

**DENEY TASARIMI VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
KULLANILARAK PLASTİK ENJEKSİYON ÇEVİRİM SÜRESİNİN
OPTİMİZASYONU**

Anıl GÜZELKÜÇÜK

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mayıs 2021

ÖZET

DENEY TASARIMI VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK PLASTİK ENJEKSİYON ÇEVİRİM SÜRESİNİN OPTİMİZASYONU

Anıl GÜZELKÜÇÜK

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mayıs 2021

Danışman: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL

Optimizasyon, bir sistemde bulunan kaynakların (zaman, maliyet, işgücü, kapasite vs.) en verimli şekilde kullanarak belirlenen hedefin en iyilenmesi için uygulanması gereken işlem veya metotların bütünüdür. Deney tasarımı, süreç girdilerinde yapılan değişikliklerin, süreç çıktısı üzerinde etkisinin analiz edilme yöntemidir. Sistemde var olan faktörlerin, çıktı üzerinde etkilerinin hangi boyutlarda olduğunu en az deney sayısı ile bulmaya yarayan etkin bir yöntemdir. Çok kriterli karar verme yöntemleri ise, karar sürecini belirlenen kriterlere göre modelleyerek, karar verme sürecinde elde edilecek faydayı en iyileyecek şekilde analiz etme çalışması bütünüdür. Birden fazla kriter altında, çok sayıda alternatif arasından karar verici için en faydalı olanının seçilmesi durumunda başvurulacak bir yöntemdir.

Bu çalışmada, plastik enjeksiyon sektöründe en yaygın yöntem olarak kullanılan kalıplama yöntemi ile gerçekleştirilen üretim prosesinin çevrimini en aza indirme konusu altı sigma yaklaşımı ile ele alınmıştır. Problemin çözümünde ilk olarak, çalışma yapılacak kalıbın seçimi çok kriterli karar verme yöntemleriyle belirlenmiştir. İkinci aşamada ise kesirli faktöriyel tasarım yöntemi ile deneyler tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Çevrim süresini en azlayacak faktörler ve seviyeleri belirlenmiştir. Son bölümde ise belirlenen kalıp ve yapılan optimizasyon işlemleri ile birlikte geçmiş ve şimdiki durum karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Plastik enjeksiyon, Karar verme, Deney tasarımı, Optimizasyon, Altı sigma.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF PLASTIC INJECTION CYCLE TIME WITH EXPERIMENTAL DESIGN METHODS AND MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHODS

Anıl GÜZELKÜÇÜK

Department of Industrial Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, May 2021

Supervisor: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL

Optimization is all of the processes and methods that must be applied to optimize the target determined by using the resources (time, cost, labor, capacity etc.) in the most efficient way. Experimental design is a method of analyzing the effect of changes in process inputs on outputs. It is an effective methods to find out the grades to which factors have an effect on output with the minimum number of experiments. Multi decision making methods are modeling the decision process according to determined criteria and analyzing it in a maximum benefits that will be obtained in the decision making process. It is a method when the decision maker select the most useful one from multiple alternatives due to multiple criterias.

In this study, the issue of minimizing the cycle of the production process made by the plastic injection molding method has been examined with six sigma method. In the solution of the problem, firstly mold selection was determined by multi criteria decision making methods, then experiments are designed and analyzed with the fractional factorial design method. The factors and their levels that will minimize the cycle time have been determined. In the last part, the past and current situations are compared.

Keywords: Plastic injection, Decision making, Experimental design, Optimization, Six sigma.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim dönemimde ve tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bu çalışmanın oluşumunda beni yönlendiren ve destek olan değerli hocam Prof. Dr. Nihal ERGİNEL'e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışma hayatım ve yüksek lisans sürecimde desteklerini esirgemeyen tüm STARPLAST ailesine ve değerli çalışma arkadaşlarıma bütün yardımları için çok teşekkür ederim.

Son olarak, üzerimde çok büyük emekleri olan, tüm hayatım boyunca bir an olsun desteklerini ve sevgilerini benden esirgemeyen, hayatımın her anını özelleştiren babam, annem ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Anıl GÜZELKÜÇÜK

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Anıl GÜZELKÜÇÜK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ.....	2
3. KARAR VERME SÜRECİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ.....	4
3.1. AHP-TOPSIS Çalışmaları İçin Literatür Araştırması.....	6
3.2. Analitik Hiyerarşi Süreci.....	7
3.2.1. Analitik hiyerarşi süreci aksiyomları	7
3.2.2. Analitik hiyerarşi süreci problemi çözümünün adımları	8
3.2.2.1. Hiyerarşinin oluşturulması	8
3.2.2.2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması.....	9
3.2.2.3. Normalizasyon	10
3.2.2.4. Ağırlıklandırma.....	10
3.2.2.5. Tutarlılık kontrolü	11
3.3. TOPSIS (Technique For Order Of Preference By Similarity To Ideal Solution)	12
3.4. AHP-TOPSIS Hibrit Yöntemi	14
4. DENEY TASARIMI	15

4.1. Deney Tasarımı İçin Literatür Araştırması	17
4.2. Deney Tasarımı Uygulama Aşamaları	18
4.3. Deney Tasarımı Türleri	19
5. ALTI SİGMA YAKLAŞIMI.....	20
5.1. Altı Sigma Aşamaları.....	21
5.1.1. Tanımlama	21
5.1.2. Ölçme	21
5.1.3. Analiz.....	21
5.1.4. İyileştirme.....	21
5.1.5. Kontrol	21
6. ÇEVİRİM SÜRESİ İYİLEŞTİRME PROBLEMİNDE ALTI SİGMA YAKLAŞIMI UYGULAMASI	22
6.1. Tanımlama Aşaması.....	22
6.1.1. Seçim kriterlerinin belirlenmesi ve hiyerarşi tablosu	23
6.1.2. Ana ve alt kriterlerin ağırlıklandırılması.....	26
6.1.3. TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralandırılması	29
6.2. Ölçme Aşaması	31
6.3. Analiz Aşaması	33
6.3.1. I-MR kontrol grafiği	33
6.3.2. Süreç yetenek analizi.....	33
6.4. İyileştirme Aşaması.....	36
6.4.1. Faktör seçimi.....	36
6.4.2. Faktörlerin düzeylerinin belirlenmesi	38
6.4.3. Kesirli faktöriyel deney tasarımı.....	39
6.5. Kontrol Aşaması.....	45
6.6. Mali Analiz.....	48
7. SONUÇ VE YORUMLAR.....	48
KAYNAKÇA	50
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	65



TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. 1-9 temel ölçek tablosu (Saaty,1990)	9
Tablo 3.2. Rassal gösterge değerleri (Saaty,1987).....	12
Tablo 5.1. Sigma düzeylerine göre hata payları.....	20
Tablo 6.1. SIPOC diyagramı tablosu	23
Tablo 6.2. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi.....	26
Tablo 6.3. Teknik özelliklere ait alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi	27
Tablo 6.4. Maliyete ait alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi	27
Tablo 6.5. Müşteriye ait alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi	27
Tablo 6.6. Üretim özelliklerine ait alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi	27
Tablo 6.7. Kriterlerin ağırlıkları.....	28
Tablo 6.8. Matrislerin tutarlılık oranları	28
Tablo 6.9. Kriter türleri	29
Tablo 6.10. Çok kriterli karar verme sonuç tablosu.....	31
Tablo 6.11. Süreç yetenek indeksinin yorumlanması (Erginel,2020).....	34
Tablo 6.12. Kalıplar ve makinelerin hipotez test sonuçları	36
Tablo 6.13. Faktörlerin puanlandırılması.....	37
Tablo 6.14. Faktör düzeyleri	38
Tablo 6.15. $2^{(7-2)}$ kesirli faktöriyel tablosu	39
Tablo 6.16. Etkin faktörlerin ANOVA sonuç tablosu.....	41
Tablo 6.17. Mal alma süresinin çevrim süresi üzerinde etkisi (Tukey testi)	44
Tablo 6.18. Kontrol grafikleri arasında yapılan t testi sonuç tablosu	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Enjeksiyon makinesi parçaları (Köse,2006).....	3
Şekil 3.1. AHP sürecinin adımları.....	7
Şekil 3.2. Tam hiyerarşik yapı.....	9
Şekil 4.1. Genel süreç modeli (Montgomery, 2013)	16
Şekil 6.1. Kalıp seçiminde kullanılan hiyerarşik yapı	25
Şekil 6.2. Süreç haritası	32
Şekil 6.3. Balık kılçığı diyagramı	32
Şekil 6.4. Mevcut I-MR kontrol grafiği.....	33
Şekil 6.5. Mevcut süreç yeterlilik analizi	34
Şekil 6.6. Faktörlerin önem düzeyleri (pareto diyagramı).....	38
Şekil 6.7. Süreçte etkin faktörler	40
Şekil 6.8. Etkin olan faktörlerin residual grafikleri	42
Şekil 6.9. Ana etkiler grafiği	43
Şekil 6.10. Etkileşim grafiği	43
Şekil 6.11. İyileştirme sonrası I-MR kontrol grafiği	45
Şekil 6.12. İyileştirme sonrası süreç yeterlilik analizi.....	47
Şekil 6.13. Doğrulama deneyi sonuçları.....	48

KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	: Analytic Hierarchy Process
ANP	: Analytic Network Process
PROMETHEE	: American Psychological Association (Amerikan Psikoloji Birliği)
ELECTRE	: Elemination and Choice Translating Reality English
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions
MAUT	: Multi Attribute Utility Theory
COPRAS	: Complex Proportional Assessment
MOORA	: Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis
SAW	: Simple Additive Weighting
DEA	: Data Envelopment Analysis
ERP	: Enterprise Resource Planning
SIPOC	: Suppliers Inputs Process Outputs Customers
ANOVA	: Analysis Of Variance

1. GİRİŞ

Günümüzde her geçen gün üretim teknolojilerinde bir artış ile birlikte, tüketici arzu ve isteklerinde de sürekli bir artış görülmektedir. Tüketici sürekli olarak en kaliteli, kendisinin işine en çok yarayacak malzemeyi en ucuza alma hedefindedir. Bu durum ise üreticiyi sürekli olarak kendini yenileme, iyileştirme döngüsüne sokmaktadır.

19. yüzyıl öncesinde kalitenin sadece para ile alınabileceği fikrinin aksine, yapılan sanayi devrimi çalışmalarıyla birlikte, mevcut durumda yapılacak kaliteli üretimin sınırının olmadığı görülmüştür.

Plastik ürünlerin günlük hayattaki yeri çok fazla derecede artmıştır. Gerek seri üretim yapılmasına uygun olan yapıları, gerekse tüketici talebine göre revize edilebilmesi plastik ürüne yönelimi artırmaktadır. Plastik sektöründe rekabetin çok yoğun olduğu bu günlerde, üretilen ürünü ilk seferde doğru şekilde üretmek, maliyeti buna bağlı şekilde minimuma çekmek, rekabetten galip çıkabilmek için en önemli durumların başında gelmektedir. Plastik ürünler, çeşitli yöntemler kullanılarak üretilir. Bu yöntemlerden biri plastik enjeksiyon yöntemidir. Temelde, plastik hammaddenin belirli bir sıcaklıkta eritildikten sonra eriyen malzemenin kalıp boşluğuna enjekte edilip preslenerek istenilen parça elde edilmesi olarak tanımlanabilir (Hrituc vd.,2019).

Plastik enjeksiyon prosesinde karşımıza çıkacak maliyetler incelendiğinde; hammadde, üretim, işgücü, kalite kontrol, kalitesizlik, sevk gibi maliyetlerin yanı sıra makine çevrim süresinden doğan maliyet de ilk sıralara yazılmalıdır. Hammadde özellikleri, makine özellikleri, kalıp özellikleri üçgeninden çıkan etkileşimler çevrim süresi üzerinde büyük rol oynamaktadır. Çevrim süresini etkileyen birden fazla miktarda parametre olduğunda, hem ürünü kaliteli olarak üretmek, hem de hangi parametrelerde en uygun sürede malzemenin basıldığını görmek için çeşitli deneyler yapılması gerekmektedir.

Yapılacak deneylere konu olacak kalıbın seçilmesi de bir diğer önemli konudur. Plastik enjeksiyon prosesinin başrolü olan enjeksiyon kalıplarının birden fazla alternatifi olduğu düşünülünce, firma için en uygun, en verim sağlayacak kalıbın deneye konu olarak seçilmesi de çok kritik önem taşımaktadır. Plastik enjeksiyon firmalarında birden fazla kalıp bulunmaktadır. Bunların hepsini ele almak mümkün değildir. Bu nedenle en

yüksek katkıyı sağlamak için doğru kalıp seçimi önemlidir. Çok kriterli karar verme teknikleri de birden fazla kriteri uzman görüşlerinden elde edilen farklı ağırlıklara göre en yüksek katkılı kalıp seçiminde kullanılabilecek en uygun yaklaşımdır.

Deneyi, bir sistem ya da süreçte var olan girdilerde yapılan değişikliklerin, amaca yönelik çıktı değeri üzerinde oluşturacağı değişiklikleri analiz etmek için yapılan bir test ya da bir dizi çalışma olarak adlandırabiliriz (Montgomery,2013). Deney tasarımı tekniği, bu karmaşık durumda deneyi yapacak kişinin daha hızlı ve kolay, daha doğru ve etkileşimleri göz önüne serebilecek bir yaklaşım sağlamaktadır. Yapılan çalışmada da çok kriterli karar verme yöntemi ile seçilen kalıbın, istenilen kalitede ve en uygun sürede üretilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın amacı, altı sigma presibi altında çok kriterli karar verme yöntemleri ve deney tasarımı yöntemleri kullanılarak üretim sektöründe verilecek olan kritik kararların matematiksel bir temele dayanarak en faydalı kalıp seçim çalışmanın yapılması olmuştur.

Bu çalışmada ilk olarak plastik enjeksiyon prosesi tanıtılmıştır. Karar verme süreci ve karar verme yöntemleri anlatılmış, bunlar üzerinden yapılan akademik çalışmalara örnekler verilmiştir. Çalışmada kullanılan AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) ve TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği) yöntemleri detaylı olarak gösterilmiştir. Ayrıca, deney tasarımı nedir, hangi yöntemler bulunmaktadır ve çalışmada kullanılan yöntemin detaylı açıklaması yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümü olan uygulama kısmında ise, üzerinde deney tasarımına konu olacak kalıbın seçiminin AHP ve TOPSIS yöntemleriyle yapılmasının ardından seçilen kalıp üzerinde kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemiyle deneyler tasarlanıp, çevrim süresini en azlayacak proses parametreleri ve düzeyleri belirlenmiştir.

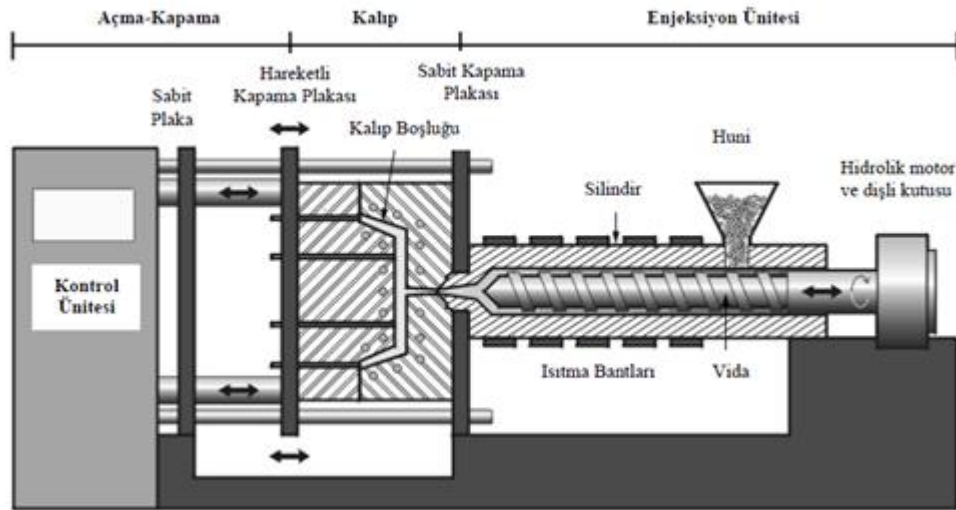
2. PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİ

Plastik sektörü, dünyanın en hızlı büyüyen endüstrileri arasında ilk sıraları almaktadır. Bunun sebebi, günlük hayatta kullanılan çoğu malzemenin içeriğinde plastik parçaların bulunmasıdır. Bu ürünlerin bir çoğu ise plastik enjeksiyon prosesi ile meydana gelebilir.

Plastik enjeksiyon yöntemi, yüksek hacimlerde karışık şekilli parçaların bir işlem periyodunda hızlı bir şekilde imal edilebilmesi, düşük maliyet, otomasyona uygunluk, son işleme gereksinim duymama, değişik yüzey, renk ve şekillerde parça imali, malzeme kaybının çok az olması, aynı makinede ve kalıpta farklı parçaların basılabilmesi, düşük toleranslarla çalışabilme imkanı gibi konularda avantaj sağlamaktadır. (Pınar,2010)

Enjeksiyon kalıplama, termoplastik polimerler için en önemli üretim yöntemlerinden biridir. Tüm plastik parçaların %30'undan fazlası enjeksiyon kalıplama ile imal edilmektedir. Enjeksiyon kalıplama, karmaşık şekil ve boyutlardaki plastik parçaların büyük miktarlardaki seri üretimi için idealdir. (Mathivanan vd., 2010)

Plastik enjeksiyon sektöründe kullanılan makinelerin bölümleri ve çalışma prensibi Şekil 2.1'deki gibidir.



Şekil 2.1. Enjeksiyon makinesi parçaları (Köse,2006)

Huni biçimindeki depoya, granül halindeki plastik hammadde konur. Huninin alt kısmından, vidalı mil üzerine inen plastik granüller, helezonik vidalı milin dönüş hareketi ile enjeksiyon memesine doğru sürüklenir. Vidalı mil silindirinin dışında, çepeçevre bulunan ısıtıcılar, sürüklenen plastik hammaddeyi istenilen sıcaklığa getirir. Sıcaklık, plastik maddeyi eriterek, bal kıvamında akışkan durumuna sokar. Bal kıvamındaki plastik hammadde, enjeksiyon memesinden geçerek kapalı kalıp içerisindeki boşluğa enjekte edilir. Parça kalıptan soğutularak alınır. Bu çevrim sürekli olarak tekrarlanır. (Köse,2006)

Plastik enjeksiyon çevrimine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar başlıca;

- Sıcaklık
- Enjeksiyon basıncı
- Soğuma süresi
- Basınçlar
- Hammadde türü
- Kalıp/parça yapısı
- Kalıp tonajı
- Mengene açma/kapama süreleri
- Hızlar
- Enjeksiyon süresi

şeklinde belirtilebilir.

Belirtilen ana başlıkların altında birçok alt faktörler de bulunmaktadır. Plastik ürün üretiminde bu faktörler belirli seviyelerde ayarlanarak istenilen plastik parça elde edilir.

3. KARAR VERME SÜRECİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

İnsanlar, yaşadıkları süre boyunca bulundukları çevre şartları neticesinde ister istemez sürekli bir karar verme durumunda bulunurlar. Karar verme en basit tabirle belirli seçeneklerin arasından kendisi için en uygun seçeneği diğer seçeneklerden ayırıp seçme işlemidir.

Karar verme süreci bireysel mikro durumlar için geçerli olduğu gibi (binek araç seçimi, cep telefonu seçimi vb.), devletler, şirketler gibi makro durumlarda da (yatırım stratejileri vb.) en doğru kararı almak için sürekli olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bir karar verme süreci aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır (Saaty,1994);

- Yapılanma basit olmalıdır,
- Hem gruplara hem de bireylere uyarlanabilmelidir,
- Öngörü ve genel düşünce için doğal olmalıdır,

- Uzlaşmayı ve fikir birliğine teşvik etmelidir,
- Süreç için aşırı uzmanlık ve iletişimi gerektirmemelidir.

Karar verme sürecinin ilk adımı, karar verilecek problemin belirlenmesidir. Karar verici problemin tanımını yaptıktan sonra bu probleme etki eden kısıtları, hedefleri, ölçütleri ve seçenekleri belirler.

Karar vericinin belirtilen kısıtlar altında hedefine ulaşmasını sağlayan en iyi seçenek belirlenir. Sürecin son adımında ise verilen kararın istenilen hedefe ulaşmadığı kontrol edilerek süreç tamamlanır.

ÇKKV yöntemlerinde, seçeneklerin çok sayıda kriterlere göre sıralanmasında birden fazla farklı teknik kullanılabilmektedir. AHP, ANP, PROMETHEE, ELCETRE, TOPSIS, MAUT, COPRAS, MOORA, SAW vd. gibi literatürde birçok yöntem bulunmaktadır.

AHP karar vericinin, belirlenen nicel yada nitel kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yaparak alternatifler arasından seçim yapılmasında kullanılan bir tekniktir. ANP, bileşenler arasındaki ilişkileri belirleyerek, bunların ağ şeklinde gösterilmesi ile oluşmaktadır. Doğrudan ve dolaylı ilişkiler ele alınarak seçim işlemi yapılmaktadır. PROMETHEE, alternatiflerin kriterler aracılığıyla ikili karşılaştırmalar yapılarak değerlendirmesidir. Yöntemin ayırt edici noktası ikili karşılaştırmalarda her bir değerlendirme ölçütü için farklı fonksiyon tiplerinin kullanılmasıdır. ELECTRE, alternatiflerin birbirlerine ikili üstünlük kıyaslamalarına dayanır. TOPSIS, belirlenen kriterlere ait pozitif çözüme en yakın, negatif çözüme en uzak olan alternatiflerin sıralanmasında kullanılan bir yöntemdir. MAUT, hem niteliksel, hem de niceliksel kriterler göz önünde bulundurularak en faydalı alternatifin seçilmesinde kullanılan bir yöntemdir. COPRAS, alternatiflerin birbirleri ile karşılaştırılarak birbirleri arasında ne kadar iyi yada kötü olduğunu yüzdesel olarak gösteren bir yöntemdir. MOORA, alternatifler ve hedefler arasındaki tüm etkileşimleri aynı anda göz önüne alarak, subjektif olmayan değerler kullanılarak seçim yapılan bir yöntemdir. SAW ise, fayda ve maliyet kriterlerinin alternatiflerle oranlarına göre sıralama yapılarak tercih yapılan bir yöntemdir.

Bu çalışmada karar vericiler tarafından belirlenen kriterler arasında fazla bağlantı olmaması nedeniyle ana ve alt kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemi

kullanımıdır. TOPSIS yöntemi ise, belirlenen kriterlerin bir kısmının fayda, bir kısmının maliyet kriteri olmasından dolayı, alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere yakınlıklar karşılaştırılarak tam sıralama elde edilmesi nedeniyle tercih edilmiştir.

AHP yöntemi, kriterlerin ve alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları sonucu birbirine olan üstünlükleri baz alınarak kriterlerin ağırlık sıralamasının yapılmasını sağlar. Bu çalışmada da birden fazla kriter, alt kriter ve karar verici olduğundan dolayı seçime etki eden kriterlerin ağırlıkları bu yöntem ile belirlenmiştir.

TOPSIS yöntemi ise, seçilecek olan alternatiflerin ideal çözüme yakınlık ve uzaklıklarını hesaplayarak, alternatifler arasında bir sıralama oluşturur. Karar verici bu sıraya göre kararını belirler. Bu çalışmada, yaklaşık altı yüz adet seçenek içerisinde bu yöntemle birlikte sıralama yapılmış ve karar buna göre şekillenmiştir.

3.1. AHP-TOPSIS Çalışmaları İçin Literatür Araştırması

İmren (2011), çalışmasında bir ahşap dekorasyon fabrikasının kuruluş yeri seçiminde AHP kullanmıştır. Ana faktör olarak pazar payı, çevre, üretim ve ekonomiyi almıştır. Bunların alt faktörlerini de ayrıca detaylandırmıştır. Seçenekler arasında dört il bulundurarak AHP süreci ile en uygun fabrika kuruluş yeri seçimi gerçekleştirmiştir.

Karim ve Karmarker (2016), çalışmasında en iyi makine seçimini yapmak için AHP ve TOPSIS yöntemlerini hibrit olarak kullanmıştır. Üretebilirlik, esneklik, maliyet, kalite, güvenilirlik, servis tesisi, emniyet olarak yedi ana faktör ve bunların altında yirmi altı adet alt faktör bulunmaktadır. Toplamda üç farklı makine arasından bu yöntemleri kullanarak seçimlerini gerçekleştirmişlerdir.

Özcan vd. (2011), çalışmalarında depo yeri seçimini ele almışlardır. Belirlenen beş ayrı kriteri dört alternatif üzerinde çalıştırmışlardır. Mutlak sıralamaları TOPSIS, ELECTRE ve Grey Theory olmak üzere üç farklı method ile gerçekleştirip karşılaştırmışlardır

Majumdar vd. (2005), çalışmalarında pamuk ipliğinin kalitesini değerlendirmede AHP ve TOPSIS süreçlerini hibrit olarak kullanmışlardır. Gerilme, uzunluk ve incelik olarak üç ana kriter belirlenmiştir. Otuz üç farklı alternatif içinden en iyiyi bulmak amaçlanmıştır.

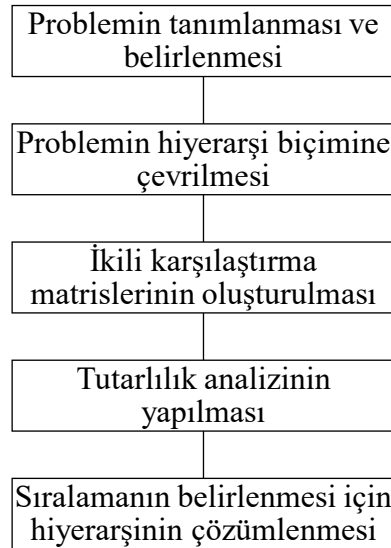
Avcı ve Çınaroğlu (2018), çalışmasında AHP ve TOPSIS hibrit yöntemini kullanarak havayolu işletmelerinin finansal performanslarına bakılarak en iyi seçim yapılmak istemiştir. Ana faktörler olarak likidite oranı, mali oran, faaliyet oranı, karlılık oranı belirleyen karar verici ayrıca sekiz alt faktör belirlenip, beş farklı alternatif arasından en iyiyi seçmek hedeflenmiştir.

Wang vd. (2008), çalışmasında yirmi farklı köprünün risk değerlendirmelerini AHP ve DEA yöntemlerini hibrit olarak kullanarak sıralandırmışlardır. Güvenlik, işlevsellik, sürdürülebilirlik ve çevre olmak üzere dört farklı ana kriter üzerinden derecelendirme yapılmıştır.

3.2. Analitik Hiyerarşi Süreci

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden kullanımı en yaygın olan Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process, AHP) yöntemi, 1977 yılında Thomas Lorie Saaty tarafından ortaya konulmuştur. AHP yöntemi karar vericinin ve kriterlerin birden fazla olduğu durumlarda kullanılır. Karar vericiler faktörlerin birbirlerine üstünlüklerini kıyaslayarak sayısal veriler ile birlikte bir sonuç ortaya koymaktadır.

AHP sürecinin adımları aşağıda bulunan Şekil 3.1’deki gibi belirtilmiştir.



Şekil 3.1. AHP sürecinin adımları

3.2.1. Analitik hiyerarşi süreci aksiyomları

Saaty (1986), AHP’yi oluşturan dört aksiyomu aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

- a) Terslik Aksiyomu: İkili karşılaştırmada karar vericiye göre A kriterinin B kriterine olan üstünlüğü x birim ise, B'nin A'ya olan üstünlüğü $1/x$ birimdir.
- b) Homojenlik Aksiyomu: Ögelerin farklı özelliklerinden dolayı, karşılaştırmanın net olarak yapılabilmesi için homojenlik gerekmektedir. AHP'de Saaty tarafından ortaya konulmuş ölçeklendirme bu konuda yardımcı olmaktadır.
- c) Bağımsızlık Aksiyomu: Hiyerarşi altında bulunan seçenek ve kriterler arasında etkileşim bulunmadığı varsayılır.
- d) Beklentiler Aksiyomu: Sonucun beklentilerle uyuşması için, tüm kriter ve seçeneklerin hiyerarşide gösterilmesi gerekmektedir. Bunun dışında bir durum olursa verilecek karar yetersiz olur.

3.2.2. Analitik hiyerarşi süreci problemi çözümünün adımları

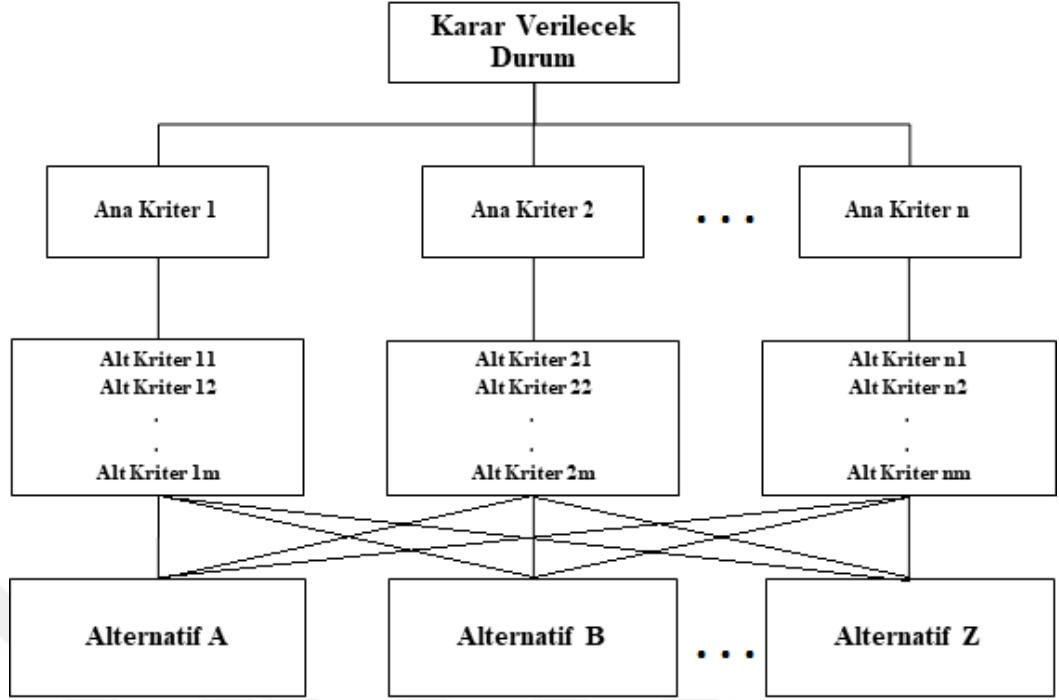
Saaty (1994), karar vermeyi aşağıdaki adımları içeren bir süreç olarak görmektedir.

- Problemin temel unsurlarını ve bunların aralarındaki ilişkiyi gösteren bir modelle problem oluşturulmalıdır.
- Bilgileri ve duyguyu yansıtan yargı ortaya çıkarılmalıdır.
- Bu yargılar anlamlı sayılarla tekrar ifade edilmelidir.
- Bu sayılar kullanılarak hiyerarşiyi oluşturan ögeler önceliklendirilmelidir.
- Genel çıktıyı belirlemek için bu sonuçlar sentezlenmelidir.
- Yargıdaki değişiklikler için duyarlılık analizi yapılmalıdır.

3.2.2.1. Hiyerarşinin oluşturulması

Hiyerarşinin oluşturulması karar verme problemlerinde belki de en önemli adım olarak adlandırılmalıdır. Ele alınan problemlerin, karar vericinin önüne çıkacak kriter ve alt kriterlerin, karar verilmesi istenen alternatiflerin bir arada bulunduğu ve karar vericiye bu süreçte kolaylık sağlaması adına oluşturulmuş bir şekildedir.

Tam hiyerarşik yapı örneği Şekil 3.2'de belirtilmiştir.



Şekil 3.2. Tam hiyerarşik yapı

3.2.2.2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Karar problemine ilişkin hiyerarşik yapı kurulduktan sonra, hiyerarşide yer alan karar elemanları arasındaki ilişkiler, ikili karşılaştırmalar yapılarak sayısal olarak belirlenir. İkili karşılaştırmalar sonucunda, bir üst seviyedeki kritere bağlı olarak hangi karar elemanının daha önemli veya üstün olduğu a_{ij} gibi sayısal bir değerle ifade edilir. Burada a_{ij} , i. kriterin j. kritere göre ne kadar üstün olduğunu göstermektedir. (Güner,2005)

Kriterlerin birbirlerine üstünlük derecelerini belirlerken Saaty(1990) tarafından geliştirilen 1-9 ölçek skalası kullanılabilir. (Tablo 3.1.)

Tablo 3.1. 1-9 temel ölçek tablosu (Saaty,1990)

Sayısal Değer	Tanım
1	Ögeler eşit öneme sahip
3	1. öge, 2. ögeye göre biraz önemli
5	1. öge, 2. ögeye göre fazla önemli
7	1. öge, 2. ögeye göre çok fazla önemli
9	1. öge, 2. ögeye göre aşırı fazla önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Belirtilen bu ölçek değerleri kullanılarak kriterler arasında aşağıdaki gibi bir matris oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Bu matris için aynı kriterlerin birbirine üstünlüğü olamayacağından köşegenler “1” değerini alır. Diğer kriterlerin birbirine üstünlükleri karar vericinin ölçek tablosu üzerinden değerlendirilir. Örneğin i. faktörün j. faktöre oranı $a_{ij} = x$ ise; $a_{ji} = 1/x$ ’ e eşittir.

3.2.2.3. Normalizasyon

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra matris içindeki değerlerin ağırlıkları oluşturması için normalizasyon işlemi yapılır. Değerleri normalize ederken seçilen değer bulunduğu sütun toplamına bölünür. Her bir değer için bu işlem gerçekleştirilerek normalize edilmiş C matrisi elde edilir.

$$c_{ij} = a_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

3.2.2.4. Ağırlıklandırma

Normalize edilmiş matris satırları, kriter sayısına (n) bölünerek kriterlerin birbirleri arasındaki ağırlıkları bulunmuş olunur.

$$w_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} / n, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

3.2.2.5. Tutarlılık kontrolü

Ağırlıklar belirlendikten sonra, karar vericinin ikili karşılaştırmada yaptığı derecelendirmelerinin tutarsız olup olmadığının kontrolü bu adımda gerçekleştirilir. Karar verme sürecinde sonucun olumsuz olarak etkilenmemesi için karar vericinin derecelendirmeleri tutarlı olmalıdır.

Tutarlılık analizinde ilk olarak, karşılaştırma matrisi ve bulunan ağırlıklar arasında bir matris çarpımı yapılarak D matrisi elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Sonraki aşamada bulunan D vektörü, ağırlık vektörüne bölünerek, her bir faktöre ilişkin temel değerler hesaplanır.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Elde edilen tüm temel değerlerin ortalaması alınır ve karşılaştırmaya ait ana temel değer (λ) belirlenir.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$$

Temel değer belirlendikten sonra aşağıdaki denklemden yararlanarak “tutarlılık göstergesi (CI)” hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

Tutarlılık oranı (CR) ise bulunan tutarlılık göstergesi değerinin, Saaty’nin (1987) ortaya koyduğu rassal gösterge değerine (RI) bölünerek hesaplanır. (Tablo 3.2.)

Tablo 3.2. Rassal gösterge değerleri (Saaty,1987)

n (kriter sayısı)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI (rassal değer)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Tutarlılık Oranı (CR) 0,1’den küçük ise karar verici tarafından yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğu söylenebilir. Eğer CR değeri 0,1’den büyük ise yapılan karşılaştırmalarda tutarsızlık var demektir. İkili karşılaştırmaların tekrar yapılması gerekliliği doğmuş olur.

3.3. TOPSIS (Technique For Order Of Preference By Similarity To Ideal Solution)

Hwang ve Yoon (1981), TOPSIS adı verilen çok kriterli karar verme yöntemi geliştirdiler. Bu yöntem hesaplamada kolaylık sağlayan sistematik ve basit bir prosedüre sahiptir. Temel kavram olarak, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak geometrik uzaklıklara göre uygun alternatifin seçilmesidir. (Tyagi vd., 2014)

Wang 2007’ye göre, pozitif ideal çözüm, ulaşılabilen tüm iyi değerlerden oluşurken, negatif ideal çözüm, elde edilebilecek en kötü değerlerden oluşur. TOPSIS yönteminde, karar matrisi ve normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmasında her alternatifin tüm kriterlerden aldığı kesin puanlar kullanılır. Tüm kriterlerin oranları dikkate alınarak olumlu ve olumsuz ideal çözümler bulunur. Her bir alternatifin uzaklık katsayısı karşılaştırılarak alternatiflerin tercih sırası belirlenir. (Karim ve Karmaker, 2016)

TOPSIS aşamaları aşağıdaki gibidir (Tyagi vd., 2014).

1.Adım: y alternatifli ve z kriterli bir karar matrisi oluşturulur. Bu karar matrisinde her alternatifin ilgili kriterde aldığı değer x_{ij} olarak gösterilir.

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & . & . & . & C_z \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ . \\ . \\ A_y \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & . & . & . & x_{1z} \\ x_{21} & x_{22} & . & . & . & x_{2z} \\ x_{31} & x_{32} & . & . & . & x_{3z} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ x_{y1} & x_{y2} & . & . & . & x_{yz} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

2.Adım: Karar matrisindeki kriterlere ait değerlerin kareleri toplamının karekökü alınarak normalize edilmiş matris $R = (n_{ij})_{y \times z}$ elde edilir.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^y x_{ij}^2}}$$

Özdağoğlu (2013)'nın yaptığı çalışmada, TOPSIS yöntemlerinde kullanılan normalizasyon yöntemlerinin, veri setleri üzerindeki etkisi gözlemlenmek istenmiştir. Çalışmada normalizasyon yöntemlerinin korelasyon analizi sonucunda, vektörel normalizasyon birinci sırada yer almıştır. Bu çalışma göz önüne alınarak uygulamada yapılan TOPSIS yönteminde vektörel normalizasyon yöntemi kullanılmıştır.

3.Adım: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur.

$$D = (d_{ij})_{y \times z} = (w_j n_{ij})_{y \times z}, \quad i = 1, 2, \dots, y$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & . & . & d_{1j} & . & . & d_{1z} \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ d_{i1} & d_{i2} & . & . & d_{ij} & . & . & d_{iz} \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ d_{y1} & d_{y2} & . & . & d_{yj} & . & . & d_{yz} \end{bmatrix}$$

4.Adım: Pozitif ve negatif ideal çözümler bulunur.

$$\begin{aligned}
A^+ &= \{(\max_i d_{ij} | j \in J), (\min_i d_{ij} | j \in J') \quad i = 1, 2, \dots, y\} \\
&= \{d_1^+, d_2^+, \dots, d_j^+, \dots, d_z^+\} \\
A^- &= \{(\min_i d_{ij} | j \in J), (\max_i d_{ij} | j \in J') \quad i = 1, 2, \dots, y\} \\
&= \{d_1^-, d_2^-, \dots, d_j^-, \dots, d_z^-\}
\end{aligned}$$

$J = \{j = 1, 2, 3, \dots, z | j \text{ fayda kriteri ise}\}, J' = \{j = 1, 2, 3, \dots, z | j \text{ maliyet kriteri ise}\}$

5.Adım: Alternatiflerin çözümlere olan uzaklıkları bulunur.

- Pozitif ideal çözüme olan mesafe aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^z (d_{ij} - d_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, y$$

- Negatif ideal çözüme olan mesafe ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^z (d_{ij} - d_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, y$$

6.Adım: İdeal çözüme göreceli yakınlık hesaplanır.

$$CC_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)}, \quad 0 < CC_i^* < 1, \quad i = 1, 2, \dots, y$$

$$CC_i^* = 1 \quad ; \quad A_i = A^+$$

$$CC_i^* = 0 \quad ; \quad A_i = A^-$$

Alternatiflerin sıralaması ise CC_i^* değerlerini büyükten küçüğe sıralanması ile bulunacaktır. Değeri en yüksek olan alternatif en iyi alternatiftir denir.

3.4. AHP-TOPSIS Hibrit Yöntemi

Kalıp seçimine etki eden faktörlerin seçiminde kullanılacak olan AHP ve TOPSIS hibrit yöntemi aşağıdaki şekilde gerçekleştirilecektir:

AHP yöntemi ile ana kriter ve alt kriterlerin ağırlıkları bulunduğundan sonra, TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin kriterler üzerinde aldığı değerler belirlenip tam sıralama bulunmak istenmektedir. AHP yönteminde; teknik özellikler, maliyet, müşteri, üretim özellikleri olarak dört farklı ana kriter belirlenmiştir. Bunlara bağlı alt kriterler ise; tadilat sıklığı, setup süresi (makine hazırlık süresi), makine tonajı, kar, kalitesizlik

maliyeti, markup oranı (kar marjı), genel iş hacmi, ödeme planı, müşteri imajının firmaya katkısı, üretim adedi, üretim kolaylığı, hammadde türü olarak belirlenmiştir. TOPSIS yönteminde ise, ağırlıklandırılan alt kriterlerin teknik verileri, firmanın ERP sistemi üzerinden iki senelik verilerin ortalamaları alınarak elde edilmiştir.

Deney tasarımı yöntemiyle çevrim süresi iyileştirilecek kalıbı belirlerken, 405 adet kalıp içerisinde belirlenen kriterlere göre hiyerarşi oluşturulmuş ve en büyük faydayı sağlayacak olan enjeksiyon kalıbının seçilmesi hedeflenmiştir.

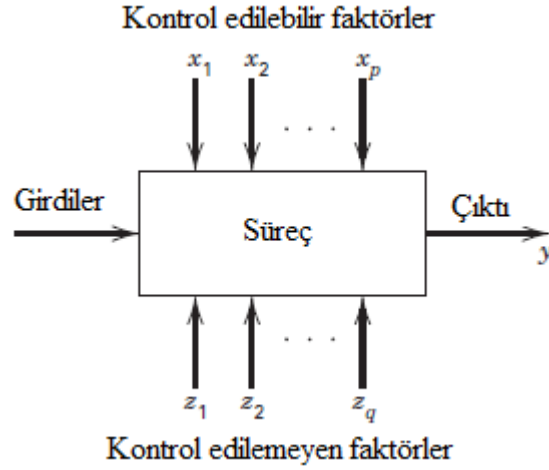
4. DENEY TASARIMI

Ürün veya süreçlerde iyileştirmeler yapmak, bir üretim yerinin karşılaştığı en zor görevlerden biri olabilir. Kalite ve güvenilirlik kazanmanın en iyi yolu, ürün ve sistemdeki kusurlardan kaçınmaktır. Kusurları tespit etmek için, kusurların temel nedenlerine odaklanmak gerekir. (Dowlatsahi,2004)

Bir sistemi ya da süreci çalışırken gözlemlemek, sürecin nasıl işlediğini anlamının ve öğrenmenin için en önemli parçasıdır. Sadece süreci izleyerek birçok şey gözlemlenebilir. Ancak, sürece etki eden girdi faktörlerinin değişiminin, süreç ve çıktı üzerinde yarattığı değişiklikleri gözlemlemek için sadece izlemek yeterli olmayacaktır. Başka bir deyişle, sürecin reaksiyonlarını anlamak için birçok deney gerçekleştirilmesi gerekmektedir. (Montgomery, 2013)

Deney tasarımı, bir ürün veya prosesin kalite karakteristiklerini istenilen seviyeye getirmek ve istenilen seviyedeki sapmaları en aza indirmek için bir sıra deneyin arka arkaya tekrarlanıp analiz edilmesi olarak adlandırılabilir.

Bir sistem ya da sürecin genel modeli Şekil 4.1'deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Genel süreç modeli (Montgomery, 2013)

Deney tasarımı çalışmalarında genel olarak kontrol edilebilir faktörlerin belirli seviyede tutulup, kontrol edilemeyen faktörlerin süreç üzerindeki etkisini en aza indirgeyerek çıktı üzerindeki en iyi verim alınması amaçlanmaktadır.

Montgomery (2013), çalışmasında bir deneydeki amaçları şu şekilde sıralamıştır:

1. y çıktısı üzerinde en çok hangi değişkenlerin etkili olduğunu belirleme,
2. y çıktısını istenilen seviyede tutmak için x değişkenlerinin hangi seviyelerde olması gerektiğinin belirlenmesi,
3. y çıktısı üzerindeki değişkenliğin minimum seviyede tutulması için x değişkenlerinin hangi seviyelerde olması gerektiğinin belirlenmesi,
4. Kontrol edilemeyen z değişkenlerinin etkisini minimum seviyede tutmak için x değişkenlerinin hangi seviyelerde olması gerektiğinin belirlenmesidir.

Deney tasarımı tarihçesine bakıldığında, temelleri 1920'li senelerde tarımsal alanlardaki verimliliği artırmak amacıyla Sir Ronald A. Fisher tarafından atılmıştır. Montgomery (2013)'e göre istatistiksel deney tasarımının gelişiminde dört dönem vardır:

İlk dönem, Fisher'ın tarımsal deney istasyonunda geliştirdiği ve öncü olduğu çalışmalar oluşturmaktadır. Fisher, deney tasarımının üç temel prensibi olan rassallaştırma, çoğaltma ve bloklama yöntemlerini geliştirmiştir.

İkinci dönem, 1950'lerde Box ve Wilson'ın yanıt yüzeyi yöntemini (response surface methodology) geliştirmesiyle endüstriyel anlamda başlamıştır.

Batı endüstrisinde 1970’li yılların sonlarında başlayan kalite geliştirmeye yönelik ilgi, üçüncü dönemin temellerini oluşturmuştur. Taghuci ve Wu (1980), Kackar (1985), Taguchi (1987,1991) çalışmaları, deney tasarımı olan ilgiyi ve kullanım alanlarının geliştirilmesi konusunda damga vurmuştur.

Dördüncü dönem, hem araştırmacılar hem de uygulayıcılar tarafından istatistiksel tasarıma olan genel ilginin yeniden başlamasına yol açmıştır. Taguchi’nin mühendislik kavramlarının verimli bir şekilde uygulanmasına izin veren yöntemlerine alternatif olacak yöntemler geliştirilerek, endüstriyel dünyadaki deneysel problemlere birçok yeni ve yararlı yaklaşımlar oluşturulmuştur.

4.1. Deney Tasarımı İçin Literatür Araştırması

Baray ve Sarı (2006) çalışmasında, otomotiv yan sanayisi olarak faaliyet gösteren bir firmada kaput tutma teli mukavemetini artırmaya yönelik çalışma gerçekleştirmiştir. Cıvata çapı, tapa çapı ve sıkıştırma boyu olarak 3 ana faktör belirlenmiştir. Tam faktöriyel ile gerçekleştirilen çalışma sonucu, yanıt yüzeyi metodu ile optimal sonuç bulunmuştur.

Wang vd. (2014) çalışmasında, fren güçlendirici valf gövdesinde ortalama sıkıştırma gücünün iyileştirilmesi için Taguchi L_{18} yöntemi kullanılmıştır. Yolluk sayısı, yolluk genişliği, kalıp sıcaklığı, hammadde sıcaklığı, doldurulan hacim, enjeksiyon basıncı ve kürlenme süresi olarak 7 adet faktör seviyeleriyle birlikte çözüme ulaşılmıştır.

Demir (2004) çalışmasında, tekstil işletmesinin boyahane bölümünde mamullerin renk haslığını, yani üretim ve kullanım zamanında karşı kaldığı etkenlere dayanma gücüne etki eden faktörler incelenmiştir. Fiksator, yumuşatıcı, sabunlama ve kaynatma olarak 4 faktör belirlenmiş ve tam faktöriyel yöntemiyle sonuçlar araştırılmıştır.

Özkurt (1999) çalışmasında, plastik enjeksiyon sektöründe faaliyet gösteren bir firmada üretilen boru dirseklerinin üretiminde karşılaşılan problemleri en aza indirmek için deney tasarımı planlamıştır. Enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi, eriyik sıcaklığı, tutma süresi, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızı olarak 6 faktör belirlenmiştir. 2^{n-2} kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemi ile sonuca ulaşılmıştır.

Dowlatsahi (2004) çalışmasında, plastik enjeksiyon üretiminde çevrim süresinin azaltılmasını hedeflemiştir. Enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, soğuma süresi, kalıp

sıcaklığı, hammadde sıcaklığı ve kırma oranı olarak 6 faktör belirlenmiş ve 2^{n-2} kesirli faktöriyel yöntemi ile sonuçlar bulunmuştur. Çıktı olarak malzeme üzerindeki iki ölçüm değeri ve malzeme yolluğunun kalıp üzerinde kalıp kalmadığı gözlemlenmiştir.

4.2. Deney Tasarımı Uygulama Aşamaları

Deney tasarımı, problemin belirlenmesi ile başlayıp, çıktının istenilen seviyede en az sapma ile belirlenmesi ve sağlamanın yapılmasını içeren bir dizi aşamalar içermektedir.

- 1- Problemin tanımlanması
- 2- Çalışmanın amacının tanımlanması
- 3- Çıktı parametresinin seçimi
- 4- Çıktı üzerinde etkili faktörlerin ve düzeylerinin belirlenmesi
- 5- Uygun deney tasarımı yönteminin belirlenmesi
- 6- Verilerin toplanması
- 7- Verilerin analizi
- 8- Sonuçlar üzerinde yorumlamalar
- 9- Doğrulama deneylerinin yapılması

Deney tasarımının ilk aşaması problemin belirlenmesidir. Bu adımda problemin çok açık bir şekilde belirlenmesi, durumun kolay olarak anlaşılmasını sağlar ve çözüm adımlarına büyük katkıda bulunur.

Yapılacak olan deney tasarımının amacı tam olarak belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenecek olan amacın, problemin tanımı ile tam bağlantı içinde olması beklenir.

Problem ve amaç belirlendikten sonra sürecin analizi yapılacak çıktı belirlenir. Çıktı değişkeni belirlenirken, sürecin ve probleme uygun veri içerdiğine emin olunmalıdır.

Sürece etki edecek faktörler ve faktör düzeyleri belirlenir. Bu aşama deney tasarımını yapacak kişi ya da bilirkişilerden oluşan bir topluluk tarafından belirlenebilir.

Sonraki aşamada, hangi deney tasarımı yönteminin kullanılacağı belirlenir. Burada yapılacak deney sayısı, deney tekrarları, rassallık, bloklama gibi konular hangi yöntemin kullanılacağında etkin rol oynar.

Deney tasarımı yöntemi belirlendikten sonra, verilerin toplanma süreci başlar. Bu aşamada faktör düzeylerinin rassal şekilde sıralanmasıyla veri toplama işlemi, sürecin yüksek seviyede açıklanabilir olmasını sağlayacaktır.

Veriler toplandıktan sonra, bu verilerin analizinin yapılması için birçok farklı programlar mevcuttur. Uygun olan bir programın kullanılması yeterli olacaktır.

Analizler gerçekleştirildikten sonra deney yapan kişinin sonuçları yorumlaması ve deney amacına ve problemin çözümüne katkı sağladığının kontrolü gereklidir.

İstenilen sonuç elde edildikten sonra yapılacak olan doğrulama deneyleri ile çözümün sağlanması ve sürdürülebilirliği kontrol edilir.

4.3. Deney Tasarımı Türleri

Deney tasarımı çalışmalarında kullanılmak üzere birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bir sürecin iyileştirme aşamasında en önemli adımlardan biri de yöntemin doğru ve şartlara uygun şekilde seçilmesidir. Zaman kısıtı başta olmak üzere, sürecin sahip olduğu diğer kısıtlar göz önünde bulundurularak en uygun deney tasarımı yöntemi seçimi gerçekleştirilmelidir.

En çok tercih edilen deney tasarımı yöntemleri; tam faktöriyel yöntem, kesirli faktöriyel yöntem, yanıt yüzeyi yöntemi, taguchi yöntemi vb.

Tam faktöriyel yöntem; deneyi etkileyecek birden fazla faktör olduğu durumlarda faktörlerin tüm düzey etkileşimlerinin incelendiği yöntemdir. Örnek olarak 1. Faktörün i düzeyi, 2.faktörün j düzeyi bulunuyorsa, uygulanacak yöntemde “i x j” kadar etkileşimin incelenmesi gerekmektedir.

Kesirli faktöriyel yöntem; tam faktöriyel deney tasarımı etkileşimlerinin bir kısmının araştırmacı tarafından ihmal edilmesiyle gerçekleştirilen yöntemdir. Faktör düzeylerinin yüksek sayıda olması deney maliyetini ve harcanan süreyi artırmaktadır. Bu nedenle bazı durumlarda tam etkileşim yerine kesirli etkileşimler üzerinden deney tasarımı yapılmaktadır.

Yanıt yüzeyi yöntemi; faktörlerin sürekli değişkenlik içerdiği durumlarda en iyi sonucu bulmak için kullanılan bir yöntemdir. Yöntem sonucunda, istenilen hedefe uygun olarak faktörlerin hangi değerlerde olacağı belirlenir.

Taguchi yöntemi; ortogonal dizi tablosu kullanılarak, tam faktöriyel yöntemde karşılaşılan tüm etkileşimler içerisinde daha az sayıda deney yaparak sonuca ulaşmak için kullanılan yöntemdir.

Deney tasarımı konu olacak birçok faktör belirlenebilir. Bunların içinden etkin olanların seçimi yapılırken kullanılan yöntemlerden biri de altı sigmadır. Yapılacak çalışmada ilk olarak altı sigma yöntemi ile etkin faktörler belirlenmiş, sonrasında deney tasarım yöntemi belirlenmiştir.

5. ALTI SİGMA YAKLAŞIMI

Altı sigma yaklaşımı, değişkenliği azaltma ve kalite iyileştirme yaklaşımı olarak hem hizmet sektöründe hem de imalat sektöründe kullanılabilmektedir. Altı sigma, kusurlu sayısını azaltmak amacıyla, süreç değişkenliğine sebep olan parametreleri çeşitli problem çözme tekniklerinden ve istatistiksel metotlardan faydalanarak tespit etmeye ve deney tasarımı yöntemleri kullanılarak parametrelerin seviyelerini belirlemeye dayalı yapılandırılmış bir yaklaşımdır. (Erginel,2020)

Altı sigma ilk olarak Motorola firmasında hayata geçirilmiş, sonrasında ise günümüze kadar pek çok işletmede verimliliğin artırılması amacıyla kullanılmıştır.

Sigma değeri kusurların hangi sıklıkta meydana geldiğini ifade eder. Daha yüksek sigma değeri daha düşük kusur olasılığı demektir. Kusur, müşteri memnuniyetsizliğine sebep olan durumların genelidir. Bundan dolayı sigma değeri artarken, maliyet ve çevrim zamanı azalmakta aynı zamanda müşteri memnuniyeti artmaktadır (Duru vd.,2011). Sigma düzeylerine göre milyonda kusur sayıları Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Sigma düzeylerine göre hata payları

Sigma (σ)	Milyonda Kusur Sayısı	Kusursuz Ürün Oranı (%)
1	690000	30,9
2	308733	69,2
3	66803	93,3
4	6210	99,4
5	233	99,98
6	3,4	99,9997

5.1. Altı Sigma Aşamaları

Altı sigma yaklaşımı, Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol olarak süreci beş aşamada tanımlanmaktadır.

5.1.1. Tanımlama

Altı sigma projesinin ilk adımıdır. Bu aşamada problemin amacı ve kapsamı belirlenmektedir. Müşteri anketleri, SIPOC diyagramı vb. teknikler kullanılarak yapılacak iyileştirmenin açık tanımı ve ölçüm şekli net bir ifade ile belirtilir.

5.1.2. Ölçme

Bu adımda mevcut durum tüm yönleriyle açıklanmalıdır. Amaç problem kaynağını belirlemektir. Balık kılçığı diyagramı, süreç haritası, pareto diyagramı vb. teknikler kullanılarak problemin çıktıları, sürece etki edebilecek faktörler belirlenmektedir.

5.1.3. Analiz

Bu adımda, mevcut durumun analizi gerçekleştirilir. Hatalar neden, ne zaman ve ne şekilde oluştuğu belirlenir. Hipotez testleri, varyans analizi vb. teknik yöntemler kullanılır.

5.1.4. İyileştirme

Bu adımda problemin kök nedenini ortadan kaldırmak için çeşitli uygulamalar gerçekleştirilir. Probleme etki eden faktörlerin birbirleriyle olan ilişkileri ve seviyeleri incelenerek amaç için en uygun düzeyler belirlenir. Deney tasarımı vb. teknik yöntemler kullanılır.

5.1.5. Kontrol

Bu adımda, sürecin iyileştirilmesinden sonra bu şekilde sürdürülmesi ve bunun kontrol altına alınması hedeflenmektedir. Kontrol grafikleri, kalite planları vb. teknikler yöntemler kullanılır.

Teze konu olan çalışmada, altı sigma prensibi kullanılarak uygulamanın en başından en sonuna doğru altı sigmanın beş aşaması kullanılarak sonuç elde edilecektir.

6. ÇEVİRİM SÜRESİ İYİLEŞTİRME PROBLEMİNDE ALTI SİGMA YAKLAŞIMI UYGULAMASI

Yapılan çevrim iyileştirme projesinde altı sigma yaklaşımı aşamaları kullanılarak problem tanımlanmış, mevcut durum belirlenip analiz edildikten sonra, gerekli iyileştirmeler yapılmıştır. Kontrol grafikleri ile sürecin kontrol altına alınıp alınmadığı gözlemlenmiştir.

6.1. Tanımlama Aşaması

Çalışmanın bu bölümünde Türkiye’de plastik sektöründe üretim yapan bir firmanın müşteri talebini karşılamak amacıyla müşterinin sesi yöntemi kullanılmıştır.

Müşterinin sesi:	Üretim sayısı %20 artırılmalı
İç Müşteri:	2021 Hedefi İç Proseslerde %10 Kar Sağlanması
Kuruluş ifadesi:	En verimli kalıbın çevrim süresinin iyileştirilmesi
Parametreler:	Çevrim süresi

Müşterinin 2021 senesi politikasında belirlediği üretimin %20 artırılması, yönetim gözden geçirme toplantısında iç proseslerde mevcut makine parkına göre %10 oranında kapasite artırımını ile karşılanacağı kararlaştırılmıştır.

Beyaz eşya sektöründe artan talepler ile birlikte üretim sayısı da buna bağlı olarak artmıştır. Müşterinin üretim sayısını artırım talebi iç müşteri olarak tanımlanan üst yönetimde, iç proseslerde kar sağlanması olarak tanımlanmıştır. Burada kuruluş ifadesi olarak ise mevcut plastik enjeksiyon kalıplarından en çok fayda sağlayanın seçilip, bunun üzerinden çevrim süresi iyileştirilerek maliyetin azaltılması hedeflenmiştir.

SIPOC diyagramında ise sürecin başından sonuna kadar hedef olarak belirlenen duruma etki eden paydaşlar belirlenmiştir. (Tablo 6.1.)

Tablo 6.1. SIPOC diyagramı tablosu

S	I	P	O	C
Tedarikçiler	Girdiler	Süreçler	Çıktılar	Müşteri
Hammadde tedarikçileri	Plastik hammadde	Enjeksiyon Prosesi	Çevrim süresi	Son müşteri
Makine parça tedarikçileri	Boya	Hammadde Hazırlık Prosesi	Malzeme kalitesi	İç müşteri
Ambalaj tedarikçileri	Su	Boya Hazırlık Prosesi		
Boya tedarikçileri	Enerji	Ölçüm Prosesi		
	Endirektler			
	Hava			
	Kırma hammadde			
	Siparişler			
	İşçi			
	Kalıp			

Firmada plastik üretim, enjeksiyon makineleri ile yapılmaktadır. Bu makinelere bağlanacak kalıp sayısı çalışma sürecinde 405 adet olarak belirlenmiştir. Çalışmadaki ilk amaç bu 405 adet kalıbın içinden, karar vericilere göre firma için belirlenen kriterlere en uygun olanı seçmektir.

Bu seçim aşamasında karar vericiler tarafından belirli kriterler belirlenmiş olup, bu kriterlerin ağırlıkları AHP yöntemi ile bulunmuştur. Elde edilen bu ağırlıklar TOPSIS yönteminde kullanılarak kalıplar sıralanmış, mevcut olan 405 adet kalıp içerisinde kriterlere en uygun kalıbın seçimi yapılmıştır.

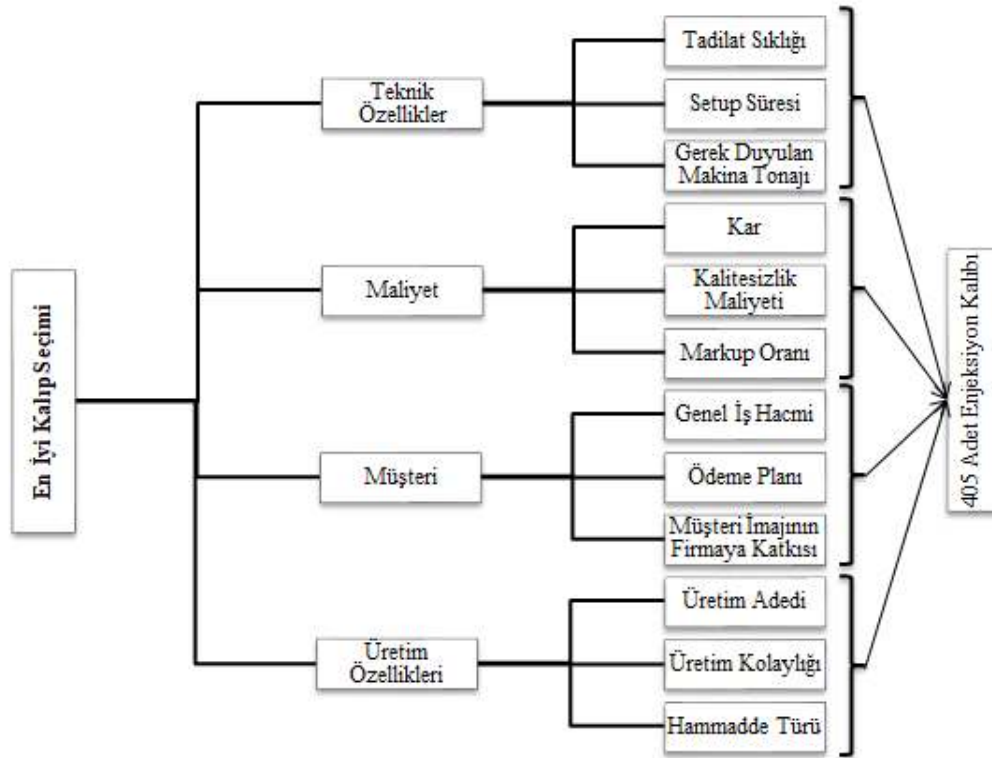
AHP-TOPSIS hibrit yöntemi ile seçilen kalıp, kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemi ile birlikte proses parametrelerinin en uygun hali belirlenerek çevrim süresinin istenilen şartlar altında minimize edilmesi hedeflenmiştir. Uygulama adımları sırayla aşağıda gösterilmektedir.

6.1.1. Seçim kriterlerinin belirlenmesi ve hiyerarşi tablosu

Karar verme sürecinde en önemli adımlardan biri karar vericilerin seçilmesidir. Uygun kalıbın seçilmesinde kullanacak kriterleri belirlemek için uygulamanın yapıldığı firmada çalışan, maliyet, teknik bilgisi ve tecrübesi olan kişiler karar verici olarak seçilmiştir. İşletme Yöneticisi, Kalite Güvence Yöneticisi, Üretim Yöneticisi, Satınalma Yöneticisi, Üretim Mühendisi, Süreç Analiz Lideri olarak altı karar verici seçilmiştir. Yapılan ikili görüşmeler sonucu kalıp seçiminde kullanılacak ana ve alt kriterler:

- Teknik Özellikler
 - Tadilat sıklığı
 - Set-up süresi
 - Gerek duyulan makine tonajı
- Maliyet
 - Kar
 - Kalitesizlik maliyeti
 - Mark-up oranı
- Müşteri
 - Genel iş hacmi
 - Ödeme planı
 - Müşteri imajının firmaya katkısı
- Üretim Özellikleri
 - Üretim adedi
 - Üretim kolaylığı
 - Hammadde türü

olarak belirlenmiştir. Bu ana ve alt kriterlerin belirlenmesi sonucunda hiyerarşik yapı Şekil 6.1'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 6.1. Kalıp seçiminde kullanılan hiyerarşik yapı

Hambali vd.(2009) yapmış olduğu çalışmada, kalıplama prosesi seçiminde ele alınan kriterler incelendiğinde üretim özellikleri, ürün özellikleri, maliyet, malzeme, bakım, ekipman kullanılabilirliği ana kriter olarak alınmıştır. Bu çalışmada ise, üretimi plastik enjeksiyon ile yapılacağı belirli olan kalıplardan en iyi olanının seçilmesi hedeflenmiştir. Ekstra olarak müşteri faktörü ve makine proses ilişkilerinden oluşan kriterler de dahil edilmiştir. Ana kriterler ve alt kriterlerin tanımları şu şekildedir:

Teknik Özellikler:

Kalıp özellikleri olarak da adlandırılabilir bu ana kriter, kalıbın süreç boyunca gösterdiği karakteristik özellikleri göstermektedir. Kalıbın geçtiğimiz iki sene boyunca kaç kere tadilata alındığı (tadilat sıklığı), kalıbın boyutuna göre makineye bağlanma süresinin ortalaması (set-up süresi), her kalıbın üretilmesi için gereken makine boyutu (gerek duyulan tonaj) olarak alt kriterler belirlenmiştir.

Maliyet:

Bir firmanın devamlılığı için gerekli en önemli kriterlerin başına gelen maliyet kriteri, bu çalışmada da etkin bir rol üstlenmiştir. Kalıp üzerinden üretilen parçadan elde

edilen kar miktarı (kar), müşterilerden gelen ret/iadeler ve firma içinde üretimden doğan fireler/kusurlu ürünler (kalitesizlik maliyeti), müşterilere üretilen ürünlerden elde edilen kar payı (markup oranı) olarak alt kriterler belirlenmiştir.

Müşteri:

Farklı müşterilerin firma üzerindeki payı ana kriter olarak ele alınmıştır. Toplam cironun ilgili müşterideki payı (genel iş hacmi), müşterinin kaç ay vade veya hangi ödeme yöntemi ile çalıştığı (ödeme planı), müşterinin firma üzerindeki prestiji ve sağlayacağı referans (müşteri imajının firmaya katkısı) olarak alt kriterler belirlenmiştir.

Üretim Özellikleri:

Kalıbın üretim süresi boyunca firmaya getirdiği katkılar ana kriter olarak yer almıştır. Geçtiğimiz iki yıl boyunca üretilen malzeme adedi (üretim adedi), kalıpta kullanılan hammaddenin üretilebilirlik açısından kolaylığı veya zorluğu (üretim kolaylığı), kullanılan hammaddenin piyasada rahatça bulunabilirliği (hammadde türü) olarak alt kriterler belirlenmiştir.

6.1.2. Ana ve alt kriterlerin ağırlıklandırılması

Problem, hiyerarşik bir şekilde ifade edildikten sonra ana kriterler ve alt kriterler birbirleri arasında ikili şekilde karşılaştırılır ve ağırlıkları belirlenir. Karşılaştırmada altı karar vericinin kararı ayrı ayrı toplanır ve geometrik ortalamaları alınarak her karşılaştırma için genel matris belirlenir. Karşılaştırmadaki verilen değerler Tablo 1’de Saaty (1990) tarafından geliştirilen 1-9 ölçeği ile gerçekleştirilmiştir. Kriterlerin ikili karşılaştırma sonucu oluşan genel tabloları aşağıda belirtilmiştir. EK-1 ve EK-2’de ise karar vericilerin kriterler üzerinde verdiği yanıtlara göre oluşan ikili karşılaştırma matrisleri verilmiştir.

Tablo 6.2. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Ana Kriterler	Teknik	Maliyet	Müşteri	Üretim
Teknik	1,00	0,2239	0,6934	0,2932
Maliyet	4,4663	1,00	4,9195	2,8040
Müşteri	1,4422	0,2033	1,00	0,3736
Üretim	3,4110	0,3566	2,6763	1,00

Tablo 6.3. Teknik özelliklere ait alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Teknik Özellikler (Alt Kriter)	Tadilat Sıklığı	Setup Süresi	Gerek Duyulan Tonaj
Tadilat Sıklığı	1,00	2,1169	0,2242
Setup Süresi	0,4724	1,00	0,1690
Gerek Duyulan Tonaj	4,4604	5,9161	1,00

Tablo 6.4. Maliyete ait alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Maliyet (Alt Kriter)	Kar	Kalitesizlik Maliyeti	Markup Oranı
Kar	1,00	6,9014	4,4604
Kalitesizlik Maliyeti	0,1449	1,00	0,3333
Markup Oranı	0,2242	3,0000	1,00

Tablo 6.5. Müşteriye ait alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Müşteri (Alt Kriter)	İş Hacmi	Ödeme Planı	Müşteri İmajı
İş Hacmi	1,00	4,4604	1,7321
Ödeme Planı	0,2242	1,00	0,3612
Müşteri İmajı	0,5774	2,7682	1,00

Tablo 6.6. Üretim özelliklerine ait alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Üretim Özellikleri (Alt Kriter)	Üretim Adedi	Üretim Kolaylığı	Hammadde Türü
Üretim Adedi	1,00	7,1966	3,0531
Üretim Kolaylığı	0,1390	1,00	0,3196
Hammadde Türü	0,3275	3,1284	1,00

Ana kriterler ve alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra her matris kendi içinde normalize edilir. Normalize işlemi her matris elemanının bulunduğu sütun toplamına bölünmesiyle elde edilir. Normalize matrisler elde edildikten sonra satır ortalamaları alınarak aşağıdaki kriter ağırlıkları belirlenir. Alt kriterlerin ağırlığı belirlenirken satır ortalamaları ile bulunduğu ana kriterin ortalaması çarpılarak alt kriter ağırlığı belirlenir. (Tablo 6.7.)

Tablo 6.7. *Kriterlerin ağırlıkları*

Ana Kriter	Alt Kriter	Ağırlık
Kalıp (0,09)	Tadilat Sıklığı	0,02
	Setup Süresi	0,01
	Gerek Duyulan Tonaj	0,06
Maliyet (0,54)	Kar	0,38
	Kalitesizlik Maliyeti	0,05
	Markup Oranı	0,11
Müşteri (0,11)	İş Hacmi	0,06
	Ödeme Planı	0,01
	Müşteri İmajı	0,04
Üretim (0,26)	Üretim Adedi	0,18
	Üretim Kolaylığı	0,02
	Hammadde Türü	0,06
TOPLAM		1,00

Kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra karar vericilerin kriterleri puanlamasındaki tutarlılığın ölçülmesi gerekmektedir. Tutarlılık oranı hesaplanırken Tablo 3.2’de Saaty (1987) tarafından geliştirilen rassallık indeksi skalası kullanılmaktadır.

$$CR = \text{tutarlılık oranı} = \frac{CI}{RI} = \frac{(\lambda_{max} - n) / (n - 1)}{RI}$$

Kriterlerin ikili karşılaştırılmasındaki tutarlılıkları Tablo 6.8’deki gibidir.

Tablo 6.8. *Matrislerin tutarlılık oranları*

	CR
Ana Kriterler	0,0483
Teknik Özellik (Alt Kriterler)	0,0445
Maliyet (Alt Kriterler)	0,0895
Müşteri (Alt Kriterler)	0,0008
Üretim Özellikleri (Alt Kriterler)	0,0153

Tüm matrislerin tutarlılık oranı 0,1’den küçük olduğundan dolayı yapılan karşılaştırmalar ve elde edilen kriter ağırlıkları tutarlıdır.

6.1.3. TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralandırılması

AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi ile birlikte firmada bulunan 405 adet kalıbın içerisinde kriterlere en uygun kalıp seçilmiştir.

Tüm alt kriterlere ait veriler toplanmış olup, tüm kalıpları içeren genel bir tablo oluşturulmuştur. Tablodaki veriler firmanın ERP sisteminde son iki sene içerisindeki bilgiler ele alınarak oluşturulmuştur. Verinin direkt olarak kullanıldığı kriterler direkt olarak puanlamaya etkisi olmuştur. Verilerin direkt olarak alınmadığı kriterlerde ise puanlama sistemlerini karar vericiler ortak olarak belirlemiştir. (Tablo 6.9.)

Tablo 6.9. *Kriter türleri*

Kriterler	Kriter Türü	Açıklama	Puanlama
Tadilat Sıklığı	Maliyet Kriteri (Min)	Kalıbın son iki sene içinde ortalama tadilat görme sayısı	Direkt veri
Setup Süresi	Maliyet Kriteri (Min)	Kalıbın son iki senede makineye bağlanma süresi	Direkt veri
Gerek Duyulan Tonaj	Fayda Kriteri (Max)	Firmada bulunan farklı tonajlara ait makine sayıları	60-160T(6puan), 200-250T(4puan), 250-320T(2puan), 320-450T(5puan), 450-470T(3puan), 485-700T(1puan)
Kar	Fayda Kriteri (Max)	Kalıp üzerinden elde edilen ortalama kar	Direkt veri
Kalitesizlik Maliyeti	Maliyet Kriteri (Min)	Firma içi ve dışı ortalama fire ve iade maliyetleri	Direkt veri
Markup Oranı	Fayda Kriteri (Max)	Müşterilere ait birim maliyet ile satış fiyatı arasındaki yüzde fark	A müşteri (0,07puan), B müşteri (0,07puan), C müşteri (0,1puan)
İş Hacmi	Fayda Kriteri (Max)	Kalıbın ait olduğu müşterinin firma içinde yüzdelik payı	A müşteri (0,8puan), B müşteri (0,15puan), C müşteri (0,04puan)
Ödeme Planı	Fayda Kriteri (Max)	Müşterinin aldığı ürün/hizmet sonucu talep ettiği vade (en düşük vade en yüksek puanlanmıştır)	A müşteri (3puan), B müşteri (2puan), C müşteri (1puan)
Müşteri İmajı	Fayda Kriteri (Max)	Karar vericilerin müşteriler üzerindeki seçimlerinin ortalamaları	A müşteri (5 puan), B müşteri (1puan), C müşteri(3puan)

Üretim Adedi	Fayda Kriteri (Max)	Kalıbın üretim adedi ortalaması	Direkt veri
Üretim Kolaylığı	Fayda Kriteri (Max)	Kalıbın basıldığı hammaddenin prodesteki üretim kolaylığı	ABS(10puan), HIPS(9puan), PP(8puan), PE(7puan), POM(6puan), GPPS(5puan), PA6(4puan), PMMA(3puan), TPE(2puan), PC(1puan)
Hammadde Türü	Fayda Kriteri (Max)	Kalıbın basıldığı hammaddenin pazarda bulunabilirliği	ABS(10puan), GPPS(9puan), HIPS(8puan), PP(7puan), PMMA(6puan), POM(5puan), PC(4puan), PA6(3puan), PE(2puan), TPE(1puan)

Kriterlerde ele alınan veri setlerinin türleri birbirinden farklı olduğu için vektörel yöntem ile normalize edilmiştir.

Kriter türlerine göre pozitif ideal ve negatif ideal çözümler bulunur:

$$A^+ = \{0,000000 ; 0,000096 ; 0,000688 ; 0,222476 ; 0,000000 ; 0,007758\}$$

$$A^- = \{0,005065 ; 0,001647 ; 0,004133 ; 0,000000 ; 0,030475 ; 0,005431\}$$

Seçilecek olan 405 adet alternatifin belirlenen ideal çözümlere uzaklığı bulunur. Örnek olarak 4 farklı alternatifin uzaklıkları aşağıdaki gibidir.

$$S^+ = \{0,25521 ; 0,25524 ; 0,25298 ; \dots ; 0,25547\}$$

$$S^- = \{0,03121 ; 0,03120 ; 0,03112 ; \dots ; 0,03124\}$$

405 alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlıkları hesaplanır. Hesaplama sonucu en iyi 10 kalıp göreceli yakınlık değerleri Tablo 6.10'da belirtilmiştir. Kalan kalıpların ideal çözümlere uzaklık ve göreceli yakınlık listeleri EK-3, EK-4, EK-5 ve EK-6'da belirtilmiştir.

Tablo 6.10. Çok kriterli karar verme sonuç tablosu

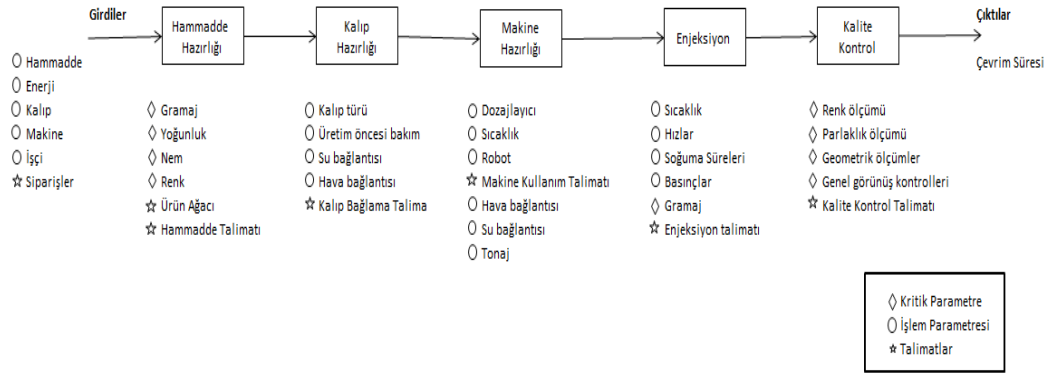
Kalıp	S+	S-	CC*	Derece
Çekmece Kapağı (Kalıp-343)	0,118949	0,22278	0,651919	1
Panel Takviye (Kalıp-94)	0,167852	0,112041	0,400299	2
Sap Tapası (Kalıp-14)	0,2081	0,130072	0,384633	3
Cam Raf Profili (Kalıp-283)	0,176627	0,088825	0,334617	4
Buhar Kabı (Kalıp-339)	0,181751	0,09029	0,331899	5
Sebzelik (Kalıp-86)	0,181993	0,090305	0,33164	6
Buhar Kabı (Kalıp-398)	0,192186	0,07831	0,289504	7
Çekmece Gövdesi (Kalıp-342)	0,19315	0,078388	0,288683	8
Aydınlatma Camı (Kalıp-256)	0,189956	0,07409	0,280596	9
Alt Kapak (Kalıp-231)	0,195809	0,071456	0,267359	10

Belirlenen CC^* değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak en iyi alternatif bulunmuştur. 0,64972 değeriyle “çekmece kapağı” kalıbı diğer kalıplara göre ideal çözüme yakınlığı daha fazla olduğundan dolayı yapılacak deney tasarımı çalışmasına konu olarak seçilmiştir.

6.2. Ölçme Aşaması

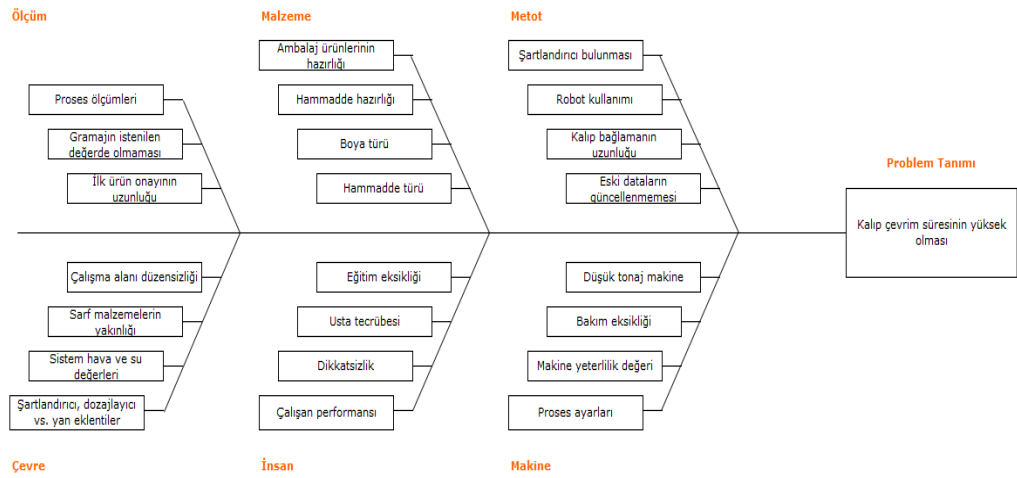
Bu aşamada ise tanımlama aşamasında müşterinin sesinden yola çıkarak belirlenen projenin hedefine etki eden faktörler ve alt faktörler belirlenmiştir. Bu belirlemeleri yaparken süreç haritası yöntemi kullanılarak süreç detayları gözlemlenmiştir. (Şekil 6.2.)

Proses çıktısı olarak çevrim süresi ele alınmıştır. Müşteri sesinde belirtilen üretim sayısının artırılması, çevrim süresinin minimize edilmesi ile sağlanacaktır. Çevrim süresini en aza indirgerken kalite açısından müşterinin talimatları baz alınarak uygun malzeme üretilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 6.2. Süreç haritası

Balık kılçığı diyagramı ile çalışmanın hedefi olan çevrim süresine etkisi olan faktörler detaylandırılmıştır. (Şekil 6.3.)



Şekil 6.3. Balık kılçığı diyagramı

Bu faktörler altı sigma ekibi ile birlikte göz önüne alındığında; kalıp türü, makine türü ve enjeksiyon parametrelerinin en önemli faktörler olacağı belirlenmiştir.

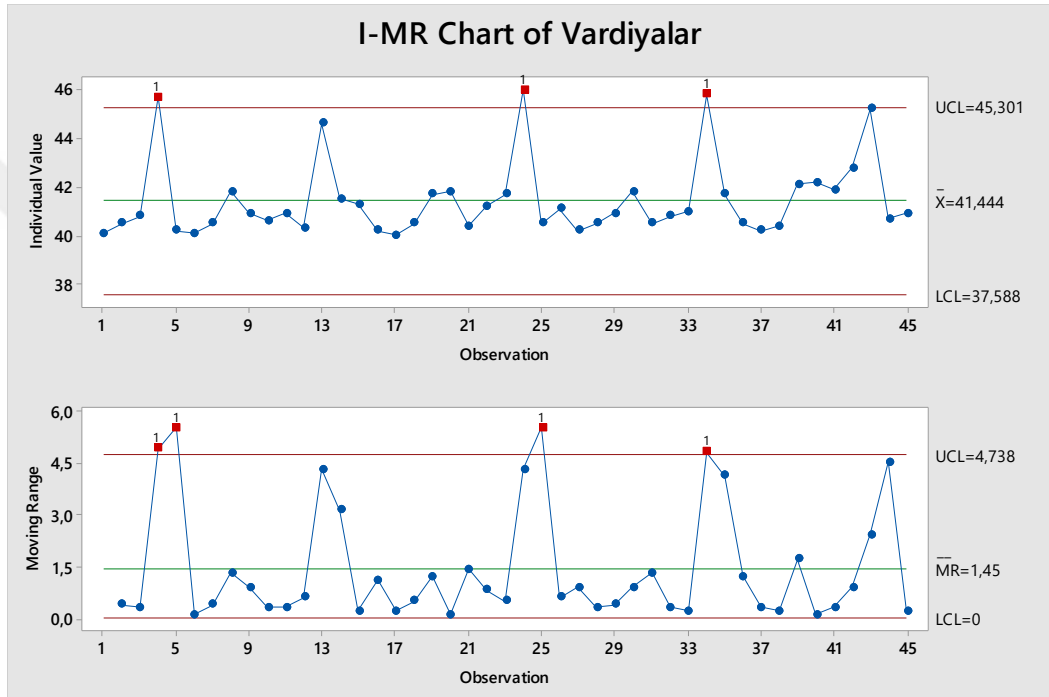
Ölçme aşamasında, tüm alınan süreler makine verilerinden alındığı için ölçüm sistemi yeterli olup, herhangi bir ölçüm sistemi analizine gerek duyulmamıştır. Veriler direkt olarak sistemden çekildiği için süreye etki eden operatör, çevre vb. etkenlerin ölçüm üzerine etkisi bulunmamaktadır.

6.3. Analiz Aşaması

6.3.1. I-MR kontrol grafiği

Analiz aşamasında mevcut sürecin analizi yapılmıştır. Hipotez testleri, I-MR kontrol grafiği ve süreç yeterlilik analizi kullanılarak sürecin iyileştirme yapılmadan önceki durumu analiz edilip çalışma bu yönde sürdürülmüştür.

İlk olarak mevcut sürecin I-MR kontrol grafiği çizilip, sürecin kontrol altında olup olmadığı gözlemlenmiştir. (Şekil 6.4.)



Şekil 6.4. Mevcut I-MR kontrol grafiği

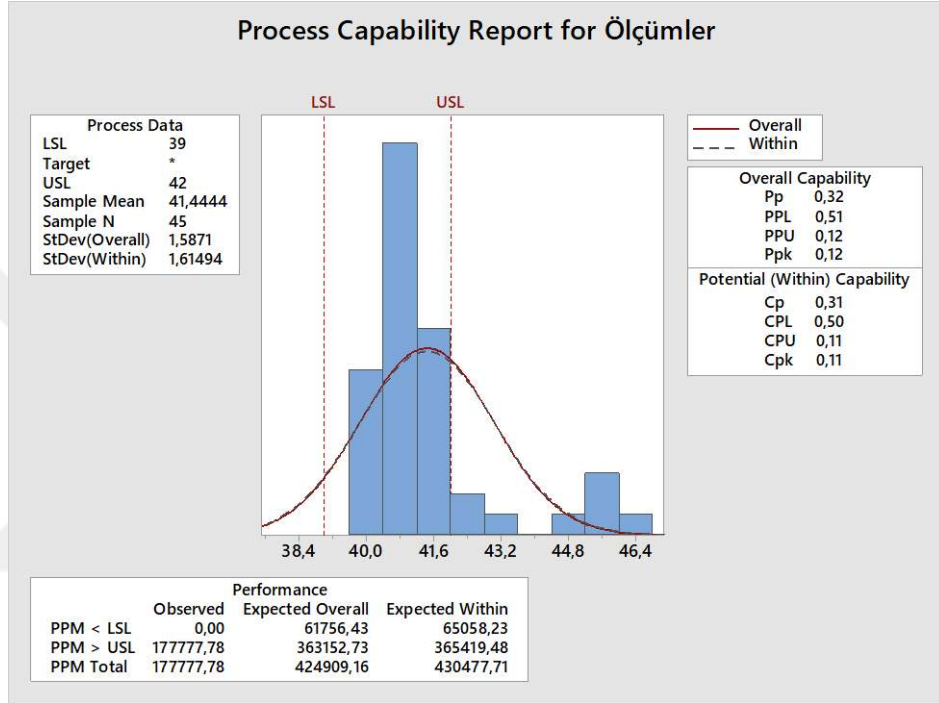
Firmanın çalışma gösterdiği üç vardiyada alınan çevrim süreleri sonuçlarına göre I-MR grafiği çizildiğinde, sürecin kontrol altında olmadığı, aykırı değerlerin süreç içerisinde gözlemlendiği belirtilmektedir. Süreç verileri yarım saatte bir kez olmak üzere vardiya başına 15 kez alınmış olup, üç vardiyada toplam 45 ölçüm alınmıştır. EK-7’de süreler belirtilmiştir.

6.3.2. Süreç yetenek analizi

Süreç yetenek indeksi (Cp), sürecin spesifikasyonları ne kadar sağladığının yani sürecin yeteneğinin bir ölçüsüdür. Kalite karakteristikleri farklı birimlerde olabilir. Süreç yetenek indeksi bu farklı birimleri ortadan kaldırarak süreçlerin birbirleriyle kıyaslanmasına olanak sağlar. Cp indeksi ortalamadan kayıklığı dikkate almamaktadır.

Cp indeksinde önemli olan tolerans aralığı içine sığmasıdır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için Cp indeksi ile birlikte Cpk indeksi de kullanılmaktadır. Cpk indeksi ortalama kayıklığı da dikkate almaktadır. (Erginel,2020)

I-MR kontrol grafiğine ek olarak süreç yeterlilik analizi yapılmış olup, sürecin istenilen şartlar altında yeterli olup olmadığı değerlerinden kontrol edilmiştir. (Şekil 6.5.)



Şekil 6.5. Mevcut süreç yeterlilik analizi

Süreç yetenek indeksi üretim sektöründe genel olarak Tablo 6.11'deki gibi yorumlanmaktadır:

Tablo 6.11. Süreç yetenek indeksinin yorumlanması (Erginel,2020)

Süreç Yetenek İndeksi	Yorum
$Cp, Cpk < 1,0$	Süreç yetersiz
$1,0 \leq Cp, Cpk < 1,33$	Süreç Geliştirilebilir
$Cp, Cpk \geq 1,33$	Süreç Yeterli

Grafik incelendiğinde; Cpk değeri istenilen minimum 1,00'lık seviyenin altında kalmış olup 0,11 değerindedir. Bu değerin oluşmasında, yapılan çevrim süresi ölçümlerinin kontrol altında olmamasından kaynaklanmaktadır.

Mevcut sürecin analizinin son aşamasında ise, çevrim süresinde etkili olabilecek olan kalıplar arası ve makineler arası fark olup olmadığı hipotez testleri ile kontrol edilmiştir.

Kalıplar ve makineler arası fark olup olmadığını kontrol etmek amacıyla iki faktörlü ANOVA yöntemi kullanılmıştır. Her iki makineye (Makine1, Makine2) kalıplar (Kalıp1, Kalıp2) ayrı ayrı bağlanmış olup, her bir etkileşim için 35 adet çevrim süresi ölçülmüştür. Ölçümler EK-8’de verilmiştir.

Yapılan hipotez testinde;

H_0 : Kalıpların çevrim süresi üzerinde etkisi yoktur.

H_1 : Kalıpların çevrim süresi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

H_0 : Makinelerin çevrim süresi üzerinde etkisi yoktur.

H_1 : Makinelerin çevrim süresi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

hipotezleri kurulmuş olup, ANOVA sonuçları incelenmiştir. (Tablo 6.12.)

Tablo 6.12. Kalıplar ve makinelerin hipotez test sonuçları

General Linear Model: Çevrim versus Makine; Kalıp					
Method					
Factor coding (-1; 0; +1)					
Factor Information					
Factor	Type	Levels	Values		
Makine	Fixed	2	1; 2		
Kalıp	Fixed	2	1; 2		
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Makine	1	0,00257	0,002571	0,11	0,737
Kalıp	1	0,03457	0,034571	1,52	0,219
Error	137	3,10829	0,022688		
Lack-of-Fit	1	0,00257	0,002571	0,11	0,738
Pure Error	136	3,10571	0,022836		
Total	139	3,14543			

%95 güven seviyesinde yapılan ANOVA testinde hem makine hem de kalıp faktörleri için P değerleri 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi ret edilemez yani iki kalıp arasında ve iki makine arasında çevrim süresine etki edebilecek bir fark yoktur denilebilir.

Yapılan hipotez testleri incelendiğinde, süreçte kalıplar arası ve makineler arası bir fark olmadığı ortaya konmuştur. Bu sebeple, deney tasarımına konu olacak faktörler arasına kalıp ve makine türü kategorik faktör olarak alınmamıştır.

6.4. İyileştirme Aşaması

Bu aşamada ise, analizi yapılmış olan mevcut duruma etki eden faktörlerin birbirleri ile olan etkileşimleri ve düzeyleri belirlenmiştir.

6.4.1. Faktör seçimi

Balık kılçığı diyagramında sürece etki eden faktörlerin makine tipi, kalıp tipi ve proses parametreleri olduğu belirlenmişti. Yapılan hipotez testleri ile birlikte makine ve kalıp tipinin süreç üzerinde etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmalar ile birlikte, deney tasarımının proses parametreleri üzerinden yapılacağı ortaya çıkmıştır.

Çevrim süresini minimum seviyeye getirme hedefiyle yapılacak olan deney tasarımına konu olacak faktörler, karar vericiler ile beyin fırtınası yapılarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

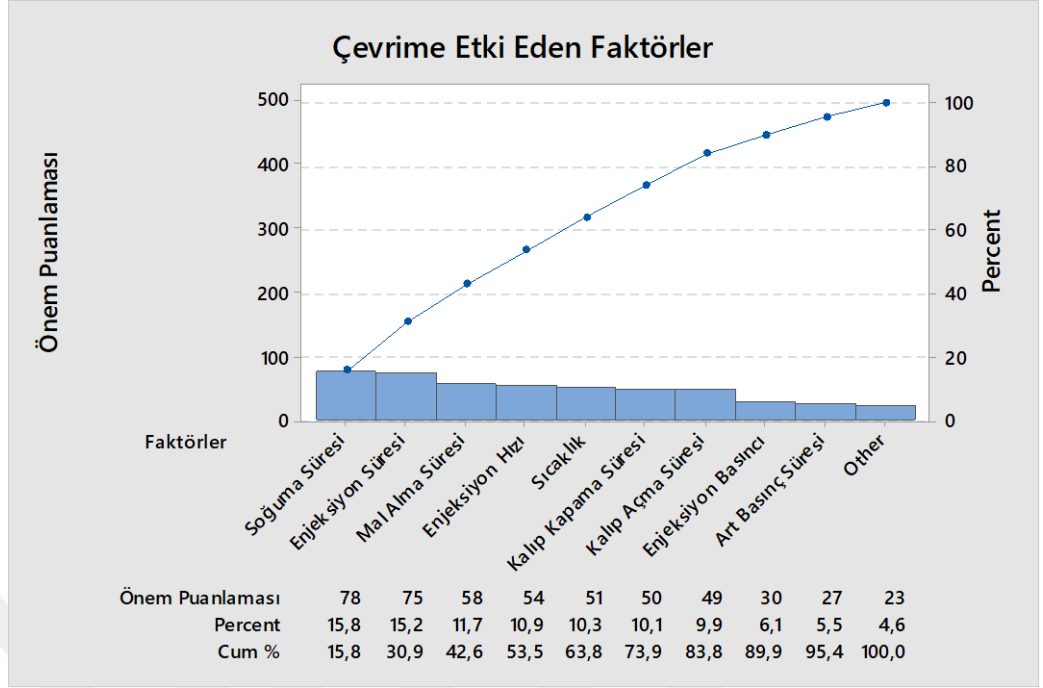
- Soğuma Süresi
- Enjeksiyon Süresi
- Art Basınç Süresi
- İtici Vurma Süresi
- Kalıp Açma Süresi
- Kalıp Kapama Süresi
- Enjeksiyon Basıncı
- Enjeksiyon Hızı
- Mal Alma Süresi
- Sıcaklık

Bu faktörler her bir karar verici tarafından önem sırasına göre puanlandırılmış ve öncelik matrisi oluşturulmuştur (Tablo 6.13.). En önemli olan 10, en önemsiz olan faktör 1 olarak her bir karar verici puanlamalarını aşağıdaki gibi gerçekleştirmiştir. Puanların toplamı alınarak sebepler/faktörler önceliklendirilmiştir.

Tablo 6.13. Faktörlerin puanlandırılması

Faktörler	KARAR VERİCİLER									Toplam
	BD	AG	MS	KE	FG	ŞÇ	U1	U2	U3	
Soğuma Süresi	6	10	10	9	10	3	10	10	10	78
Enjeksiyon Süresi	8	8	5	8	9	10	9	9	9	75
Art Basınç Süresi	5	1	2	3	5	2	6	1	2	27
İtici Vurma Süresi	1	2	3	2	6	1	5	2	1	23
Kalıp Açma Süresi	2	6	8	5	8	4	4	8	4	49
Kalıp Kapama Süresi	3	5	7	4	7	9	3	7	5	50
Enjeksiyon Basıncı	4	3	1	6	1	7	2	3	3	30
Enjeksiyon Hızı	7	4	4	7	4	8	8	6	6	54
Mal Alma Süresi	9	7	6	10	3	5	7	4	7	58
Sıcaklık	10	9	9	1	2	6	1	5	8	51

Puanlandırılan faktörler pareto diyagramı ile Şekil 6.6'daki gibi incelenmiştir.



Şekil 6.6. Faktörlerin önem düzeyleri (pareto diyagramı)

Pareto diyagramı, aynı zamanda “80-20 kuralı” olarak da bilinir. 1897 yılında İtalyan ekonomist Wilfredo Pareto tarafından ortaya sürülmüştür. Bu kurala göre sonuçların %80’i, nedenlerin %20’sinden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Belirlenen önem düzeylerine göre ilk yedi sırada bulunan soğuma süresi, enjeksiyon süresi, mal alma süresi, enjeksiyon hızı, sıcaklık, kalıp kapama süresi ve kalıp açma süresi toplam değişkenliğin %83,8’ini oluşturduğu için, deney tasarımına konu olacak faktörler olarak karar vericiler tarafından belirlenmiştir.

6.4.2. Faktörlerin düzeylerinin belirlenmesi

Deney tasarımında incelenecek olan yedi adet faktörün düzeyleri karar vericilerin bilgi ve tecrübelerine dayanarak ortak şekilde Tablo 6.14’deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 6.14. Faktör düzeyleri

Faktörler	Düzy-1	Düzy-2	Birim
Soğuma Süresi	15	20	saniye
Enjeksiyon Süresi	4	6	saniye
Mal Alma Süresi	6	8	saniye
Enjeksiyon Hızı	25	40	mm/saniye
Sıcaklık	230	250	°C
Kalıp Kapama Süresi	2,5	5	saniye
Kalıp Açma Süresi	4	7	saniye

6.4.3. Kesirli faktöriyel deney tasarımı

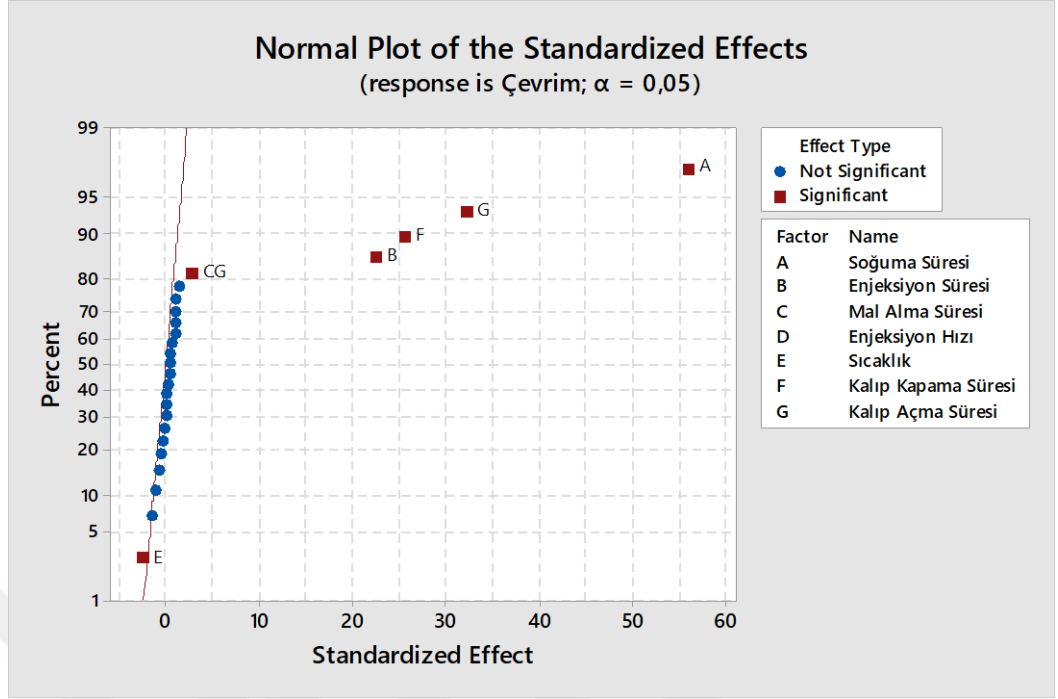
Belirlenen 7 faktör için deney tasarımı oluşturulurken deney sayısı ve zaman kavramı devreye girmiştir. Tam faktöriyel bir çalışma için 128 adet rassal deney yapılması gerekmektedir. İşleyen bir süreç üzerinde yüksek sayıda deney yapılması zor olacağından dolayı, $2^{(n-k)}$ faktöriyel deney tasarımı planlanmıştır.

Düzeyleri belli olan 7 adet faktör için, Minitab programında $2^{(n-2)}$ kesirli faktöriyel deney tasarımı ile birlikte toplamda 32 adet rassal deney planlanmıştır. Bu rassal sıralamaya göre belirlenen düzeylerde çevrim süreleri ölçülmüştür. (Tablo 6.15.)

Tablo 6.15. $2^{(7-2)}$ kesirli faktöriyel tablosu

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	Soguma Süresi	Enjeksiyon Süresi	Mal Alma Süresi	Enjeksiyon Hızı	Sıcaklık	Kalıp Kapama Süresi	Kalıp Açma Süresi	Çevrim Süresi
28	1	1	1	20	6	6	40	250	2,5	7	45,33
8	2	1	1	20	6	8	25	230	2,5	7	46,23
27	3	1	1	15	6	6	40	250	5	4	40,00
21	4	1	1	15	4	8	25	250	2,5	4	35,47
9	5	1	1	15	4	6	40	230	2,5	4	36,23
4	6	1	1	20	6	6	25	230	5	7	47,83
19	7	1	1	15	6	6	25	250	2,5	7	40,43
12	8	1	1	20	6	6	40	230	2,5	4	43,03
16	9	1	1	20	6	8	40	230	5	4	44,67
23	10	1	1	15	6	8	25	250	5	7	42,73
30	11	1	1	20	4	8	40	250	2,5	4	40,70
11	12	1	1	15	6	6	40	230	5	7	43,17
24	13	1	1	20	6	8	25	250	2,5	4	42,33
10	14	1	1	20	4	6	40	230	5	7	46,20
22	15	1	1	20	4	8	25	250	5	7	45,57
3	16	1	1	15	6	6	25	230	2,5	4	37,97
31	17	1	1	15	6	8	40	250	2,5	4	37,50
6	18	1	1	20	4	8	25	230	5	4	42,80
18	19	1	1	20	4	6	25	250	2,5	7	43,40
17	20	1	1	15	4	6	25	250	5	4	38,17
2	21	1	1	20	4	6	25	230	2,5	4	40,98
13	22	1	1	15	4	8	40	230	5	4	37,97
5	23	1	1	15	4	8	25	230	2,5	7	38,47
20	24	1	1	20	6	6	25	250	5	4	45,03
29	25	1	1	15	4	8	40	250	5	7	40,97
7	26	1	1	15	6	8	25	230	5	4	40,07
14	27	1	1	20	4	8	40	230	2,5	7	43,70
32	28	1	1	20	6	8	40	250	5	7	48,20
15	29	1	1	15	6	8	40	230	2,5	7	40,67
26	30	1	1	20	4	6	40	250	5	4	43,17
1	31	1	1	15	4	6	25	230	5	7	40,93
25	32	1	1	15	4	6	40	250	2,5	7	38,33

Belirlenen deneyler ve sonuçları Minitab programında %95 güven seviyesinde çalıştırılarak aşağıdaki grafik elde edilmiştir. (Şekil 6.7.)



Şekil 6.7. Süreçte etkin faktörler

Yapılan kesirli deney tasarımına ait detaylı ANOVA tablosu EK-9 ve EK-10’da verilmiştir. Çıkan sonuçlar incelendiğinde; soğuma süresi, enjeksiyon süresi, sıcaklık, kalıp kapama süresi, kalıp açma süresi ve mal alma süresi ile kalıp açma süresi etkileşimi etkin faktörler olarak gözlenmiştir.

Etkin olmayan faktörler kapsam dışı bırakılarak, etkin olanlar için tekrar ANOVA tablosu oluşturulmuştur. (Tablo 6.16.)

Tablo 6.16. Etkin faktörlerin ANOVA sonuç tablosu

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value
Soğuma Süresi	1	200,450	58,41%	200,450	200,450	4976,27
Enjeksiyon Süresi	1	32,261	9,40%	32,261	32,261	800,88
Sıcaklık	1	0,403	0,12%	0,403	0,403	10,00
Kalıp Kapama Süresi	1	42,113	12,27%	42,113	42,113	1045,48
Kalıp Açma Süresi	1	66,326	19,33%	66,326	66,326	1646,58
Mal Alma Süresi	1	0,144	0,04%	0,144	0,144	3,59
Kalıp Açma Süresi*Mal Alma Süresi	1	0,498	0,14%	0,498	0,498	12,35
Error	24	0,967	0,28%	0,967	0,040	
Total	31	343,162	100,00%			

Source	P-Value
Soğuma Süresi	0,000
Enjeksiyon Süresi	0,000
Sıcaklık	0,004
Kalıp Kapama Süresi	0,000
Kalıp Açma Süresi	0,000
Mal Alma Süresi	0,070
Kalıp Açma Süresi*Mal Alma Süresi	0,002
Error	
Total	

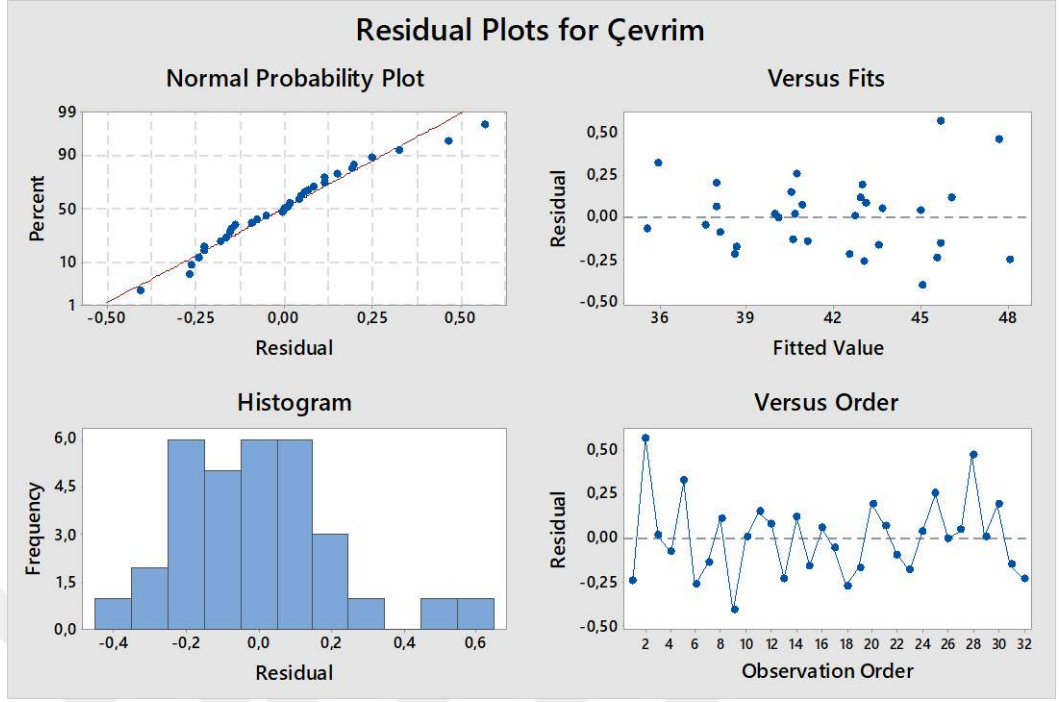
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,200702	99,72%	99,64%	1,71867	99,50%

Sonuçlar incelendiğinde, %95 güven seviyesinde soğuma süresi, enjeksiyon süresi, sıcaklık, kalıp kapama süresi, kalıp açma süresi direkt olarak, mal alma süresi ise kalıp açma süresi ile etkileşiminin anlamlı olması nedeniyle etkin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kurulan deney tasarımı sürecin %99,72’lik kısmını net bir şekilde açıklamaktadır. Faktörlerin çevrim üzerindeki etkisi yapılan Tukey testi ile desteklenmiştir. Sonuçlar EK-11’de gösterilmiştir.

Son olarak, altı faktör süreçte etkin olan faktörler olarak belirlenmiştir. Bunlar; soğuma süresi, enjeksiyon süresi, sıcaklık, kalıp açma süresi, kalıp kapama süresi ve mal alma süresidir.

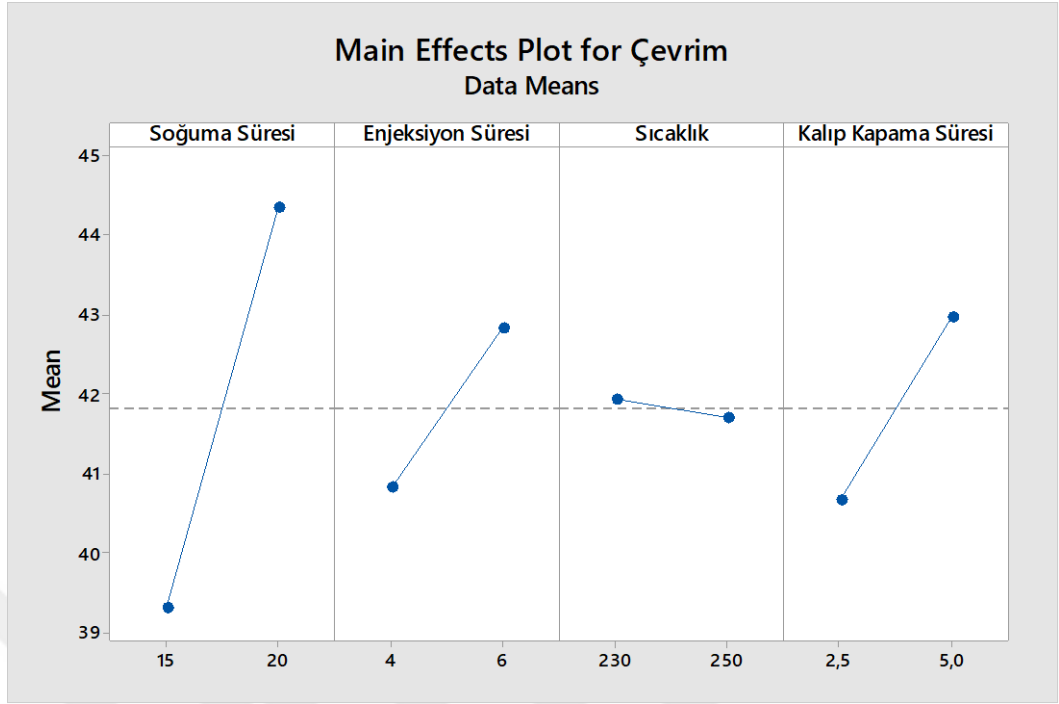
Etkin olan faktörlerin residual(hatalar/artıklar) grafikleri Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



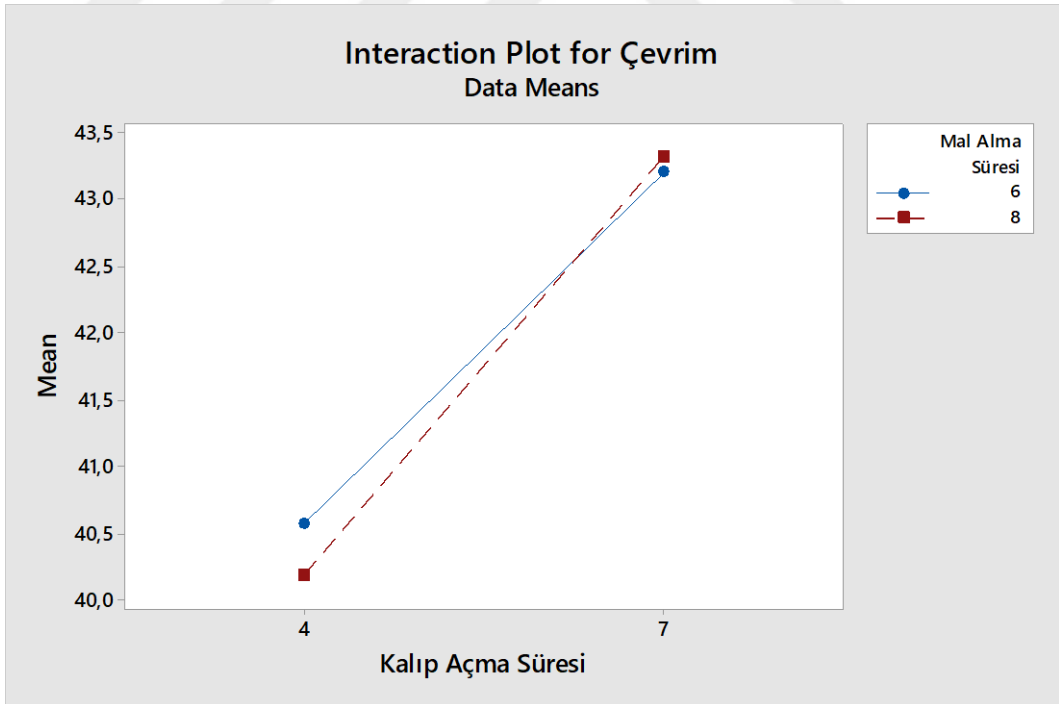
Şekil 6.8. Etkin olan faktörlerin residual grafikleri

Grafik incelendiğinde, residual değerleri normal dağılıma uygundur. Residual değerleri sabit varyansa sahip olup, bağımsız olarak dağıldığı görülmektedir.

Etkin faktörlerin amaca uygun seviyelerini belirlemek için ana etkiler ve etkileşim grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmektedir.



Şekil 6.9. Ana etkiler grafiği



Şekil 6.10. Etkileşim grafiği

Tablo 6.17. *Mal alma süresinin çevrim süresi üzerinde etkisi (Tukey testi)*

One-way ANOVA: Çevrim Ort versus Mal Alma Süresi

Method

Null hypothesis	All means are equal
Alternative hypothesis	Not all means are equal
Significance level	$\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Mal Alma Süresi	2	6; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Mal Alma Süresi	1	0,589	0,5891	0,06	0,805
Error	14	130,731	9,3379		
Total	15	131,320			

Şekil 6.10’da yer alan etkileşim grafiğine bakıldığında mal alma süresi düzeylerinin etkisinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu yakınlığın anlamlı olup olmadığı yapılan Tukey testi ile incelenmiştir (Tablo 6.17). Mal alma süresi için p değeri incelendiğinde %95 güven seviyesinde 0,805 olarak ölçülmüştür. Bu nedenle H_0 hipotezi ret edilemez. Yani mal alma süresi düzeylerinin çevrim süresi üzerinde etkisi görülmemiştir.

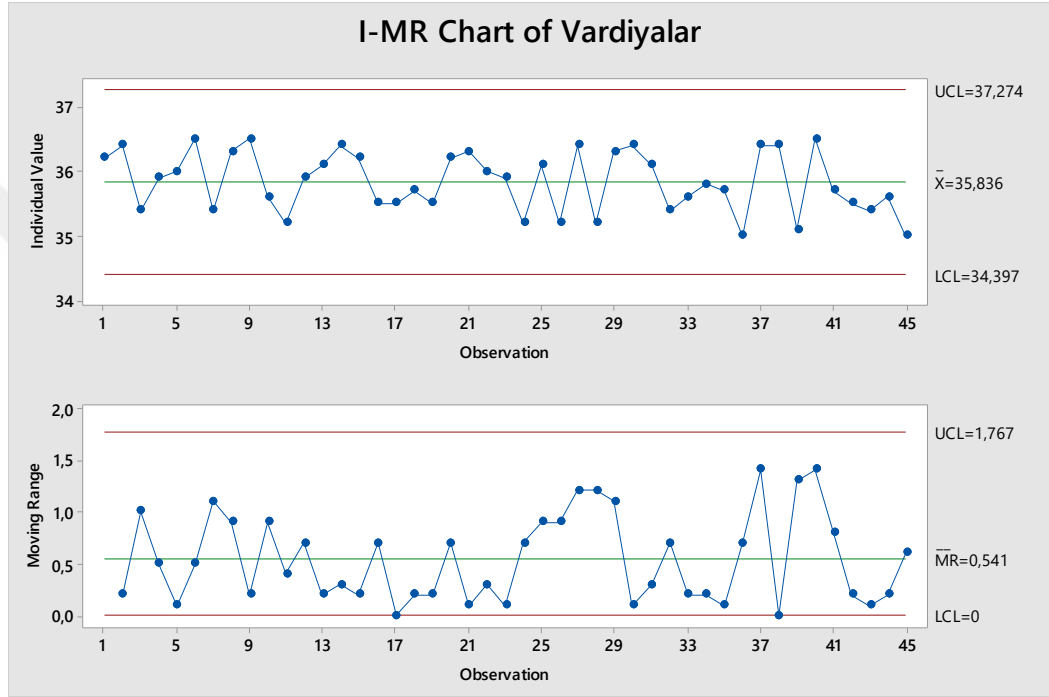
Tüm ana etkiler ve etkileşim grafikleri incelendiğinde, hedef çevrim süresinin minimum olması için;

- Soğuma süresi: 15 saniye
- Enjeksiyon süresi: 4 saniye
- Sıcaklık: 250 °C
- Kalıp kapama süresi: 2,5 saniye
- Kalıp açma süresi: 4 saniye
- Mal alma süresi : 6 yada 8 saniye

olarak belirlenmiştir.

6.5. Kontrol Aşaması

Altı sigma yaklaşımının son adımı olan kontrol aşamasında, yapılan iyileştirme çalışmalarının süreç içerisinde kontrolü ve sürdürülebilirliği gözlemlenmiştir (Şekil 6.11.). Analiz aşamasında önceki durum için yapılan I-MR kontrol grafiği ve süreç yetenek analizi tekrarlanmıştır. Süreç verileri yarım saatte bir kez olmak üzere vardiya başına 15 kez alınmış olup, üç vardiyada toplam 45 ölçüm alınmıştır. EK-12’de süreler belirtilmiştir.



Şekil 6.11. İyileştirme sonrası I-MR kontrol grafiği

Yapılan iyileştirmeler sonrasında I-MR kontrol grafiği incelendiğinde, sürecin kontrol altında olup, zamana bağlı süreç dışı bir sapma olmadığı gözlemlenmiştir. İyileştirme öncesi ve sonrası kontrol grafikleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı t testi ile kontrol edilmelidir. (Tablo 6.18.)

Tablo 6.18. Kontrol grafikleri arasında yapılan t testi sonuç tablosu

Two-Sample T-Test and CI: Önce; Sonra

Method

μ_1 : mean of Önce
 μ_2 : mean of Sonra
Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Önce	45	41,44	1,59	0,24
Sonra	45	35,836	0,466	0,069

Estimation for Difference

Difference	95% Lower Bound for Difference
5,609	5,196

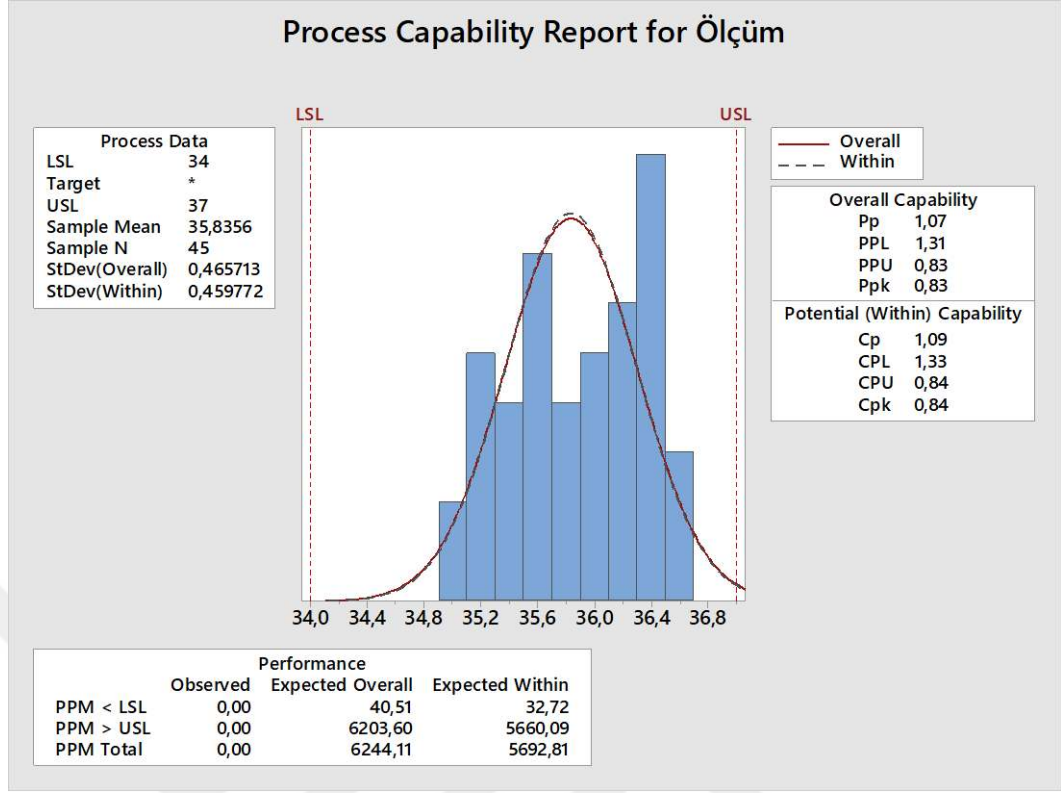
Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$

T-Value	DF	P-Value
22,75	51	0,000

Önce ve sonrası için %95 güven seviyesinde yapılan t testinde, P değeri 0,05'ten küçük olduğu için H_0 hipotezi ret edilir, H_1 hipotezi kabul edilir. İyileştirme yapıldıktan sonraki imalat süresi, yapılmadan önceki imalat süresine göre anlamlı derecede küçüktür. Yani önce ve sonra yapılan ölçümler sonucunda süreçler birbirinden anlamlı derecede farklıdır denebilir.

Sürecin kontrol altında olduğu incelendikten sonra süreç yetenek analizi ile birlikte istenilen Cpk değerlerinde olup olunmadığı kontrol edilmiştir. (Şekil 6.12.)

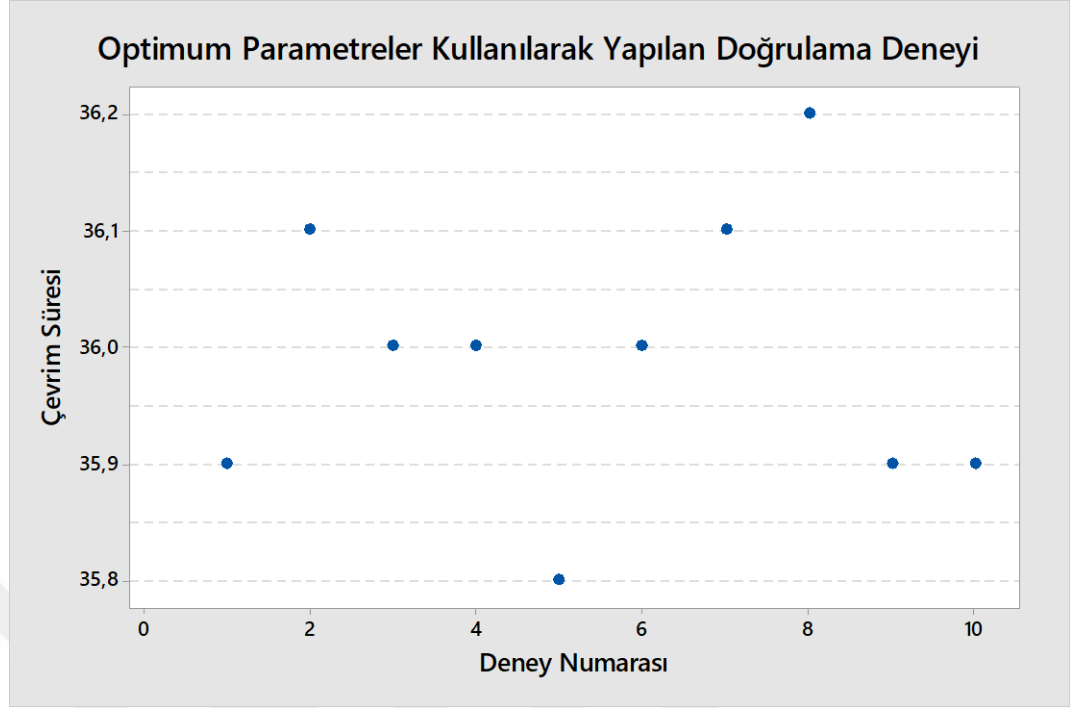


Şekil 6.12. İyileştirme sonrası süreç yeterlilik analizi

Cpk değeri incelendiğinde, 0,84 değeri bulunmuş olup istenilen seviye yaklaşılmıştır. Kısa ve uzun vadeli hatalar incelendiğinde ise önceki duruma göre iyileşme sağlandığı gözlemlenmiştir.

İyileştirme öncesi Cp değeri 0,31 ve Cpk değeri 0,11 olarak bulunmuştur. Toplam PPM ise 424.909,16 olarak hesaplanmıştır. Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucu Cp değeri 1,09 ve Cpk değeri 0,84 bulunmuştur. Toplam PPM değeri ise 6244,11 olarak hesaplanmıştır.

İyileştirme sonrası seçilen parametrelerin doğruluğunun kontrolü için belirlenen şartlar ve seviyelerde deneme üretimleri yapıp, ölçümler alınmıştır. Optimum düzeyler için yapılan 10 adet deneme üretim sonuçları Şekil 6.13'te verilmiştir.



Şekil 6.13. Doğrulama deneyi sonuçları

Doğrulama deneylerinin sonuçları incelendiğinde, belirlenen parametreler ile oluşturulmuş sistemin çevrim süresini istenilen seviyelere indiği görülmektedir.

6.6. Mali Analiz

Probleme konu olan ürün için müşteri talebi, 2020'den 2021 senesine %22 artarak 800.000 adet/yıl'dan 976.000 adet/yıl'a çıkmıştır. Yapılan bu çalışmalar ile birlikte, talep artışına rağmen yeni makine alınmadan karşılanabilir hale gelmiştir. Yıllık talep artışını karşılayabilecek durumda olduğundan birim başına proses maliyetini 2 TL/birim'den 1,52TL/birim'e indirgeyerek toplam talep için yıllık 468.480TL kazanca ve %24 oranın bir iyileşmeye karşı gelmektedir.

7. SONUÇ VE YORUMLAR

Hızla küreselleşen ve rekabetin giderek arttığı bir dünyada, ekonomi konusu her zaman önemli bir katman olarak öne çıkmaktadır. Firmalar ekonomik özgürlüklerinin kısıtlanmaması için, yapılan ürün ve hizmetlerde maliyetlerini sürekli olarak düşürmeyi hedeflemekte ve bunun için çeşitli çalışmalar düzenlemektedir. Altı sigma metodolojisi burada devreye girmektedir. Müşteri memnuniyetini önemseyerek, şirket karını ve buna bağlı rekabetçiliğini artıran bir yaklaşımdır. Gelecekte, düşük maliyet ve yüksek kalite ile müşteri talebine yanıt verebilen firmalar hayatta kalacaktır. Bu konuda altı sigma

yaklaşımı, hem değişkenliği azaltarak hurda ve yeniden işlemlerde kazanç sağlayacak, hem de maliyet azaltımında yardımcı olan en önemli metodlar arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada, plastik enjeksiyon makinesindeki çevrim süresinin kısaltılması problemi ele alınmıştır. Çevrim süresine etki eden faktörler belirlenmiş, uygun seviyeler seçilerek çevrim süresindeki değişkenlikler azaltılmış, çevrim süresi ortalama 41,5 saniyeden 36 saniyeye indirilmiştir. Yapılan bu iyileştirme ile birlikte mevcut makinelerde kapasite artışı sağlanarak, oluşan talep artışı bu şekilde karşılanmıştır. Yeni bir enjeksiyon makinesi alımı maliyetinden kaçınılmıştır. Değişikliklerin azaltılarak kapasitenin artması ve buna bağlı olarak maliyetlerin azaltılması sağlanmıştır.

Yapılan deney planlaması sonucu, soğuma süresi faktörünün deney üzerinde etkisi %58,41 ve seviyesi 15 saniye; enjeksiyon süresi faktörünün deney üzerinde etkisi %9,4 ve seviyesi 4 saniye, sıcaklık faktörünün deney üzerinde etkisi %0,12 ve seviyesi 250 °C, kalıp kapama süresi faktörünün deney üzerinde etkisi %12,27 ve seviyesi 2,5 saniye, kalıp açma süresi faktörünün deney üzerinde etkisi %19,33 ve seviyesi 4 saniye, mal alma süresinin deney üzerinde etkisi %0,04 ve seviye 6 yada 8 saniye olarak belirlenmiştir. Cpk değeri 0,11 değerinden 0,84 değerine çıkarılarak süreçte iyileşme sağlanmıştır. Çalışma sonucu maliyetlerde 468.480 TL'lik bir kazanç sağlanmıştır.

Gelecek çalışmalarda ise, belirlenen faktörler ve düzeyleri üzerinde yapılacak iyileştirmeler ile birlikte, 0,84 olarak bulunan Cpk değeri 1,33'ün üzerine çıkarılıp, süreç tamamen yeterli hale getirilebilir.

Plastik sektöründe altı sigma, deney tasarımı ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin ayrı ayrı kullanıldığı ya da tüm yöntemlerin bir arada kullanıldığı çalışmaların çok olmaması nedeniyle, bu konularla ilgilenen okurlara ve literatüre katkı sağlayacağı öngörülmüştür.

KAYNAKÇA

- Avcı, T. ve Çınaroğlu, E. (2018). AHP temelli TOPSIS yaklaşımı ile havayolu işletmelerinin finansal performans değerlemesi. C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 19 (1).
- Baray, Ş.A. ve Sarı, T. (2006). Kalite geliştirmede deney tasarımı yöntemi ve otomotiv sektöründe bir uygulama. İ.Ü İşletme Fakültesi Dergisi Cilt 35 (2), 37-62.
- Demir, L. (2004). İstatistiksel deney tasarımı yöntemi ve bir tekstil işletmesinde uygulanması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dowlathahi, S. (2004). An application of design of experiments for optimization of plastic injection molding processes. Journal of Manufacturing Technology Management, Volume 15 (6), 445-454.
- Duru, N., Koç, K.H. ve Taş, Y. (2011). İşletmelerde hatasızlığa yönelim, altı sigma ve hata türü etkileri analizi. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 7 (1), 56-67.
- Erginel N. (2020). Kalite mühendisleri için el kitabı. Ankara: Nobel Yayın.
- Güner, H. (2005). Bulanık AHP ve bir işletme için tedarikçi seçimi problemine uygulanması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hambali, A., Sapuan, S.M., Ismail, N., Nukman Y. (2009). Composite manufacturing process selection using analytical hierarchy process. International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME), Vol. 4 (1), 49 -61.
- Hrituc, A., Coteata, M., Dodun, O., Nagit, G., Slatineanu, L. (2019). Optimal selection of equipment for injection molding process using the AHP method. MATEC Web of Conferences, 9th International Conference on Manufacturing Science and Education, Volume 290.
- İmren, E. (2011). Mobilya endüstrisinde analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi ile kuruluş yeri seçimi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bartın: Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Karim, R., Karmaker, C.L. (2016). Machine selection by AHP and TOPSIS methods. *American Journal of Industrial Engineering*, Vol. 4 (1), 7-13.
- Köse, E. (2006). Plastik enjeksiyonda proses ve kalıp kaynaklı sorunların giderilmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Majumdar, A., Sarkar, B., Majumdar, P.K. (2005). Determination of Quality value of cotton fibre using hybrid AHP-TOPSIS method of multi-criteria decision-making. *JOTI 2005* Vol. 96 (5), 303–309.
- Mathivanan, D., Noubay, M., Vidhya, R. (2010). Minimization of sink mark defects in injection molding process – taguchi approach. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 2 (2), 13-22.
- Montgomery, D.C. (2013). *Design and analysis of experiments*. (Eight edition). NJ: John Wiley&Sons, Inc.
- Özcan, T., Çelebi, N., Esnaf, Ş. (2011). Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a Warehouse location selection problem. *Expert Systems with Applications*, 38, 9773–9779.
- Özdağoğlu, A. (2013). Farklı normalizasyon yöntemlerinin TOPSIS’te karar verme sürecine etkisi. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, Cilt 13 (2), 245-257.
- Özkurt, Ö. (1999). Deney tasarımları ve istatistiksel veri analizleri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pınar, E. (2010). Plastik enjeksiyon yöntemiyle imalatta hataların tespiti ve proses şartlarının optimizasyonu uygulaması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Saaty, R.W. (1987). The analytic hierarchy process – what it is and how it is used. *Mathl Modelling*, Vol.9 (3-5), 161,176.
- Saaty, T.L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, Vol 32, 841-855.

- Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 48, 9-26.
- Saaty, T.L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24, 19-43.
- Tyagi, M., Kumar, P., Kumar, D. (2014). A hybrid approach using AHP-TOPSIS analyzing e-SCM performance. *Procedia Engineering* 97, 2195 – 2203.
- Wang, Y., Liu, J., Elhag, T.M.S. (2008). An integrated AHP-DEA methodology for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering*, 54, 513–525.
- Wang, Y., Kim, J., Song, J. (2014). Optimization of plastic injection molding process parameters for manufacturing a brake booster valve body. *Materials and Design* 56, 313-317.

EKLER

EK-1. Faktörlerin İkili Karşılaştırma Tabloları-1

Ana Kriter

Kalıp

Maliyet

İY	Kalip	Maliyet	Müşteri	Üretim	İY	Tadilat Sıklığı	Setup Süresi	Gerek Duyulan Tonaj	Kar	Kalitesizlik Maliyeti	Markup Oranı		
	Kalip	1,00	0,11	0,33		0,33	Tadilat Sıklığı	1,00		5,00	0,14	7,00	5,00
	Maliyet	9,00	1,00	3,00		3,00	Setup Süresi	0,20		1,00	0,20	1,00	0,33
	Müşteri	3,00	0,33	1,00		2,00	Gerek Duyulan Tonaj	7,00		5,00	1,00	0,20	3,00
	Üretim	3,00	0,33	0,50		1,00							1,00

KGY	Kalip	Maliyet	Müşteri	Üretim	KGY	Tadilat Sıklığı	Setup Süresi	Gerek Duyulan Tonaj	Kar	Kalitesizlik Maliyeti	Markup Oranı		
	Kalip	1,00	0,14	0,33		0,20	Tadilat Sıklığı	1,00		3,00	0,20	5,00	3,00
	Maliyet	7,00	1,00	3,00		3,00	Setup Süresi	0,33		1,00	0,14	1,00	0,33
	Müşteri	3,00	0,33	1,00		1,00	Gerek Duyulan Tonaj	5,00		7,00	1,00	3,00	1,00
	Üretim	5,00	0,33	1,00		1,00							

ÜY	Kalip	Maliyet	Müşteri	Üretim	ÜY	Tadilat Sıklığı	Setup Süresi	Gerek Duyulan Tonaj	Kar	Kalitesizlik Maliyeti	Markup Oranı		
	Kalip	1,00	0,50	3,00		0,33	Tadilat Sıklığı	1,00		3,00	0,33	7,00	3,00
	Maliyet	2,00	1,00	5,00		2,00	Setup Süresi	0,33		1,00	0,20	1,00	0,33
	Müşteri	0,33	0,20	1,00		0,14	Gerek Duyulan Tonaj	3,00		5,00	1,00	3,00	1,00
	Üretim	3,00	0,50	7,00		1,00							

SY	Kalip	Maliyet	Müşteri	Üretim	SY	Tadilat Sıklığı	Setup Süresi	Gerek Duyulan Tonaj	Kar	Kalitesizlik Maliyeti	Markup Oranı		
	Kalip	1,00	0,14	0,20		0,20	Tadilat Sıklığı	1,00		1,00	0,20	7,00	5,00
	Maliyet	7,00	1,00	5,00		3,00	Setup Süresi	1,00		1,00	0,14	1,00	0,33
	Müşteri	5,00	0,20	1,00		0,33	Gerek Duyulan Tonaj	5,00		7,00	1,00	3,00	1,00
	Üretim	5,00	0,33	3,00		1,00							

ÜrMüh	Kalip	Maliyet	Müşteri	Üretim	ÜrMüh	Tadilat Sıklığı	Setup Süresi	Gerek Duyulan Tonaj	kar	Kalitesizlik Maliyeti	Markup Oranı		
	Kalip	1,00	0,33	5,00		1,00	Tadilat Sıklığı	1,00		2,00	0,33	9,00	5,00
	Maliyet	3,00	1,00	7,00		3,00	Setup Süresi	0,50		1,00	0,20	1,00	0,33
	Müşteri	0,20	0,14	1,00		0,20	Gerek Duyulan Tonaj	3,00		5,00	1,00	3,00	1,00
	Üretim	1,00	0,33	5,00		1,00							

MTM Ltd.	Kalip	Maliyet	Müşteri	Üretim	MTM Ltd.	Tadilat Sıklığı	Setup Süresi	Gerek Duyulan Tonaj	Kar	Kalitesizlik Maliyeti	Markup Oranı		
	Kalip	1,00	0,33	0,33		0,14	Tadilat Sıklığı	1,00		1,00	0,20	7,00	7,00
	Maliyet	3,00	1,00	9,00		3,00	Setup Süresi	1,00		1,00	0,14	1,00	0,33
	Müşteri	3,00	0,11	1,00		0,14	Gerek Duyulan Tonaj	5,00		7,00	1,00	3,00	1,00
	Üretim	7,00	0,33	7,00		1,00							

GENEL	Kalip	Maliyet	Müşteri	Üretim	GENEL	Tadilat Sıklığı	Setup Süresi	Gerek Duyulan Tonaj	Kar	Kalitesizlik Maliyeti	Markup Oranı		
	Kalip	1,00	0,2239	0,6934		0,2932	Tadilat Sıklığı	1,00		2,1169	0,2242	6,9014	4,4604
	Maliyet	4,4663	1,00	4,9195		2,8040	Setup Süresi	0,4724		1,00	0,1690	1,00	0,3333
	Müşteri	1,4422	0,2033	1,00		0,3736	Gerek Duyulan Tonaj	4,4604		5,9161	1,00	3,0000	1,00
	Üretim	3,4110	0,3566	2,6763		1,00							

EK-2. Faktörlerin İkili Karşılaştırma Tabloları-2

Müşteri				Üretim			
İY	İş Hacmi	Ödeme Planı	Müşteri İmajı	İY	Üretim Adedi	Üretim Kolaylığı	Hammadde Türü
	1,00	7,00	3,00		1,00	9,00	3,00
	Ödeme Planı	0,14	1,00		Üretim Kolaylığı	0,11	1,00
	Müşteri İmajı	0,33	5,00		Hammadde Türü	0,33	3,00
			1,00				1,00
KGY	İş Hacmi	Ödeme Planı	Müşteri İmajı	KGY	Üretim Adedi	Üretim Kolaylığı	Hammadde Türü
	1,00	5,00	3,00		1,00	7,00	2,00
	Ödeme Planı	0,20	1,00		Üretim Kolaylığı	0,14	1,00
	Müşteri İmajı	0,33	3,00		Hammadde Türü	0,50	5,00
			1,00				1,00
ÜY	İş Hacmi	Ödeme Planı	Müşteri İmajı	ÜY	Üretim Adedi	Üretim Kolaylığı	Hammadde Türü
	1,00	5,00	2,00		1,00	7,00	3,00
	Ödeme Planı	0,20	1,00		Üretim Kolaylığı	0,14	1,00
	Müşteri İmajı	0,50	5,00		Hammadde Türü	0,33	0,50
			1,00				1,00
SY	İş Hacmi	Ödeme Planı	Müşteri İmajı	SY	Üretim Adedi	Üretim Kolaylığı	Hammadde Türü
	1,00	3,00	3,00		1,00	9,00	5,00
	Ödeme Planı	0,33	1,00		Üretim Kolaylığı	0,11	1,00
	Müşteri İmajı	0,33	2,00		Hammadde Türü	0,20	5,00
			1,00				1,00
Ümüh	İş Hacmi	Ödeme Planı	Müşteri İmajı	Ümüh	Üretim Adedi	Üretim Kolaylığı	Hammadde Türü
	1,00	3,00	1,00		1,00	7,00	3,00
	Ödeme Planı	0,33	1,00		Üretim Kolaylığı	0,14	1,00
	Müşteri İmajı	1,00	1,00		Hammadde Türü	0,33	5,00
			1,00				1,00
MTM Lid.	İş Hacmi	Ödeme Planı	Müşteri İmajı	MTM Lid.	Üretim Adedi	Üretim Kolaylığı	Hammadde Türü
	1,00	5,00	0,50		1,00	5,00	3,00
	Ödeme Planı	0,20	1,00		Üretim Kolaylığı	0,20	1,00
	Müşteri İmajı	2,00	3,00		Hammadde Türü	0,33	5,00
			1,00				1,00
GENEL	İş Hacmi	Ödeme Planı	Müşteri İmajı	GENEL	Üretim Adedi	Üretim Kolaylığı	Hammadde Türü
	1,00	4,4604	1,7321		1,00	7,1966	3,0531
	Ödeme Planı	0,2242	1,00		Üretim Kolaylığı	0,1390	1,00
	Müşteri İmajı	0,5774	2,7682		Hammadde Türü	0,3275	3,1284
			1,00				1,00

EK-3. ÇKKV Sonuç Tablosu-1 (Sıralamalar)

Stok	Si+	Si-	CC*	Rank	Stok	Si+	Si-	CC*	Rank	Stok	Si+	Si-	CC*	Rank
Kalip-343	0,118949	0,22278	0,651919	1	Kalip-286	0,235114	0,037414	0,137285	36	Kalip-351	0,25037	0,032148	0,113792	71
Kalip-94	0,167852	0,112041	0,400299	2	Kalip-187	0,236146	0,036476	0,133798	37	Kalip-178	0,246504	0,03157	0,113532	72
Kalip-14	0,2081	0,130072	0,384633	3	Kalip-285	0,234906	0,036107	0,132331	38	Kalip-383	0,248046	0,031583	0,112946	73
Kalip-283	0,176627	0,088825	0,334617	4	Kalip-311	0,235034	0,036096	0,13131	39	Kalip-77	0,249217	0,031662	0,112726	74
Kalip-339	0,181751	0,09029	0,331899	5	Kalip-381	0,23713	0,035734	0,130959	40	Kalip-192	0,249715	0,031714	0,11269	75
Kalip-86	0,181993	0,090305	0,33164	6	Kalip-35	0,236808	0,035644	0,130828	41	Kalip-402	0,249927	0,031713	0,112601	76
Kalip-398	0,192186	0,07831	0,289504	7	Kalip-6	0,236336	0,035366	0,130164	42	Kalip-21	0,248133	0,03142	0,112395	77
Kalip-342	0,19315	0,078388	0,288683	8	Kalip-118	0,245142	0,03665	0,130059	43	Kalip-5	0,250738	0,031745	0,112377	78
Kalip-256	0,189956	0,07409	0,280596	9	Kalip-239	0,23097	0,034505	0,129976	44	Kalip-128	0,249598	0,031567	0,112272	79
Kalip-231	0,195809	0,071456	0,267359	10	Kalip-84	0,239278	0,035298	0,128553	45	Kalip-230	0,247212	0,031243	0,112201	80
Kalip-247	0,198269	0,071378	0,264709	11	Kalip-295	0,237289	0,034828	0,12799	46	Kalip-282	0,248827	0,031447	0,112201	81
Kalip-335	0,19569	0,069586	0,262315	12	Kalip-38	0,241244	0,03425	0,124322	47	Kalip-129	0,246282	0,031106	0,112139	82
Kalip-312	0,2024	0,067149	0,249117	13	Kalip-224	0,239753	0,03363	0,123014	48	Kalip-4	0,250125	0,031533	0,111954	83
Kalip-123	0,223656	0,07266	0,245211	14	Kalip-296	0,242515	0,033904	0,122654	49	Kalip-301	0,250367	0,031533	0,111859	84
Kalip-11	0,202585	0,062693	0,23633	15	Kalip-284	0,240414	0,033606	0,122641	50	Kalip-25	0,247429	0,031099	0,111654	85
Kalip-182	0,229006	0,065356	0,222026	16	Kalip-24	0,242727	0,033796	0,122219	51	Kalip-374	0,24713	0,031054	0,111163	86
Kalip-55	0,212124	0,056148	0,209296	17	Kalip-44	0,246739	0,033746	0,120314	52	Kalip-328	0,250179	0,031433	0,111618	87
Kalip-308	0,215215	0,054513	0,202102	18	Kalip-126	0,245161	0,033405	0,119917	53	Kalip-359	0,245172	0,030795	0,111589	88
Kalip-287	0,21829	0,047704	0,179341	19	Kalip-225	0,246346	0,033529	0,119801	54	Kalip-244	0,250898	0,031449	0,111385	89
Kalip-291	0,222618	0,047201	0,174935	20	Kalip-293	0,239068	0,032456	0,119533	55	Kalip-314	0,246629	0,030893	0,111317	90
Kalip-294	0,222642	0,046656	0,17325	21	Kalip-112	0,243967	0,032966	0,119039	56	Kalip-399	0,24904	0,031145	0,111159	91
Kalip-31	0,233189	0,048538	0,172286	22	Kalip-95	0,246118	0,033212	0,118898	57	Kalip-79	0,251204	0,03137	0,111014	92
Kalip-305	0,22208	0,045224	0,169185	23	Kalip-56	0,243781	0,032549	0,117789	58	Kalip-271	0,250834	0,031306	0,110958	93
Kalip-93	0,232245	0,046477	0,166749	24	Kalip-330	0,243479	0,032425	0,117524	59	Kalip-358	0,251267	0,031354	0,110939	94
Kalip-298	0,222747	0,044362	0,166083	25	Kalip-310	0,243499	0,032415	0,117482	60	Kalip-16	0,25185	0,031353	0,110709	95
Kalip-306	0,224267	0,043678	0,163012	26	Kalip-203	0,243717	0,032431	0,11744	61	Kalip-122	0,251733	0,031316	0,110639	96
Kalip-292	0,226232	0,042294	0,157505	27	Kalip-91	0,246478	0,032761	0,117322	62	Kalip-166	0,251596	0,031293	0,11062	97
Kalip-78	0,23956	0,043196	0,152767	28	Kalip-176	0,246402	0,032662	0,11704	63	Kalip-81	0,250613	0,031096	0,110384	98
Kalip-59	0,229971	0,040561	0,149929	29	Kalip-22	0,239995	0,031592	0,116323	64	Kalip-329	0,248305	0,030803	0,110363	99
Kalip-241	0,231012	0,040561	0,149356	30	Kalip-324	0,247187	0,032437	0,116004	65	Kalip-325	0,250983	0,031134	0,110357	100
Kalip-185	0,229799	0,03946	0,146552	31	Kalip-316	0,244869	0,03192	0,115324	66	Kalip-37	0,253253	0,031411	0,110345	101
Kalip-179	0,231665	0,03905	0,144247	32	Kalip-23	0,245294	0,031705	0,114459	67	Kalip-378	0,252604	0,031267	0,110144	102
Kalip-362	0,228394	0,037089	0,139705	33	Kalip-240	0,248405	0,03198	0,114058	68	Kalip-313	0,253011	0,031305	0,110105	103
Kalip-33	0,23392	0,037678	0,138727	34	Kalip-125	0,249219	0,032027	0,113874	69	Kalip-131	0,252363	0,031219	0,11009	104
Kalip-307	0,231657	0,037163	0,138247	35	Kalip-18	0,242028	0,03108	0,1138	70	Kalip-290	0,246235	0,030454	0,110066	105

EK-4. ÇKKV Sonuç Tablosu-2 (Sıralamalar)

Stok	si+	si-	CC*	Rank	Stok	si+	si-	CC*	Rank	Stok	si+	si-	CC*	Rank
Kalip-127	0,252422	0,031209	0,110034	106	Kalip-250	0,255151	0,031369	0,109483	141	Kalip-288	0,250307	0,030712	0,109289	176
Kalip-90	0,252526	0,031216	0,110015	107	Kalip-174	0,255265	0,031378	0,109468	142	Kalip-260	0,253816	0,031142	0,109286	177
Kalip-97	0,253025	0,031276	0,110011	108	Kalip-104	0,255385	0,031388	0,109451	143	Kalip-48	0,255211	0,031312	0,109282	178
Kalip-237	0,253068	0,031254	0,109926	109	Kalip-43	0,254654	0,031298	0,109451	144	Kalip-278	0,252767	0,031012	0,109281	179
Kalip-20	0,252881	0,031214	0,109873	110	Kalip-395	0,255305	0,031375	0,109441	145	Kalip-263	0,254825	0,031264	0,109281	180
Kalip-96	0,253081	0,031231	0,109849	111	Kalip-221	0,255039	0,03134	0,109436	146	Kalip-119	0,255201	0,031303	0,10926	181
Kalip-289	0,251126	0,030989	0,109847	112	Kalip-273	0,255349	0,031376	0,109429	147	Kalip-341	0,254889	0,03126	0,109245	182
Kalip-242	0,253362	0,031261	0,109832	113	Kalip-57	0,25545	0,031388	0,109428	148	Kalip-353	0,252609	0,030979	0,10924	183
Kalip-400	0,252061	0,0311	0,109832	114	Kalip-109	0,254453	0,031265	0,109427	149	Kalip-63	0,254881	0,031255	0,109231	184
Kalip-281	0,252056	0,031095	0,109818	115	Kalip-385	0,255412	0,031381	0,109421	150	Kalip-39	0,253979	0,031144	0,109231	185
Kalip-404	0,25309	0,031215	0,109793	116	Kalip-100	0,253804	0,031183	0,10942	151	Kalip-73	0,255451	0,031323	0,109224	186
Kalip-302	0,250437	0,030885	0,109784	117	Kalip-370	0,255071	0,031338	0,109418	152	Kalip-337	0,254453	0,031199	0,109219	187
Kalip-356	0,252908	0,031181	0,109758	118	Kalip-133	0,255457	0,031385	0,109415	153	Kalip-262	0,25442	0,031193	0,109215	188
Kalip-74	0,253848	0,031291	0,109738	119	Kalip-169	0,252797	0,031055	0,109407	154	Kalip-28	0,25494	0,031256	0,109213	189
Kalip-277	0,254321	0,031348	0,109735	120	Kalip-87	0,255478	0,031385	0,109406	155	Kalip-58	0,255343	0,031305	0,109211	190
Kalip-251	0,253666	0,031258	0,109707	121	Kalip-215	0,255422	0,031378	0,109406	156	Kalip-266	0,254894	0,031249	0,109208	191
Kalip-222	0,253342	0,03121	0,10968	122	Kalip-209	0,254975	0,03132	0,109398	157	Kalip-151	0,253982	0,031136	0,109205	192
Kalip-82	0,253466	0,031218	0,109658	123	Kalip-228	0,255477	0,03138	0,109393	158	Kalip-264	0,255457	0,031317	0,109204	193
Kalip-188	0,252862	0,031139	0,109644	124	Kalip-89	0,255483	0,03138	0,109391	159	Kalip-261	0,254555	0,031206	0,109202	194
Kalip-379	0,253808	0,031255	0,109642	125	Kalip-189	0,255466	0,031376	0,109385	160	Kalip-382	0,252279	0,030925	0,109197	195
Kalip-27	0,252602	0,031101	0,109625	126	Kalip-332	0,254627	0,031273	0,109383	161	Kalip-157	0,255261	0,031289	0,109193	196
Kalip-390	0,255454	0,031441	0,10959	127	Kalip-141	0,255471	0,031376	0,109383	162	Kalip-150	0,253891	0,03112	0,109188	197
Kalip-159	0,254862	0,031367	0,109588	128	Kalip-61	0,254512	0,031258	0,109381	163	Kalip-172	0,254349	0,031176	0,109187	198
Kalip-392	0,255455	0,03144	0,109587	129	Kalip-142	0,255481	0,031377	0,109381	164	Kalip-243	0,255054	0,031261	0,109185	199
Kalip-360	0,253634	0,031214	0,109581	130	Kalip-154	0,254936	0,031308	0,109376	165	Kalip-120	0,255484	0,031313	0,109182	200
Kalip-213	0,255475	0,031441	0,109581	131	Kalip-363	0,254615	0,031269	0,109376	166	Kalip-80	0,251811	0,030863	0,109181	201
Kalip-152	0,253576	0,031206	0,109579	132	Kalip-70	0,255361	0,03136	0,109376	167	Kalip-327	0,25332	0,031046	0,109176	202
Kalip-3	0,252987	0,031128	0,10956	133	Kalip-66	0,254495	0,031248	0,109358	168	Kalip-249	0,255379	0,031297	0,109174	203
Kalip-372	0,254288	0,031285	0,10955	134	Kalip-245	0,254014	0,031188	0,109355	169	Kalip-184	0,255261	0,03128	0,109165	204
Kalip-349	0,25523	0,031398	0,109544	135	Kalip-217	0,255465	0,031354	0,109317	170	Kalip-140	0,254165	0,031145	0,109162	205
Kalip-367	0,254328	0,031287	0,109542	136	Kalip-65	0,254716	0,031259	0,109306	171	Kalip-130	0,255204	0,031272	0,109162	206
Kalip-304	0,252639	0,031078	0,109537	137	Kalip-354	0,252381	0,030972	0,109305	172	Kalip-315	0,251014	0,030758	0,109158	207
Kalip-326	0,252032	0,030993	0,109507	138	Kalip-380	0,254782	0,031265	0,109301	173	Kalip-143	0,254634	0,031199	0,109152	208
Kalip-232	0,253943	0,031223	0,10949	139	Kalip-45	0,25319	0,031068	0,109297	174	Kalip-389	0,255464	0,0313	0,109148	209
Kalip-157	0,253248	0,031137	0,109488	140	Kalip-64	0,254798	0,031263	0,109289	175	Kalip-171	0,254493	0,031179	0,109142	210

EK-5. ÇKKV Sonuç Tablosu-3 (Sıralamalar)

Stok	Si+	Si-	CC*	Rank	Stok	Si+	Si-	CC*	Rank	Stok	Si+	Si-	CC*	Rank
Kalip-265	0,253989	0,031116	0,109139	211	Kalip-92	0,255381	0,031256	0,109044	246	Kalip-340	0,254741	0,031145	0,108943	281
Kalip-371	0,255237	0,031266	0,10913	212	Kalip-99	0,254459	0,031143	0,109042	247	Kalip-103	0,255482	0,031236	0,108942	282
Kalip-309	0,252382	0,030916	0,109128	213	Kalip-320	0,255455	0,031264	0,10904	248	Kalip-2	0,255246	0,031206	0,108941	283
Kalip-72	0,255329	0,031276	0,109127	214	Kalip-195	0,255477	0,031265	0,109037	249	Kalip-238	0,255323	0,031208	0,108918	284
Kalip-164	0,255473	0,031293	0,109123	215	Kalip-132	0,255458	0,031262	0,109034	250	Kalip-183	0,254638	0,031124	0,108916	285
Kalip-208	0,255437	0,031287	0,109119	216	Kalip-106	0,255462	0,031262	0,109033	251	Kalip-52	0,255251	0,031199	0,108915	286
Kalip-67	0,255273	0,031267	0,109118	217	Kalip-194	0,255459	0,031261	0,109031	252	Kalip-155	0,255347	0,03121	0,108913	287
Kalip-393	0,254165	0,031129	0,109113	218	Kalip-105	0,255457	0,031261	0,10903	253	Kalip-168	0,255467	0,031224	0,10891	288
Kalip-114	0,253544	0,031052	0,109109	219	Kalip-205	0,255478	0,031262	0,109026	254	Kalip-42	0,25532	0,031203	0,108903	289
Kalip-68	0,255312	0,031268	0,109109	220	Kalip-153	0,255446	0,031258	0,109024	255	Kalip-207	0,255289	0,031198	0,108898	290
Kalip-34	0,253745	0,031076	0,109107	221	Kalip-396	0,255496	0,031264	0,109024	256	Kalip-19	0,251101	0,030685	0,108896	291
Kalip-110	0,255312	0,031268	0,109106	222	Kalip-331	0,253955	0,031075	0,109023	257	Kalip-338	0,254779	0,031134	0,108894	292
Kalip-318	0,255238	0,031256	0,109099	223	Kalip-138	0,2555	0,031262	0,109018	258	Kalip-62	0,255482	0,03122	0,108893	293
Kalip-144	0,248329	0,03041	0,109098	224	Kalip-83	0,255493	0,031262	0,109018	259	Kalip-163	0,255239	0,031189	0,10889	294
Kalip-403	0,2545	0,031165	0,109098	225	Kalip-137	0,2555	0,031262	0,109018	260	Kalip-156	0,255486	0,031219	0,10889	295
Kalip-85	0,255324	0,031266	0,109097	226	Kalip-136	0,2555	0,031262	0,109018	261	Kalip-15	0,254937	0,031151	0,108887	296
Kalip-364	0,255188	0,031249	0,109095	227	Kalip-88	0,252865	0,03094	0,109018	262	Kalip-75	0,254627	0,031108	0,108871	297
Kalip-236	0,25527	0,031258	0,109092	228	Kalip-196	0,255471	0,031255	0,109007	263	Kalip-146	0,255476	0,031212	0,108871	298
Kalip-69	0,2551	0,031237	0,109092	229	Kalip-204	0,255443	0,031251	0,109004	264	Kalip-76	0,255339	0,031194	0,108868	299
Kalip-369	0,255311	0,031263	0,109092	230	Kalip-226	0,255231	0,031223	0,108998	265	Kalip-219	0,254589	0,031102	0,108866	300
Kalip-223	0,255163	0,031244	0,109088	231	Kalip-321	0,25457	0,031248	0,108989	266	Kalip-107	0,255495	0,031213	0,108866	301
Kalip-346	0,255291	0,031259	0,109087	232	Kalip-405	0,255472	0,031249	0,108986	267	Kalip-234	0,255397	0,0312	0,108864	302
Kalip-29	0,253941	0,031094	0,109087	233	Kalip-350	0,255394	0,031239	0,108985	268	Kalip-300	0,255283	0,031185	0,108861	303
Kalip-210	0,254117	0,031114	0,109085	234	Kalip-347	0,255378	0,031236	0,108983	269	Kalip-101	0,255492	0,03121	0,108858	304
Kalip-32	0,255414	0,031272	0,109083	235	Kalip-255	0,255324	0,031228	0,108979	270	Kalip-280	0,255413	0,0312	0,108858	305
Kalip-8	0,25143	0,030785	0,109083	236	Kalip-259	0,255416	0,031238	0,108973	271	Kalip-161	0,255212	0,031175	0,108856	306
Kalip-376	0,255371	0,031266	0,109078	237	Kalip-248	0,254954	0,03118	0,108971	272	Kalip-134	0,255467	0,031206	0,108855	307
Kalip-365	0,255382	0,031265	0,109071	238	Kalip-175	0,25511	0,031199	0,108968	273	Kalip-117	0,255445	0,031203	0,108854	308
Kalip-212	0,255297	0,031254	0,109069	239	Kalip-303	0,25255	0,030885	0,108967	274	Kalip-148	0,255209	0,031173	0,10885	309
Kalip-397	0,255448	0,03127	0,109062	240	Kalip-394	0,254859	0,031167	0,108965	275	Kalip-348	0,255449	0,031201	0,108847	310
Kalip-121	0,255115	0,031229	0,10906	241	Kalip-1	0,255213	0,03121	0,108965	276	Kalip-180	0,255235	0,031174	0,108845	311
Kalip-211	0,254907	0,031202	0,109056	242	Kalip-149	0,254693	0,031144	0,108959	277	Kalip-345	0,255185	0,031167	0,108842	312
Kalip-54	0,255279	0,031245	0,109047	243	Kalip-60	0,255506	0,031242	0,108953	278	Kalip-116	0,255425	0,031196	0,108841	313
Kalip-51	0,255498	0,031271	0,109046	244	Kalip-102	0,255189	0,031201	0,108946	279	Kalip-162	0,255387	0,03119	0,108837	314
Kalip-115	0,254993	0,031209	0,109046	245	Kalip-229	0,255428	0,03123	0,108945	280	Kalip-274	0,251295	0,03069	0,108835	315

EK-6. ÇKKV Sonuç Tablosu-4 (Sıralamalar)

Stok	Si+	Si-	CC*	Rank	Stok	Si+	Si-	CC*	Rank	Stok	Si+	Si-	CC*	Rank
Kalip-198	0,255487	0,0312	0,108829	316	Kalip-113	0,255497	0,031131	0,108611	351	Kalip-71	0,254598	0,030889	0,108198	386
Kalip-386	0,255474	0,031193	0,108813	317	Kalip-257	0,255346	0,03111	0,108602	352	Kalip-108	0,253262	0,030722	0,108181	387
Kalip-124	0,255506	0,031197	0,108813	318	Kalip-206	0,255443	0,031118	0,108591	353	Kalip-299	0,254778	0,030901	0,108167	388
Kalip-319	0,254775	0,031107	0,10881	319	Kalip-233	0,25524	0,031093	0,108589	354	Kalip-355	0,252507	0,030601	0,108091	389
Kalip-333	0,254979	0,03113	0,108805	320	Kalip-401	0,252962	0,030815	0,108589	355	Kalip-214	0,255358	0,030936	0,108058	390
Kalip-387	0,255286	0,031166	0,108801	321	Kalip-167	0,253849	0,030919	0,108577	356	Kalip-361	0,250419	0,030241	0,107751	391
Kalip-201	0,255482	0,031188	0,108794	322	Kalip-235	0,255382	0,031106	0,108576	357	Kalip-267	0,254243	0,030681	0,107681	392
Kalip-36	0,25423	0,031035	0,108793	323	Kalip-173	0,253554	0,030882	0,108574	358	Kalip-253	0,254625	0,030726	0,107678	393
Kalip-170	0,255167	0,031145	0,108781	324	Kalip-268	0,255472	0,031112	0,108561	359	Kalip-147	0,252068	0,030393	0,107601	394
Kalip-258	0,254683	0,031086	0,10878	325	Kalip-272	0,255475	0,031108	0,108547	360	Kalip-375	0,254394	0,030669	0,107585	395
Kalip-46	0,255078	0,031134	0,10878	326	Kalip-50	0,254883	0,031035	0,108545	361	Kalip-336	0,253737	0,030555	0,107476	396
Kalip-323	0,255073	0,031133	0,10878	327	Kalip-13	0,254635	0,031004	0,108543	362	Kalip-269	0,246986	0,029597	0,107011	397
Kalip-139	0,255104	0,031136	0,108775	328	Kalip-40	0,255359	0,031092	0,108541	363	Kalip-270	0,254702	0,030475	0,106862	398
Kalip-53	0,255351	0,031166	0,108774	329	Kalip-297	0,25483	0,031017	0,10851	364	Kalip-220	0,251065	0,029822	0,106171	399
Kalip-145	0,255133	0,031138	0,108772	330	Kalip-158	0,255207	0,031063	0,108509	365	Kalip-368	0,251612	0,029822	0,105963	400
Kalip-193	0,254539	0,031064	0,108767	331	Kalip-111	0,254596	0,030989	0,108509	366	Kalip-373	0,251556	0,029811	0,105949	401
Kalip-202	0,255322	0,031158	0,108761	332	Kalip-384	0,25523	0,031061	0,108493	367	Kalip-160	0,25319	0,030004	0,105947	402
Kalip-186	0,25549	0,031172	0,108742	333	Kalip-279	0,253032	0,030792	0,10849	368	Kalip-191	0,253776	0,030058	0,105899	403
Kalip-216	0,255404	0,031158	0,108732	334	Kalip-388	0,255427	0,031074	0,108461	369	Kalip-377	0,254316	0,030105	0,105845	404
Kalip-344	0,255097	0,031121	0,108732	335	Kalip-357	0,254794	0,030996	0,108458	370	Kalip-12	0,252997	0,029904	0,105704	405
Kalip-200	0,254973	0,031098	0,108708	336	Kalip-227	0,255271	0,031045	0,108428	371					
Kalip-177	0,255483	0,031116	0,108706	337	Kalip-30	0,255387	0,031056	0,108419	372					
Kalip-246	0,255415	0,031151	0,108704	338	Kalip-218	0,251898	0,030631	0,108418	373					
Kalip-252	0,254114	0,03099	0,108696	339	Kalip-334	0,255176	0,031029	0,108414	374					
Kalip-276	0,255304	0,031132	0,108686	340	Kalip-352	0,254804	0,030978	0,108397	375					
Kalip-366	0,255207	0,031117	0,108676	341	Kalip-9	0,25541	0,031048	0,108387	376					
Kalip-254	0,255277	0,031122	0,108667	342	Kalip-391	0,253759	0,030847	0,108386	377					
Kalip-181	0,255257	0,031119	0,108666	343	Kalip-98	0,254774	0,030965	0,108368	378					
Kalip-47	0,255327	0,031127	0,108663	344	Kalip-41	0,25511	0,031003	0,108358	379					
Kalip-275	0,255262	0,031118	0,108659	345	Kalip-26	0,253566	0,0308	0,108313	380					
Kalip-135	0,255512	0,031137	0,108625	346	Kalip-190	0,255119	0,030985	0,108298	381					
Kalip-322	0,255441	0,031129	0,108625	347	Kalip-17	0,254806	0,030946	0,108297	382					
Kalip-10	0,2544	0,031	0,10862	348	Kalip-317	0,252914	0,030704	0,108259	383					
Kalip-165	0,254283	0,030986	0,108619	349	Kalip-199	0,255269	0,030982	0,108233	384					
Kalip-49	0,255476	0,031131	0,108618	350	Kalip-7	0,249159	0,030232	0,108208	385					

EK-7. Mevcut Durum I-MR Grafik Ölçümleri (saniye)

1.Vardiya	2.Vardiya	3.Vardiya
40,1	40,2	40,5
40,5	40	40,8
40,8	40,5	41
45,7	41,7	45,8
40,2	41,8	41,7
40,1	40,4	40,5
40,5	41,2	40,2
41,8	41,7	40,4
40,9	46	42,1
40,6	40,5	42,2
40,9	41,1	41,9
40,3	40,2	42,8
44,6	40,5	45,2
41,5	40,9	40,7
41,3	41,8	40,9

EK-8. Kalıp ve Makine Verileri için Hipotez Testi Verileri

Makine	Kalıp	Çevrim	Makine	Kalıp	Çevrim	Makine	Kalıp	Çevrim	Makine	Kalıp	Çevrim
1	1	40,7	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,5
1	1	40,4	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,5
1	1	40,6	1	2	40,5	1	2	40,5	2	2	40,7
1	1	40,7	1	2	40,4	1	2	40,4	2	2	40,4
1	1	40,6	1	2	40,7	1	2	40,7	2	2	40,4
1	1	40,4	1	2	40,5	1	2	40,5	2	2	40,8
1	1	40,3	1	2	40,7	1	2	40,7	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,3
1	1	40,5	1	2	40,5	1	2	40,5	2	2	40,4
1	1	40,6	1	2	40,4	1	2	40,4	2	2	40,3
1	1	40,4	1	2	40,6	1	2	40,6	2	2	40,8
1	1	40,4	1	2	40,7	1	2	40,7	2	2	40,5
1	1	40,5	1	2	40,4	1	2	40,4	2	2	40,6
1	1	40,4	1	2	40,5	1	2	40,5	2	2	40,3
1	1	40,5	1	2	40,6	1	2	40,6	2	2	40,4
1	1	40,6	1	2	40,4	1	2	40,4	2	2	40,4
1	1	40,5	1	2	40,4	1	2	40,4	2	2	40,4
1	1	40,6	1	2	40,5	1	2	40,5	2	2	40,6
1	1	40,7	1	2	40,4	1	2	40,4	2	2	40,7
1	1	40,4	1	2	40,4	1	2	40,4	2	2	40,6
1	1	40,4	1	2	40,4	1	2	40,4	2	2	40,7
1	1	40,4	1	2	40,7	1	2	40,7	2	2	40,5
1	1	40,6	1	2	40,4	1	2	40,4	2	2	40,4
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1	2	40,3	1	2	40,3	2	2	40,2
1	1	40,5	1								

EK-9. İlk Durum ANOVA Tablosu

Factorial Regression: Çevrim versus Soğuma Süresi; ... alıp Açma Süresi

The following terms are totally confounded with other terms and were removed:

Sıcaklık*Kalıp Kapama Süresi; Sıcaklık*Kalıp Açma Süresi; Kalıp Kapama Süresi*Kalıp Açma Süresi

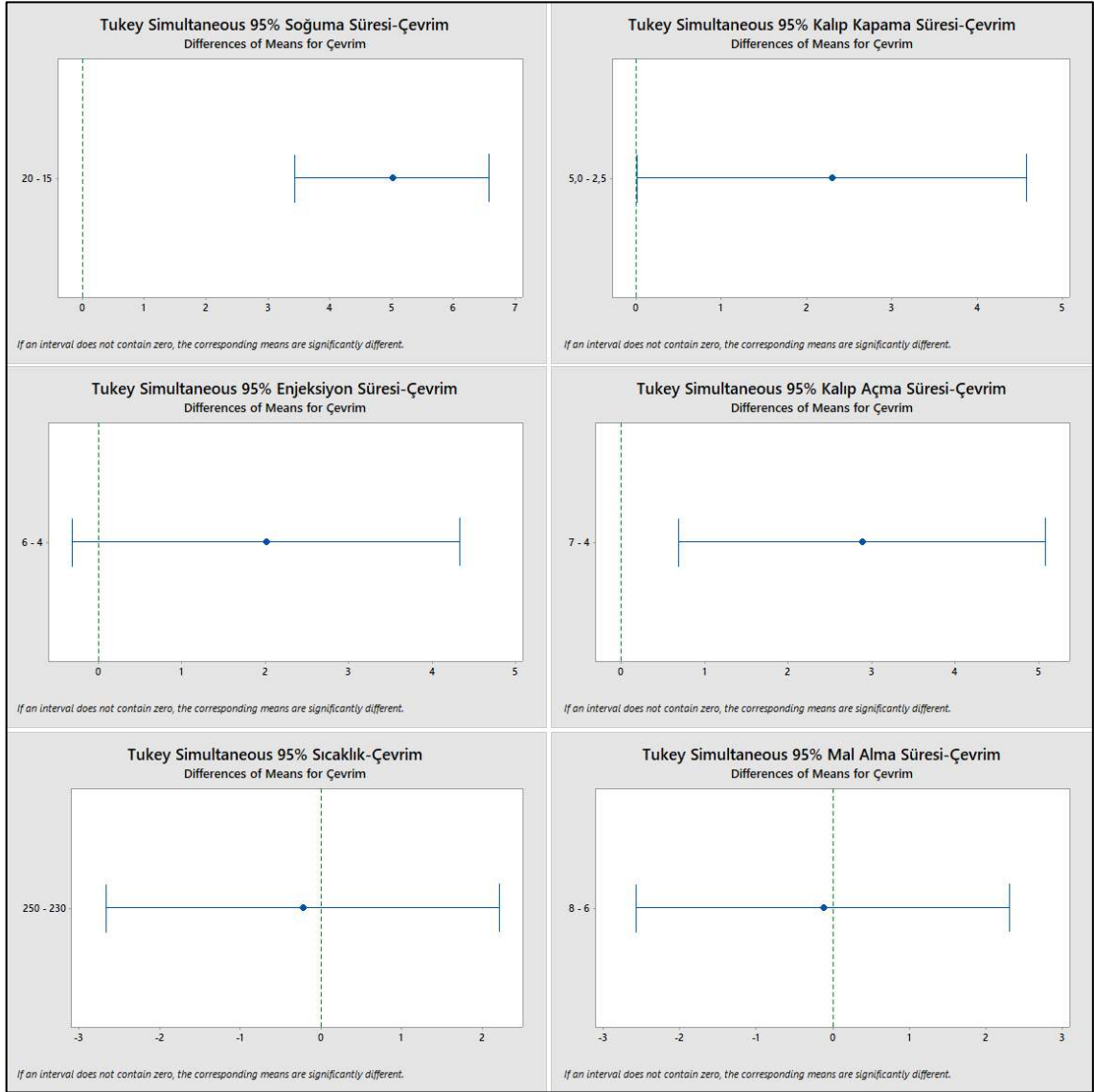
Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	25	342,780	99,89%	342,780	13,711	215,18	0,000
Linear	7	341,762	99,59%	341,762	48,823	766,22	0,000
Soğuma Süresi	1	200,450	58,41%	200,450	200,450	3145,81	0,000
Enjeksiyon Süresi	1	32,261	9,40%	32,261	32,261	506,29	0,000
Mal Alma Süresi	1	0,144	0,04%	0,144	0,144	2,27	0,183
Enjeksiyon Hızı	1	0,064	0,02%	0,064	0,064	1,00	0,355
Sıcaklık	1	0,403	0,12%	0,403	0,403	6,32	0,046
Kalıp Kapama Süresi	1	42,113	12,27%	42,113	42,113	660,91	0,000
Kalıp Açma Süresi	1	66,326	19,33%	66,326	66,326	1040,91	0,000
2-Way Interactions	18	1,018	0,30%	1,018	0,057	0,89	0,614
Soğuma Süresi*Enjeksiyon Süresi	1	0,001	0,00%	0,001	0,001	0,01	0,930
Soğuma Süresi*Mal Alma Süresi	1	0,012	0,00%	0,012	0,012	0,18	0,684
Soğuma Süresi*Enjeksiyon Hızı	1	0,002	0,00%	0,002	0,002	0,03	0,877
Soğuma Süresi*Sıcaklık	1	0,001	0,00%	0,001	0,001	0,01	0,909
Soğuma Süresi*Kalıp Kapama Süresi	1	0,043	0,01%	0,043	0,043	0,67	0,444
Soğuma Süresi*Kalıp Açma Süresi	1	0,064	0,02%	0,064	0,064	1,00	0,355
Enjeksiyon Süresi*Mal Alma Süresi	1	0,059	0,02%	0,059	0,059	0,92	0,374
Enjeksiyon Süresi*Enjeksiyon Hızı	1	0,073	0,02%	0,073	0,073	1,15	0,325
Enjeksiyon Süresi*Sıcaklık	1	0,011	0,00%	0,011	0,011	0,17	0,694
Enjeksiyon Süresi*Kalıp Kapama Süresi	1	0,003	0,00%	0,003	0,003	0,04	0,846
Enjeksiyon Süresi*Kalıp Açma Süresi	1	0,114	0,03%	0,114	0,114	1,79	0,230
Mal Alma Süresi*Enjeksiyon Hızı	1	0,000	0,00%	0,000	0,000	0,00	0,995
Mal Alma Süresi*Sıcaklık	1	0,059	0,02%	0,059	0,059	0,92	0,374
Mal Alma Süresi*Kalıp Kapama Süresi	1	0,025	0,01%	0,025	0,025	0,39	0,556
Mal Alma Süresi*Kalıp Açma Süresi	1	0,498	0,14%	0,498	0,498	7,81	0,031
Enjeksiyon Hızı*Sıcaklık	1	0,016	0,00%	0,016	0,016	0,25	0,637
Enjeksiyon Hızı*Kalıp Kapama Süresi	1	0,032	0,01%	0,032	0,032	0,50	0,506
Enjeksiyon Hızı*Kalıp Açma Süresi	1	0,009	0,00%	0,009	0,009	0,14	0,723
Error	6	0,382	0,11%	0,382	0,064		
Total	31	343,162	100,00%				

EK-10. İlk Durum ANOVA Tablosu (devam)

Alias Structure (up to order 3)	
Factor	Name
A	Soğuma Süresi
B	Enjeksiyon Süresi
C	Mal Alma Süresi
D	Enjeksiyon Hızı
E	Sıcaklık
F	Kalıp Kapama Süresi
G	Kalıp Açma Süresi
Aliases	
I	
A	
B	
C + EFG	
D	
E + CFG	
F + CEG	
G + CEF	
AB + CDF + DEG	
AC + BDF	
AD + BCF + BEG	
AE + BDG	
AF + BCD	
AG + BDE	
BC + ADF	
BD + ACF + AEG	
BE + ADG	
BF + ACD	
BG + ADE	
CD + ABF	
CE + FG	
CF + EG + ABD	
CG + EF	
DE + ABG	
DF + ABC	
DG + ABE	

EK-11. Etkin Faktörler için Yapılan Tukey Testi Sonuçları



EK-12. İyileştirme Sonrası I-MR Grafik Ölçümleri (saniye)

1.Vardiya	2.Vardiya	3.Vardiya
36,2	35,5	36,1
36,4	35,5	35,4
35,4	35,7	35,6
35,9	35,5	35,8
36	36,2	35,7
36,5	36,3	35
35,4	36	36,4
36,3	35,9	36,4
36,5	35,2	35,1
35,6	36,1	36,5
35,2	35,2	35,7
35,9	36,4	35,5
36,1	35,2	35,4
36,4	36,3	35,6
36,2	36,4	35