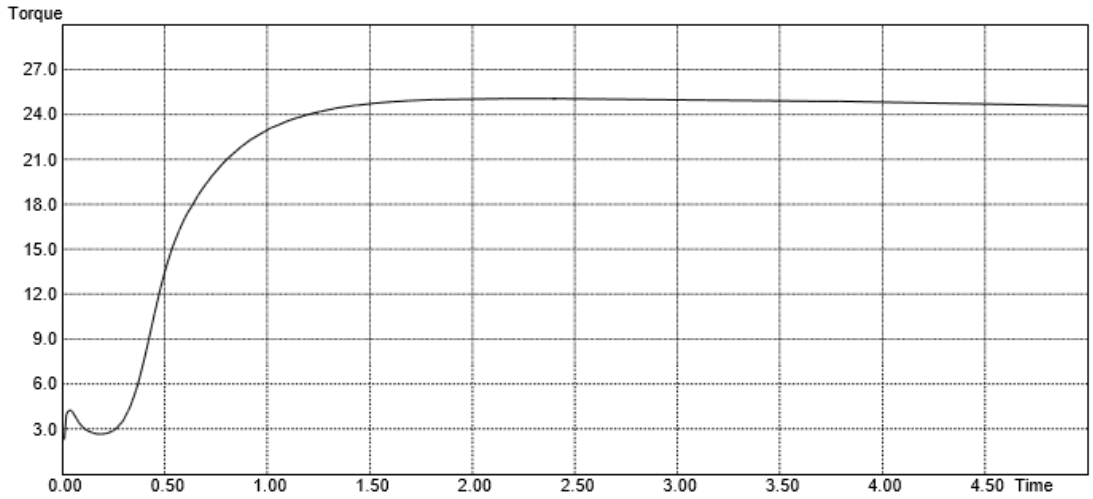
REÇETE NO	ML (N-m)	MH (N-m)	TS_2 (dakika)	T_{90} (dakika)
1.1	2,53	24,64	0,31	1,07
1.2	2,54	24,68	0,31	1,09
1.3	2,58	24,59	0,33	1,08
2.1	2,61	24,76	0,32	0,95
2.2	2,64	24,86	0,33	0,94
2.3	2,59	24,52	0,33	1
3.1	2,51	23,65	0,3	1,05
3.2	2,49	23,4	0,31	1,03
3.3	2,55	23,43	0,29	1,06

1 nolu reçete (1.1 , 1.2 , 1.3) çalışmanın yapıldığı işletmede kullanılan EPDM kauçuk hamuru için reolojik parametrelerin kontrol edildiği standart test

reçetesidir. Doğrulama deneylerinde bu reçetenin de kullanılmasıyla sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Sonuçlara bakıldığında; ML, MH, Ts_2 için optimizasyon modelinin sonucuna göre yapılan üretimin sonuçları ve design expert paket programın sonucuna göre yapılan üretim sonuçlarının firmadaki reçete sonuçlarına yakın olduğu görülmektedir. T_{90} için 2.1, 2.2, 2.3 reçetelerinin sonucu (optimizasyon modelin ön gördüğü reçete) firmada kullanılan reçete sonucuna göre daha düşük bir değer almıştır. 2 nolu reçeteye göre ortalama T_{90} değeri 0.96 dakika iken firmada kullanılan reçetede bu değer ortalama 1.08 dakika olarak hesaplanmıştır ki bu da ürünün ekstrüzyon hattından geçmesi gereken süreyi kısaltmıştır. İşletmede var olan sistemde ortalama 40 metre uzunluğundaki ekstrüzyon hatlarından ürünün geçme hızı (T_{90}=1,08 iken) 37 metre/dakika, optimizasyon sonucuna göre (T_{90}=0,96 iken) 41,6 metre/dakikaya çıkmıştır ve bu sonuca göre yıllık üretim miktarının %12 artacağı hesaplanmıştır.

Yapılan doğrulama üretimleri sonucunda 2 nolu reçete için reometre testi sonucu oluşan grafik aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Doğrulama Deneyi Sonucu Oluşan Reometre Grafiği

Şekil 4.28 'e bakıldığında sonuçların grafikle uyuştuğu görülmektedir. Son olarak kurulan optimizasyon modelinin sonuçlarının değerlendirilmesi için gerçek

üretim değerleri ve optimizasyon modelinin sonuçları karşılaştırılmış ve aşağıdaki çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge 4.19. Matematiksel Modellerin Uygunluk Oranı

Amaç Fonk.	A (Phr)	B (Phr)	C (Phr)	Ẽ	Ê	Δ	ɣ	AP (%)
Min. ML (N/m)	3	0,6	1	2,47	2,47	0,00	0,00	100,00
Max. MH (N/m)	7	1,5	2	30,73	30,57	0,16	0,52	99,48
Min. T90 (Dakika)	3	1,5	1	0,89	0,96	0,07	7,29	92,71
Max.TS2 (Dakika)	3	1,5	1	0,32	0,33	0,01	1,84	98,16

Ẽ = Matematiksel model sonucu elde edilen değer

Ê = Deneme veya doğrulama üretimi sonucu elde edilen değer

Δ = Mutlak hata (Ê - Ẽ)

ɣ = Bağıl Hata (Δ/Ê*100)

AP = Uygunluk oranı (100- ɣ)

Çizelge 4.19 'da görüldüğü üzere matematiksel model sonuçlarının gerçek değerlere uyum oranı oldukça yüksektir. Bu durum kurulan matematiksel modelin istatistiksel olarak gerçek verilerle yüksek anlamlılık düzeyinde uyuştuğunu göstermektedir.

Yapılan tüm analizler sonucu elde edilen diğer grafikler Ekler bölümünde gösterilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Literatür taramalarına bakıldığında, kauçuk hamurun vulkanizasyon prosesinde bir çok çalışma yapıldığı ancak bu çalışmaların daha çok kauçuk kimyası üzerine yapıldığı görülmektedir.

Çalışmamızda kauçuk sektöründe EPDM kauçuk için hamur üretme prosesindeki standart test reçetesinde, deney tasarımı ve matematiksel model yaklaşımı geliştirilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında bu prosesteki faktörler ve etkilediği reolojik parametreler için böyle bir çalışma yoktur. Ayrıca kauçuk hamur üretme prosesinde vulkanizasyonu etkileyen faktörler dikkate alınarak vulkanizasyon parametrelerinin matematiksel fonksiyonları ortaya konmuştur.

Çalışmada kauçuğun ekstrüzyon hattındaki vulkanizasyon prosesini en çok etkilediği düşünülen üç faktör dikkate alınarak, deney tasarımı ve istatistiksel analizlerle (Minitab ve Design Expert Paket Programları kullanılarak) bu faktörlerin ve birbiriyle etkileşimlerinin vulkanizasyon parametrelerine olan etkileri ortaya konmuştur. Yapılan regresyon analizleriyle vulkanizasyon parametrelerinin matematiksel fonksiyonları oluşturulmuş ve bu parametreleri optimize eden matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel model, çoklu regresyon analizleri sonucuna göre Çizelge 5.1 'de görüldüğü üzere en yüksek R-sq(adj) değerinin elde edildiği ve üçlü etkileşimin regresyon analizine dahil edildiği varyans analizi sonuçlarına göre kurulmuştur.

Çizelge 5.1. Tüm Etkiler İçin Özet R-sq(adj) Tablosu

Faktör Etkileri	ML(Tork)-Rsq(adj)	MH(Tork)-Rsq(adj)	Ts_2-Rsq(adj)	T_{90}-Rsq(adj)
Ana Etkiler	66,81%	96,11%	68,08%	83,69%
A*B, B*C,A*C	84,19%	98,4%	75,39%	96,98%
A*B*C	99,83%	99,38%	83,65%	99,55%

Geliştirilen modelin optimizasyon modeli ile çözümleri bulunmuş ve birbiri ile uyum oranları analiz edilmiştir. Optimizasyon programı olarak Lingo Student Version kullanılmış ve global çözümler bulunmuştur. Global çözümler ML için 2,66 (N-m), MH için 24,33 (N-m) ,Ts_2 için 0,32 dakika ve T_{90} için 0,89 dakika olarak tespit edilmiştir ve bu sonuçlar doğrulama üretimi yapılarak minimum sapmalarla doğrulanmıştır.

Geliştirilen bu yaklaşımla çalışmanın yapıldığı işletmedeki EPDM kauçuk standart test reçetesinde, vulkanizasyona etki eden faktörlerden Aktivatörün 3 phr, Akselaratörün 1,5 phr ve pişiricinin 1 phr oranında reçetede bulunmasıyla yapılan doğrulama üretimi sonucu ,vulkanizasyon parametrelerinin (ML,MH,Ts_2) optimum değerde olacağı ve T_{90} parametresinin 1,08 dakika'dan 0,96 dakikaya düşürülmesiyle üretim müktarının yıllık %12 artacağı belirtilmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışmayla firmada kullanılan reçetedeki faktörlerin karışım oranının optimuma yakın değerlerde olduğu da görülmüştür.

5.2. Öneriler

Çalışmada regresyon modelinde elde edilen fonksiyonlar ile matematiksel model kurulmaktadır. Çalışmada yapılan regresyon modelleri deney tasarımının ön gördüğü 24 adet deneme üretiminden elde edilen değerler için yapılmıştır. Regresyon modelinin gerçeğe yakın sonuçlar verebilmesi için işletmede yaşayan süreçteki değerler kaydedilip bu analizler güncellenmelidir.

Yapılan deney tasarımı ve optimizasyon modellerinde çalışma maliyeti dikkate alınarak vulkanizasyon sürecini etkileyen üç faktör ve bu faktörlerin etkilediği dört parametre incelenmiştir. Reçetedeki diğer faktörlerin etkisi dikkate alınmamıştır. Ayrıca bu çalışma EPDM kauçuk hamuru üretme prosesinde yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda benzer prosteki farklı kauçuk reçeteleri ve reçetedeki tüm faktörler dikkate alınarak daha geniş kapsamda bir çalışma yapılabilir. Çalışmamızda faktöriyel deney tasarımı ve nonlinear optmizasyon modeli yaklaşımı geliştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda deney tasarımı ve bir başka optimizasyon tekniği olan hedef programlama kullanılabilir.

KAYNAKLAR

ABDELAZIZ, M.M., BASFAR, A.A.,2000. Agingofetylene-propylenedien rubber (EPDM) vulcanized by -ɣ radiation. Polymer Testing,19, 591-602.

AKYALÇIN, L., Kaytakoğlu, S., 2005. Sitrat prosesiyle SO2 gideriminde optimum şartların belirlenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 8.

ANAGÜN, A.S., 2000. Kalite kontrolde ileri teknikler ders notları.

ANTONY, J., Simultaneous Optimisation of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Using Taguchi's Quality Loss Function, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2001; 17:134-138.

BAYNAL, K., 2003. Çok yanıtlı kalite karakteristiklerinin eş zamanlı en iyilenmesinde Taguchi Yöntemi ve otomativ endüstrisinde bir uygulama, Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt:16, Sayı:2.

BESTERFIELD, D.H., Besterfield, C., Besterfield, G.H., Besterfield, M,, 1995. Total quality management, Prentice Hall Inc., New Jersey.

BiLIŞiK, M.T., Gençyılmaz, G., 2006. Hizmet kalitesinin iyileştirilmesinde deneysel tasarım metodu, İstanbul Kültür Üniversitesi, VI. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu.

BUNDAY, Brian D., and Victor A. Kiri. "Maximum likelihood estimation-practical merits of variable metric optimisation methods." The Statistician (1984): 349-355.

BOTROS, S.H. ,ABDEL-NOUR, K.N., 1997. Preparation and characterization of butyl/NBR vulcanizates. Polymer Degradation and Stability, 62, 479-485.

CANIYILMAZ, E., Kutay, F., 2003. Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt:18, No:3, 51-63.

COCHRAN, W.G., G.M Cox. Experimental Designs, 2nd ed. John Wiley & Sons, 1957

CONNOR, A.M., 1999. Parameter sizing for fluid power circuits using Taguchi Methods, Journal of Engineering Design, Vol.10, No.4. Çömlekçi, N., 2003.

DERVİŞOĞLU, Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa Yayınları Ders Kitapları. 468s. N., Muluk, Z., 2006. Taguchi tasarımının uygulanması ve klasik kesirli çok etkili tasarımla karşılaştırılması, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Eskişehir.

DOVEY, S.J., Matthews, A., 1998. Taguchi and TQM quality issues for surface engineered applications, Research Centre in Surface Engineering, Universitiy of Hull, Surface and Coatings Technology, Hull.

DURMAZ, S., 2008. Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyonu prosesine uygulanması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 150s.

EKREN, O. and Küçüka, S., Energy Saving Potential of Chiller System with Fuzzy Logic Control of the Compressor Speed and Electronic Expansion Valve Opening, International Journal of Energy Research (in press) 2010.

GASS, S.I. ve Assad, A.A. (2000), Annotated Timeline of Operations Research: An Informal History, Springer-Verlag New York, NY.

GHANI, J.A., Choudhury, I.A., Hassan, H.H. Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters. Journal of Materials Processing Technology Vol 145 84–92, 2004.

HAMZAÇEBİ, C., Kutay, F., 2003. Taguchi metodu bir uygulama, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Dergisi, Sayı:3-4, 7-17. HSIEH, T.P., DYE, C.Y., 2010. Pricing And Lot-Sizing Policies For Deteriorating Items With Partial Backlogging Under Inflation. Expert Systems With Applications ,37: 7234–7242.

HINES W.W., D.C. Montgomery. Probability and Statistics in Engineering and Management Science, 3rd Edition, John Wiley and Sons, 1990.

H. R. Lochner, Designing for quality, An Introduction to The Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Method Design, Chapman-Hall, 1990.

KAĞNICIOĞLU, C.H., 1998. Üretim öncesi kalite kontrolünde Taguchi yöntemi ve kükürtdioksit giderici sitrat yöntemine uygulanması, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 216s.

KAHANER , D.,Moler, C., Nash, S.,Numerical Methods and Software, Prentice Hall, Inc.Englewood Cliffs, NJ, 1989.

LUNANI, M., Nair, V.N., Wasserman, G.S., 1997. Graphical metods for robust design with dynamic characteristics, Journal of Quality Technology, Vol.29, 327- 338.

MARANCI, ŞENER. "Metal plastik birleştirmelerde ara yüzey incelemesi." (2009). Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Geliştirilmesi Projesi, Kimya Teknolojisi, Lastik Hamuru Oluşturma , Ankara, 2008.

MONTGOMERY, D.C., Design and analysis of experiment, John Wiley& Sons, Newyork, 1991.

MONTGOMERY, D.C. Design and analysis of experiments, 6th ed., John Wiley & Sons Inc. Newyork. 3-10. Ss ,2005.

PEACE, G.S., 1992. Taguchi Methods, A Hands-On Apprıoach, Addison-Wesley Publishing Company, inc.ISBN 0-201-56311-8.

ROSS, P.J., 1996. Taguchi tecniques for quality engineering, McGrow – Hill International book company, ISBN 0-07-114663-6, 1-73.

ROSS, W., Sykes, S., 1989. Optimization of a hot-stamping process, American supplier institute inc., Michigan.

SAVAŞKAN, M., Taptık, Y., Ürgen. M., 2004. Deney tasarımı yöntemi ile matkap uclarında performans optimizasyonu, İTÜ Dergisi, Cilt: 3, Sayı:6, 117-128.

SAVRAN, H., 2001. Elastomer Teknolojisi-1.Acar Matbaacılık, İstanbul,136s.

SCHEFFLER, E., 1997. Statische versychplaning und austwertung, Eine Einführung in die Praxis der statistichen Versuchplanunug, Deutscher Verlog für Grund staffindustrie Stuttgard, ISBN 3-342-00366-9, 1-50.

SHANG S., P. R., Multicriteria Design and Control of a Cellular Manufacturing System Through Simulation and Optimization, Int. J. Prod. Res., Vol. 36, No. 6, p.1515 – 1528, 1998.

ŞANYILMAZ, M., 2006. Deney tasarımı ve kalite geliştirmeleri faaliyetlerinde Taguchi yöntemiyle bir uygulama, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 87s.

ŞIRVANCI, M., 1997. Kalite için deney tasarımı, Literatür yayınları.İstanbul, 110s. Taguchi, G., Chowdury, S., Wu, Y., 2005. Taguchi's quality engineering hanbook. ASI consulting group, LLC, Livonia, Michigan, ISBN 0-471-41334-8.

TANG, J., Tang K., 1989. Design product specifications for multi- characteristic ınspection, Management Science, Vol.35, No.6, p.743-755.

TRIANTAPHYLLOU, E., Shu B., Sanchez S. N. ve Ray, T. ; "Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach", Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering; John Wiley & Sons, Vol. 15, 175-186, 1998.

TÜRK BİYOKİMYA DERGİSİ [Turkish Journal of Biochemistry–Turk J Biochem], 2013.

VIJAYAN N., The Role of Interactions, SN Rations, and Selection of Quality Characteristics, Technometrics, Vol. 34, No. 2, p.137, Mayıs 1992 GÜNTHER, A., KHAN, SA., THALMANN, M., TRACHSEL, F., JENSEN, KF., Transport and reaction in microscale segmented gas-liquid flow. Lab Chip 2004; 4:278−286

YANG, W.H., Tarng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning based on Taguchi Method, Journal of Materials Processing Technology, Taiwan.

YANG, W.H., Tarng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi Metod, Journal of Materials Processing Technology, 84, 123-130.

ZBIEK, R. M., & Conner, A. (2006). Beyond motivation: Exploring mathematical modeling as a context for deepening students' understandings of curricular mathematics. Educational Studies in Mathematics, 63(1), 89-112.

http://kaucuk.nedir.com/#ixzz37dVHr7PB

http://en.wikipedia.org/

http://www.hf-mixinggroup.com/

http://www.prodicon.it/en/products/

http://www.directindustry.com/

http://www.gerlach-maschinen.de/
www.kraussmaffeigroup.com

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İstanbul'da doğdu. 2007 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazanıp 2011 yılında başarıyla mezun olmuştur. Mezun olur olmaz 2011 Yılında Adana-Mersin karayolu üzerinde bulunan Seçil Kauçuk San. Ve Tic. A.Ş' de Planlama Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2012 yılı şubat ayında Endüstri Mühendisliği Ana bilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına başlamıştır.

EKLER

EK 1

ML Minimizasyon Amaç Fonksiyonu;

Min (Y_1) = -3.1667 + 1.2844 *A + 4.05 *B + 3.3622 *C - 0.9574 *A*B - 0.5722 *A*C - 2.3343 *B*C + 0.4620 *A*B*C

Kısıtlar;

Y_2= 19.4439-0.7339 *A -0.1926 *B + 0.0711* C+0.5370 *A* B +0.9344 *A*C+3.3259 *B*C -0.5852 *A*B*C

Y_3= 0.5639 - 0.0417 *A - 0.1537 *B - 0.2075 *C + 0.0278 *A*B + 0.0258 *A*C + 0.1361 *B*C - 0.0194 *A*B*C

Y_4= 1.8064 - 0.1681 *A - 0.6065 *B - 0.3614 * C + 0.0898 *A*B + 0.1775 *A*C + 0.2315 *B*C - 0.0944 *A*B*C

3<=A

A<=7

0.6<=B

B<=1.5

1<=C

C<=2

MH Maximizasyon Amaç Fonksiyonu;

Max (Y_2) = 19.4439-0.7339 *A -0.1926 *B + 0.0711* C+0.5370 *A* B +0.9344 *A*C+3.3259 *B*C -0.5852 *A*B*C

Kısıtlar;

Y_1= -3.1667 + 1.2844 *A + 4.05 *B + 3.3622 *C - 0.9574 *A*B - 0.5722 *A*C - 2.3343 *B*C + 0.4620 *A*B*C

Y_3= 0.5639 - 0.0417 *A - 0.1537 *B - 0.2075 *C + 0.0278 *A*B + 0.0258 *A*C + 0.1361 *B*C - 0.0194 *A*B*C

Y_4= 1.8064 - 0.1681 *A - 0.6065 *B - 0.3614 * C + 0.0898 *A*B + 0.1775 *A*C + 0.2315 *B*C - 0.0944 *A*B*C

3<=A

A<=7

0.6<=B

B<=1.5

1<=C

C<=2

T_{s2} Maximizasyon Amaç Fonksiyonu;

Max (Y_3) = 0.5639 - 0.0417 *A - 0.1537 *B - 0.2075 *C + 0.0278 *A*B + 0.0258 *A*C + 0.1361 *B*C - 0.0194 *A*B*C

Kısıtlar;

Y_1= -3.1667 + 1.2844 *A + 4.05 *B + 3.3622 *C - 0.9574 *A*B - 0.5722 *A*C - 2.3343 *B*C + 0.4620 *A*B*C

Y_2= 19.4439-0.7339 *A -0.1926 *B + 0.0711* C+0.5370 *A* B +0.9344 *A*C+3.3259 *B*C -0.5852 *A*B*C

Y_4= 1.8064 - 0.1681 *A - 0.6065 *B - 0.3614 * C + 0.0898 *A*B + 0.1775 *A*C + 0.2315 *B*C - 0.0944 *A*B*C

3<=A

A<=7

0.6<=B

B<=1.5

1<=C

C<=2

T_{90} Minimizasyon Amaç Fonksiyonu;

Min (Y_4**)** = 1.8064 - 0.1681 **A* - 0.6065 **B* - 0.3614 * *C* + 0.0898 ***A*B* + 0.1775 ***A*C* + 0.2315 ***B*C* - 0.0944 ***A*B*C*

Kısıtlar;

Y_1= -3.1667 + 1.2844 **A* + 4.*05* **B* + 3.3622 **C* - 0.9574 ***A*B* - 0.5722 ***A*C* - 2.3343 ***B*C* + 0.4620 ***A*B*C*

Y_2= 19.4439-0.7339 **A* -0.1926 **B* + 0.0711* *C*+0.5370 ***A** *B* +0.9344 ***A*C*+3.3259 ***B*C* -0.5852 ***A*B*C*

Y_3= 0.5639 - 0.0417 **A* - 0.1537 **B* - 0.2075 **C* + 0.0278 ***A*B* + 0.0258 ***A*C* + 0.1361 ***B*C* - 0.0194 ***A*B*C*

3<=A

A<=7

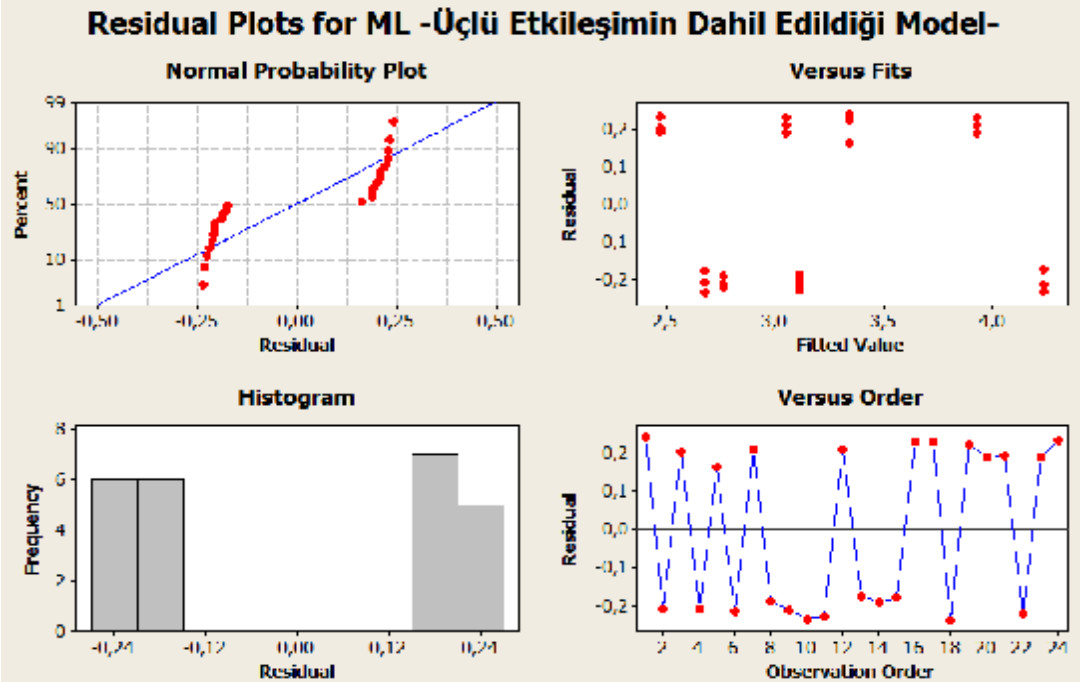
0.6<=B

B<=1.5

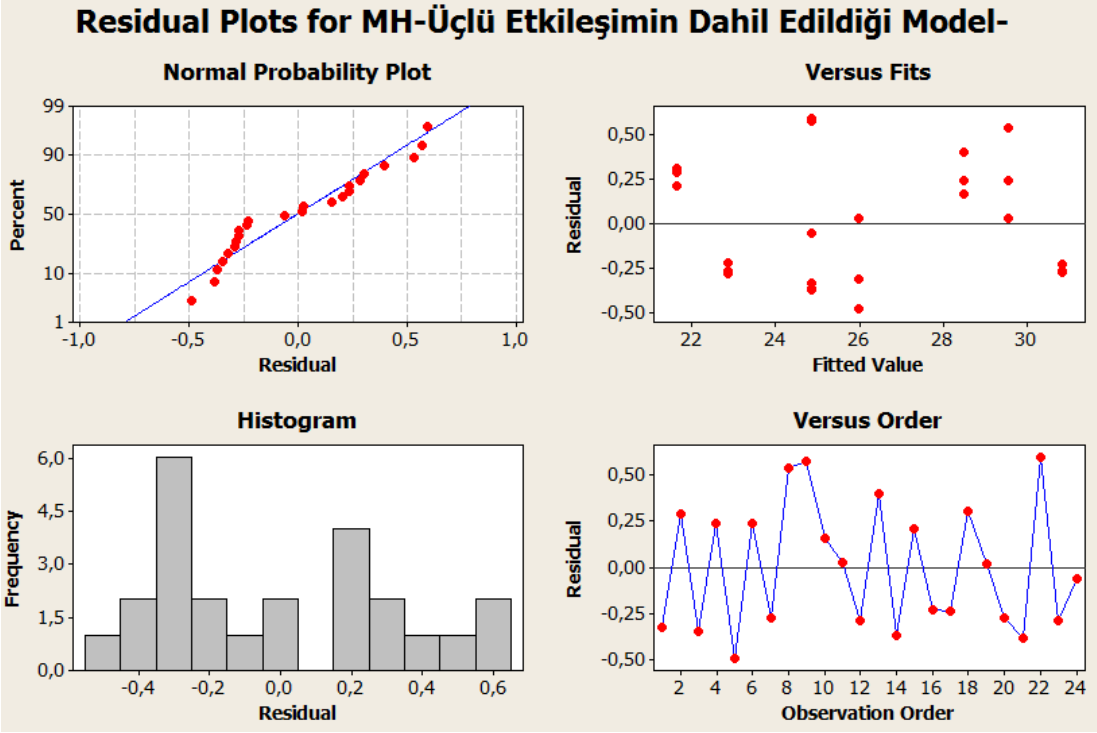
1<=C

C<=2

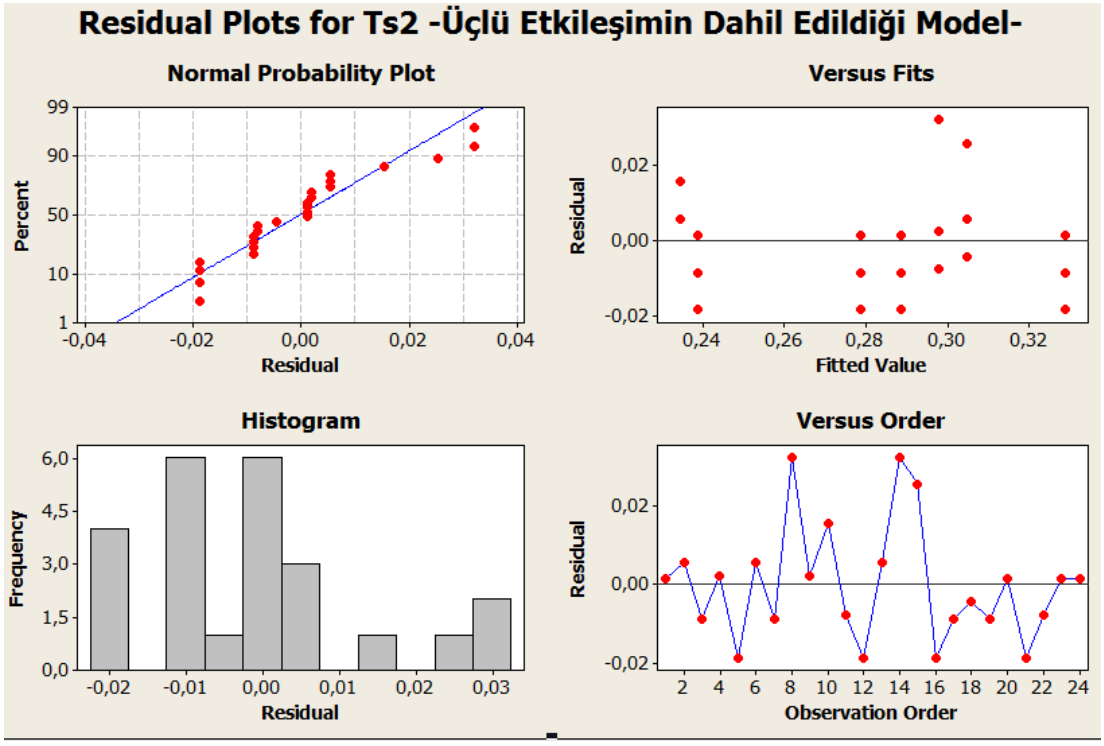
EK 2


Residual Plots for ML -Üçlü Etkileşimin Dahil Edildiği Model-
Normal Probability Plot
Percent
Residual
Versus Fits
Residual
Fitted Value
Histogram
Frequency
Residual
Versus Order
Residual
Observation Order

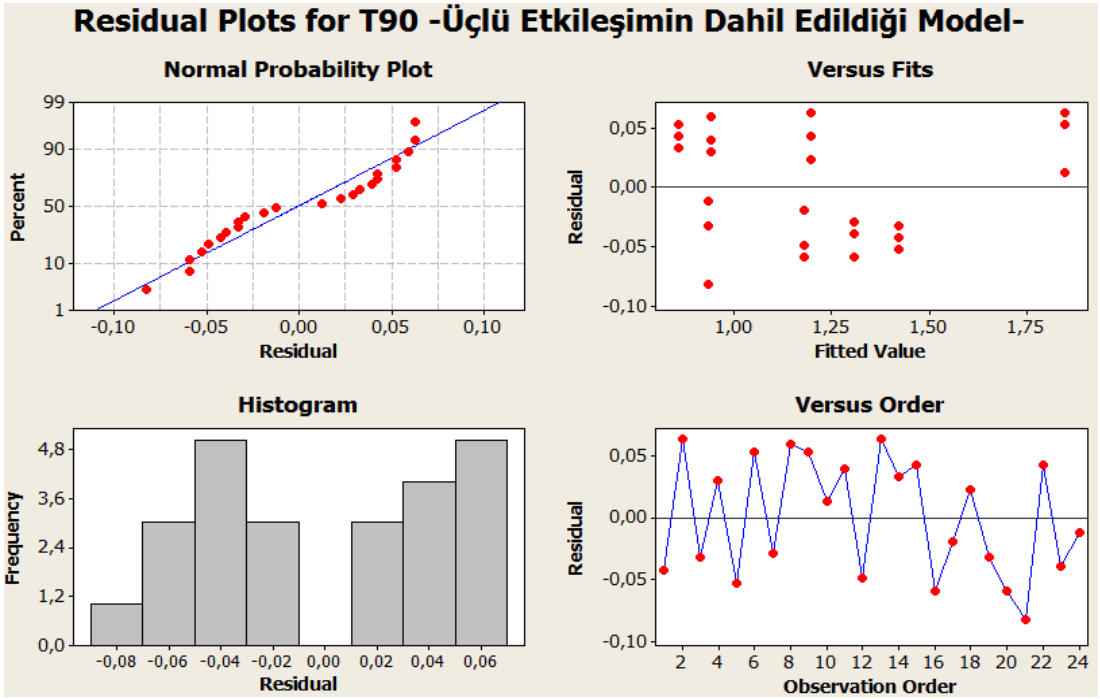
EK 3


Residual Plots for MH-Üçlü Etkileşimin Dahil Edildiği Model-
Normal Probability Plot
Percent
Residual
Versus Fits
Residual
Fitted Value
Histogram
Frequency
Residual
Versus Order
Residual
Observation Order

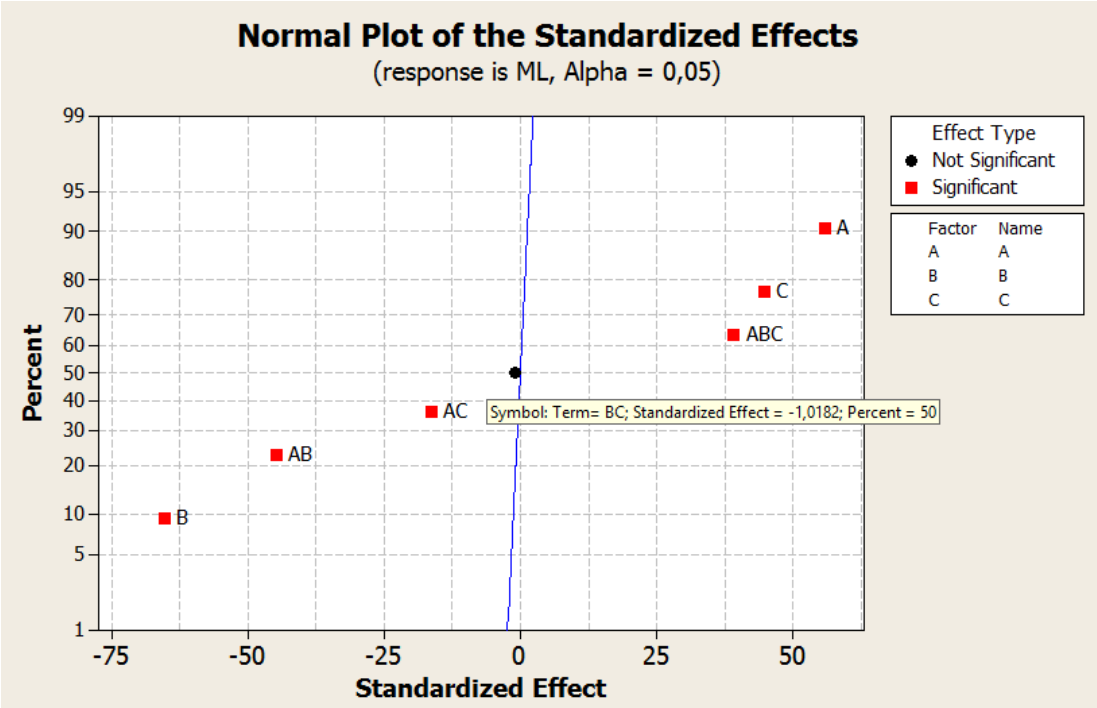
EK 4


Residual Plots for Ts2 -Üçlü Etkileşimin Dahil Edildiği Model-
Normal Probability Plot
Percent
Residual
Versus Fits
Residual
Fitted Value
Histogram
Frequency
Residual
Versus Order
Residual
Observation Order

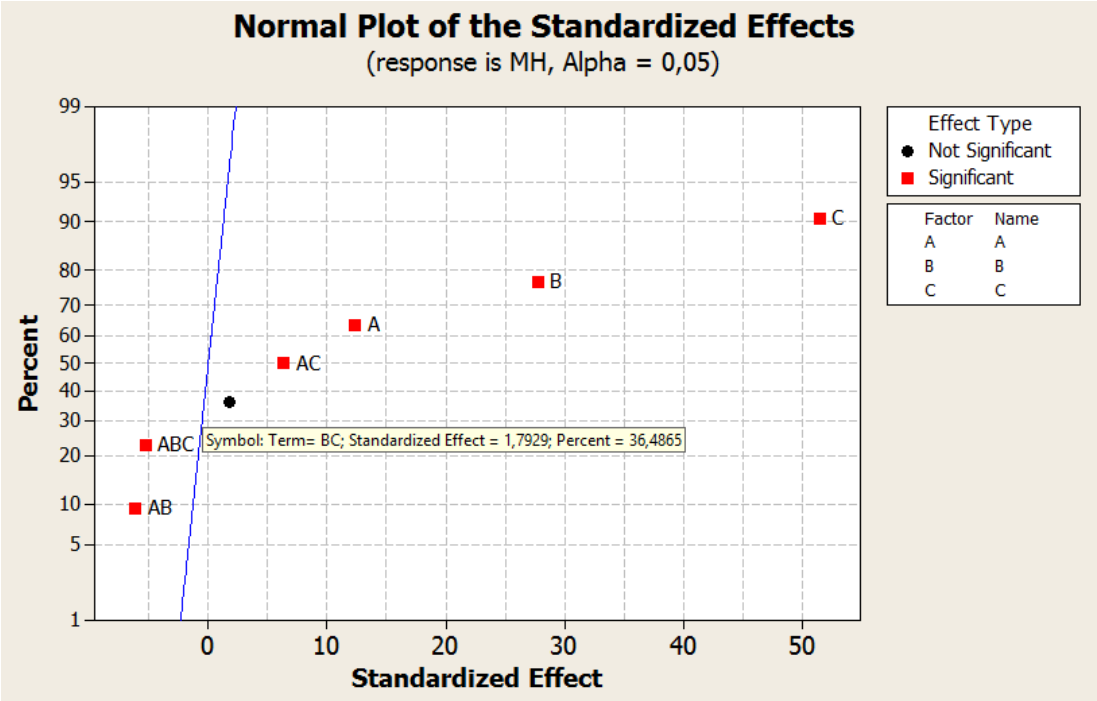
EK 5


Residual Plots for T90 -Üçlü Etkileşimin Dahil Edildiği Model-
Normal Probability Plot
Percent
Residual
Versus Fits
Residual
Fitted Value
Histogram
Frequency
Residual
Versus Order
Residual
Observation Order

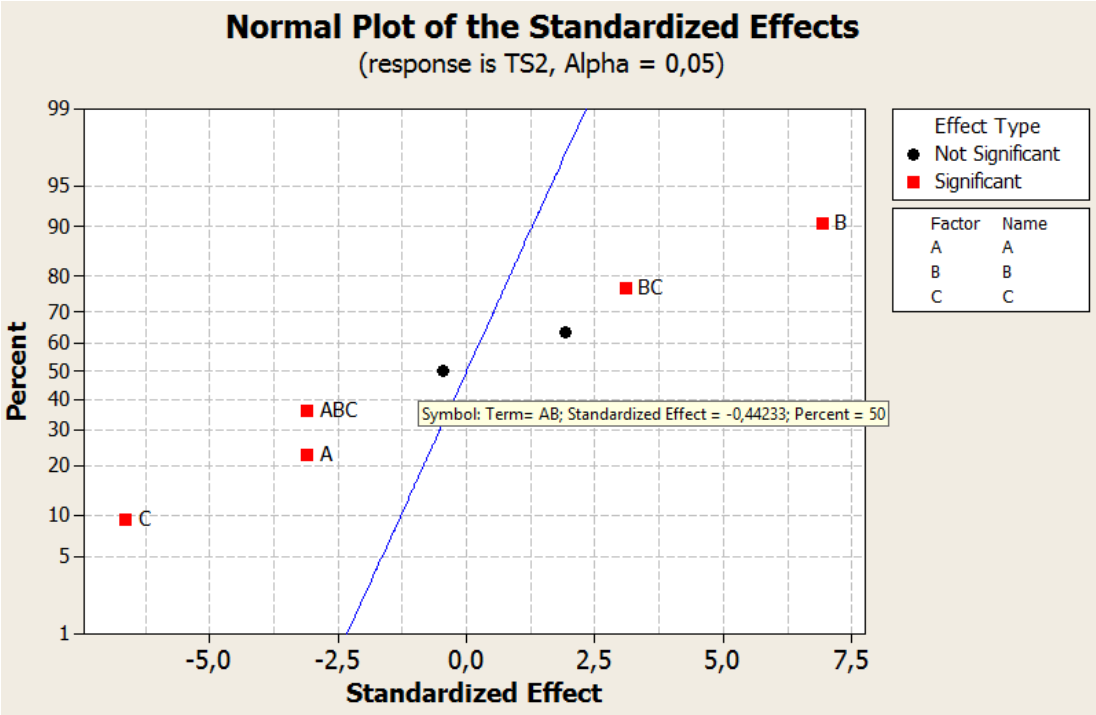
EK 6


Normal Plot of the Standardized Effects
(response is ML, Alpha = 0,05)
Percent
Standardized Effect
Effect Type
Not Significant
Significant
Factor Name
A A
B B
C C
A
C
ABC
AC
AB
B
Symbol: Term= BC; Standardized Effect = -1,0182; Percent = 50

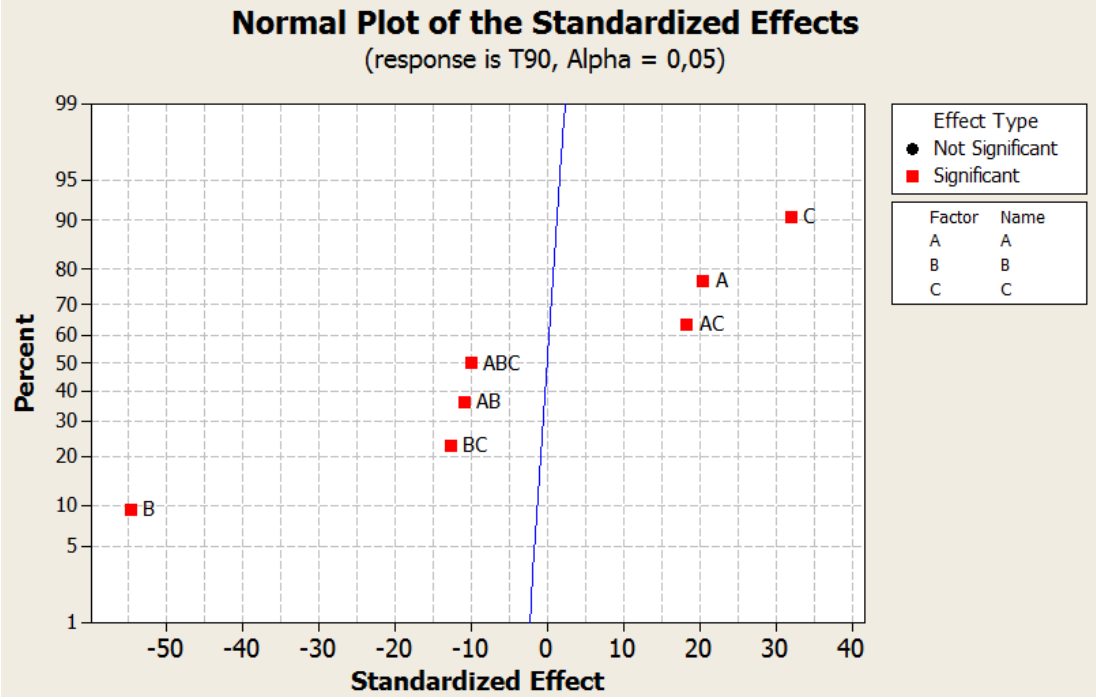
EK 7


Normal Plot of the Standardized Effects
(response is MH, Alpha = 0,05)
Percent
Standardized Effect
Effect Type
Not Significant
Significant
Factor Name
A A
B B
C C
C
B
A
AC
ABC
AB
Symbol: Term= BC; Standardized Effect = 1,7929; Percent = 36,4865

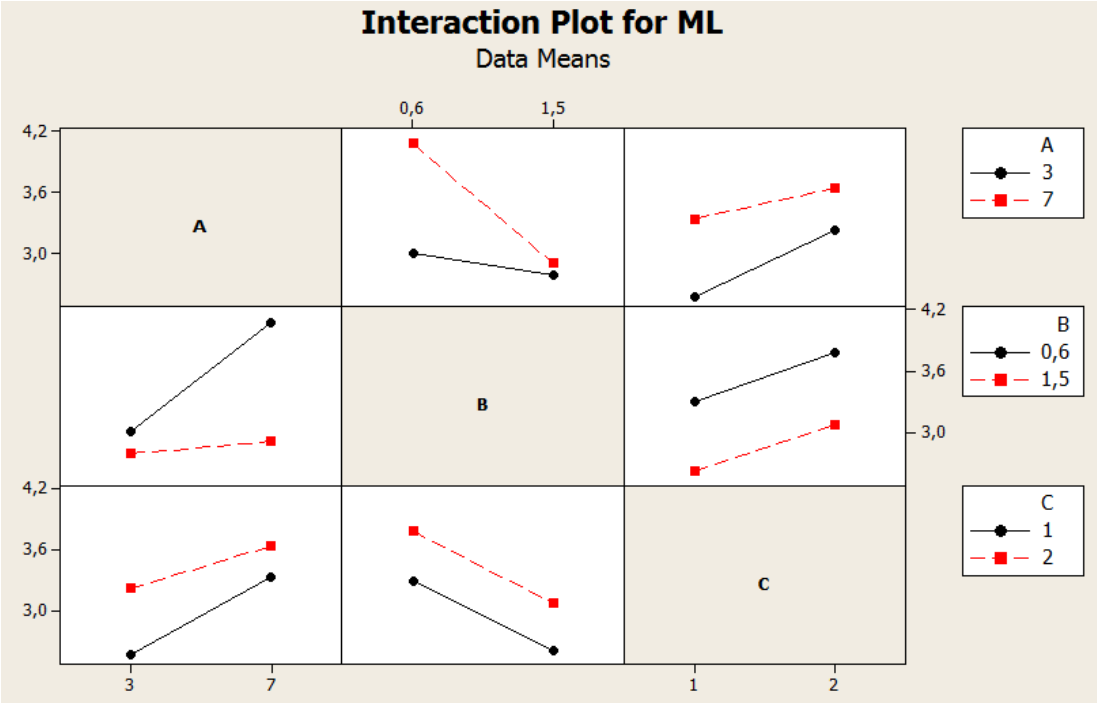
EK 8


Normal Plot of the Standardized Effects
(response is TS2, Alpha = 0,05)
Percent
Standardized Effect
Effect Type
Not Significant
Significant
Factor Name
A A
B B
C C
B
BC
ABC
A
C
Symbol: Term= AB; Standardized Effect = -0,44233; Percent = 50

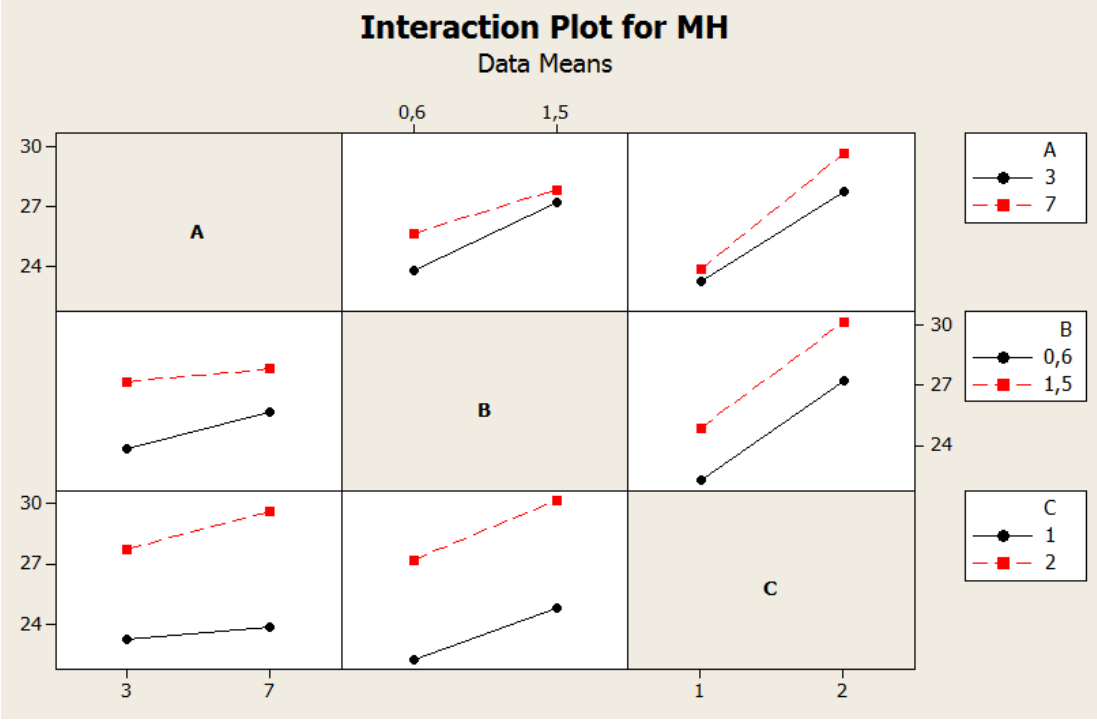
EK 9


Normal Plot of the Standardized Effects
(response is T90, Alpha = 0,05)
Percent
Standardized Effect
Effect Type
Not Significant
Significant
Factor Name
A A
B B
C C
C
A
AC
ABC
AB
BC
B

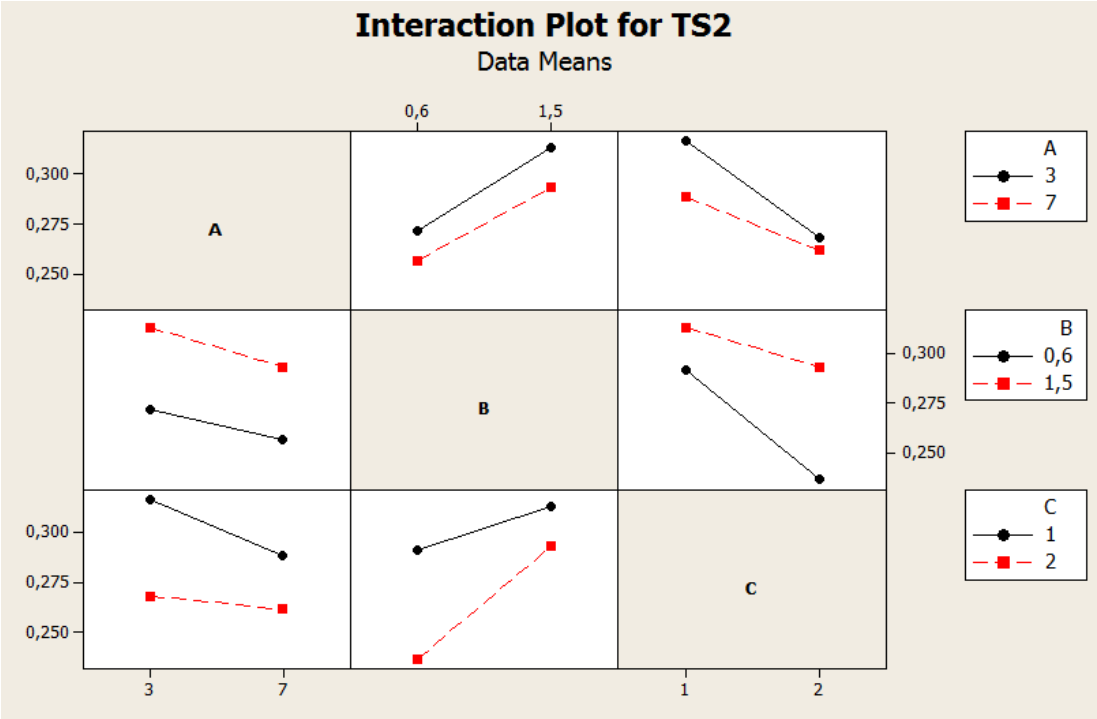
EK 10


Interaction Plot for ML
Data Means
0,6
1,5
4,2
3,6
3,0
A
B
C
3
7
1
2
A
3
7
B
0,6
1,5
C
1
2

EK 11


Interaction Plot for MH
Data Means
0,6
1,5
30
27
24
A
B
C
3
7
1
2
A
3
7
B
0,6
1,5
C
1
2

EK 12


Interaction Plot for TS2
Data Means
0,6
1,5
0,300
0,275
0,250
A
B
C
3
7
1
2
A
3
7
B
0,6
1,5
C
1
2