

BİR ÜRETİM İŞLETMESİNİN VERİLERİ KULLANILARAK ÇARPIMSAL DENEY TASARIMI İLE TAGUCHİ YAKLAŞIMININ KARŞILAŞTIRILMASI

Başak GEVER*, Büşra Nur GÜNEŞ, Derya GÜLEL,
Elif Büşra ATASEVEN, Ömer SAATCIOĞLU, Zeynep Sıdıka BEBEK

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
bgever@etu.edu.tr, busragunes3@gmail.com, deryagulel@hotmail.com, ebusraataseven@gmail.com,
saatcioglu@etu.edu.tr, zsbebek@etu.edu.tr

Geliş Tarihi:11.12.2013; Kabul Ediliş Tarihi: 17.10.2014

ÖZ

Bu çalışmada, bir kuruluşun ürün tasarımında kullanılan deney tasarımı yöntemlerinden 2^k çarpımsal deney ile Taguchi yaklaşımı uygulamasının kıyaslamaları yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda sistem performansı maksimum iken, %99 güven düzeyinde belirtilen etmenlerden hepsi birinci seviyede olduğunda, maliyetin minimum olduğu gözlemlenmiştir. Sistemde yapılması planlanan değişikliklerin istenen performans kısıtı altında mevcut sistemin maliyetini düşürmediği, kullanılan sistemin maliyetinin daha makul olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 2^k çarpımsal deneyi, Taguchi yaklaşımı, deney tasarımı

THE COMPARISON OF THE FACTORIAL DESIGN EXPERIMENT AND TAGUCHI APPROACH USING THE DATA OF A PRODUCTION COMPANY

ABSTRACT

In this study, 2^k fractional factorial design experiment and Taguchi approach which are used in product design of a company are compared. According to conclusion of these methods as the system performance is at maximum, it is observed that the cost of the company is at minimum with the %99 confidence interval when all the factors are at the first level. The expected changes from the production system under the performance restrictions, it is concluded that cost of current system hasn't been decreased and the system in use is more reasonable.

Keywords: 2^k fractional factorial design, Taguchi approach, design of experiment.

* İletişim yazarı

1. GİRİŞ

Üretim sistemi, ürünler veya hizmetler üretmek amacıyla fiziksel elemanların bir araya getirilerek uyumlu bir şekilde çalışmasıdır. İnsan, makine, malzeme, para, miktar, maliyet ve diğer sistem bileşenlerini en etkin biçimde bir araya getirerek, içinde bulunulan ortam ve kaynaklarla sistemin faydalı ömrü içerisinde, girdi adı verilen belirli üretim etmenlerinin, çıktı adı verilen tüketim etmenlerine dönüştürülerek ürün ve hizmetlerin ortaya konulduğu bir süreç olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlar doğrultusunda üretim sistemleri: “İşletmelerin belirlenen amaçlarına ulaşabilmeleri için, sistem içinden veya dışından sağlanan girdilerin en uygun bileşeni bulunarak fiziksel bir çıktıya dönüştürülmesi sürecidir.” şeklinde öz bir yargıya ulaşılabilir (Taguchi vd.,1989).

Literatürde, 2^k çarpımsal deneylerle ve Taguchi deney tasarımı ile ilgili mühendislik, eğitim, biyoloji, mikrobiyoloji gibi alanlarda birçok uygulamalı çalışmalara rastlamak mümkündür. Taguchi yaklaşımı ile ilgili son yıllarda yapılan uygulamalar arasında, eğitim kalitesinin iyileştirilmesi (Olgun vd., 2013), CNC takım tezgahlarının denetimi (Pınar vd., 2010), tornada yüzey pürüzsüzlüğünü ifade eden kesme parametrelerinin optimizasyonu (Nalbant vd., 2007) ve parmak freze operasyonunun optimizasyonu (Zhang vd., 2007) gibi çalışmalar sayılabilir. 2^k çarpımsal deney tasarımı kullanılarak yapılan uygulamalara ise Fattah – Abdel vd. (2007), Illias vd. (2003), Ghani vd. (2004) çalışmaları örnek verilebilir.

Literatürde yapılan çalışmalar ve yukarıda verilen tanımlar doğrultusunda yaklaşılan bu projede, yerel bir firmada performansın artırılması amacıyla yapılması istenen değişikliklerin maliyete nasıl yansıdığı araştırılmıştır. Bu bağlamda, insan, makine ve kuyruk kuralları etmenleri düşünülmüş ve etkileri analiz edilmiştir. Firma tarafından sağlanan maliyet verileri ve sistem araştırması sonrasında kurulan benzetim modelinin çıktı analizleri ile elde edilen veriler yardımıyla, literatürde yer alan 2^k çarpımsal deney tasarımı ile Taguchi yaklaşımı gibi deney tasarımı yöntemleri (Montgomery, 2001; Montgomery, 2007; Peace, 1996; Taguchi, 1987) kullanılarak sistemin maliyetini en küçükleme amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, literatürde yer alan iki farklı yöntem kullanılarak yerel bir endüstri firmasından alınan verilerle maliyet analizi yapılmıştır. Daha sonra, uygulanan her bir yöntemden elde edilen sonuçlar, birbirleri ile kıyaslanarak en iyi çözüm yöntemi sunulmuştur.

1.1 Problem Tanımı

İncelenen sistem, rastgele bozulmaya maruz kalan 10 adet makineyi barındıran bir fabrikadır. Makineler tamire “İlk giren, ilk çıkar (FIFO: first in first out)” kuralına göre girmektedirler. İşçiler makineyi tamir edene kadar üzerinde çalışmaktadırlar. Bozulan her makine sistemde saatte 50\$’lık bir kayba neden olmaktadır. İşçiler ise farikada buldukları süre boyunca, çalışıp çalışmadıklarına bakılmaksızın, saatlik ücret olarak 10\$ almaktadırlar. Amaç, ortalama toplam zamanı ve maliyetleri tatminkâr bir seviyede azaltacak senaryolar üzerinden deney tasarımı yöntemiyle önemli etmenlerin seviyelerini belirlemektir.

Firma, işçilerin deneyimi artırıldığında, sistemdeki standart makineler lüks makine olarak değiştirildiğinde ve bazı makinelere tamir önceliği atandığında maliyetteki etkilerini merak etmektedir. Lüks makinelerin sisteme alınması önceliğinde ve deneyimli işçiler çalıştırıldığında ödenecek olan bedel bilgisi firmadan alınmıştır. Bu bilgiler ışığında, çalışmada yapılan yeniliklerin maliyete olan etkisi, 2^k çarpımsal deney tasarımı ve Taguchi yaklaşımı kullanılarak yapılan deney tasarımı yöntemleriyle incelenecektir. Bu yöntemlerin sonucunda ise çalışma sisteminin performansı maksimum iken, etmenlerin hangi seviyelerinin maliyeti en küçükledeği elde edilecektir.

2. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Ele alınan problemde önemli etmenler şu şekilde belirlenmiştir: A – işçi sayısı, B – makine tipi, C – işçi tipi, D – kuyruk kuralları. Her bir etmenin iki seviyesi bulunmaktadır. İşçi sayısının artırılması, standart makinelerin yanı sıra lüks makinelerin kullanılması planlanmaktadır. Ek olarak, makinelerin tamire giriş kuralları ile işçilerin deneyimli olup olmadıkları da bu seviyeleri belirlemektedir.

Bu problem için iki tane analiz yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan biri 2^k çarpımsal deney tasarımı, diğeri ise

Taguchi deney tasarımıdır (Montgomery, 2001; Taguchi, 1987). Analize ilk olarak 2^k çarpımsal deney tasarımı ile başlanmıştır.

2.1 2^k Çarpımsal Deney Tasarımı

Bu başlık altında 2^k çarpımsal deney tasarımı, tam-faktöriyel ve kısmi-faktöriyel olarak ayrı ayrı incelenecektir. 2^k çarpımsal deney tasarımı yapmak için “Design Ease” programı kullanılmıştır.

Veri seti Şekil 1’de verildiği gibidir. Bu veriler kullanılarak Design Ease programında tam-faktöriyel ve kısmi-faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır.

2.1.1 Tam-Faktöriyel Çarpımsal Deney Tasarımı

Design Ease programında, Şekil 1’de verilen veriler kullanılarak analiz yapılmıştır. Veri analizleri, deney tasarımı sonucu ve yorumları aşağıda verildiği gibidir.

Tablo 1, Design Ease programına girilen değerlerin en yüksek ve en düşük değerleri ile sonuç değişkeni olan ortalama toplam maliyetin 10 tekrar ve 160 gözlem sonucu elde edilen en düşük, en yüksek ve ortalama değerlerini göstermektedir. Modelin dört adet ana etmeni olduğunu ve 2^4 tam-faktöriyel olarak tasarlandığını göstermektedir.

	A	B	C	D	Replikasyonlar									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	224,37	383,84	155,79	362,29	295,35	331,96	363,49	267,53	289,22	311,41
2	1	2	1	1	373,58	61,15	297,95	583,85	535,93	567,32	638,9	483,98	500,97	569,91
3	2	1	1	1	398,79	720,78	261,58	684,98	541,07	664,27	728,79	535,01	585,23	622,81
4	2	2	1	1	647,28	1136,4	495,9	1073,4	971,44	1107,8	1261,9	955,27	989,83	1128,1
5	1	1	2	1	287,19	506,96	206,86	475,63	405,03	479,27	534,71	393,24	419,31	461,25
6	1	2	2	1	483,42	830,11	386,19	800,19	731,71	830,82	945,98	716,45	742,01	846,07
7	2	1	2	1	255,25	715,23	331,25	1786,6	1198,3	958,86	1071,1	786,48	844,42	922,5
8	2	2	2	1	511,01	593,59	1321,5	3112,4	2238,2	1161,7	1892,8	1432,9	1485,8	1692,2
9	1	1	2	2	920,96	1192,6	874,51	1005	745,92	1040,6	1120,3	1383,7	741,25	944,45
10	1	2	2	2	1708,3	2166,6	1631,8	1844	1397,7	1926,3	2062,3	2326	1385,3	1730,8
11	2	1	2	2	1792,1	2335,2	1699,1	1960,3	1442,7	2031,4	2190,5	2717,5	1433,4	1839,2
12	2	2	2	2	3317,2	4233,5	3163,7	3589	2699	3753,3	4024,7	4552,1	2674,2	3362,6
13	1	1	1	2	634,75	602,22	512,02	812,17	688,04	710,57	764,45	952,74	512,71	657,27
14	1	2	1	2	1177,2	1478,2	1125,4	1264,4	968,2	1317,9	1409,6	1597,4	957,81	1198,1
15	2	1	1	2	1219,7	1574,4	1154,6	1326,3	986,93	1371,3	1478,9	1855,6	976,35	1265,2
16	2	2	1	2	2255,2	2856,6	2150,9	2429,7	1839,9	2536,4	2719,3	3094,9	1819,3	2297,2

Şekil 1. Kullanılan Veri Seti

Tablo 1. Tasarım Özeti Tablosu

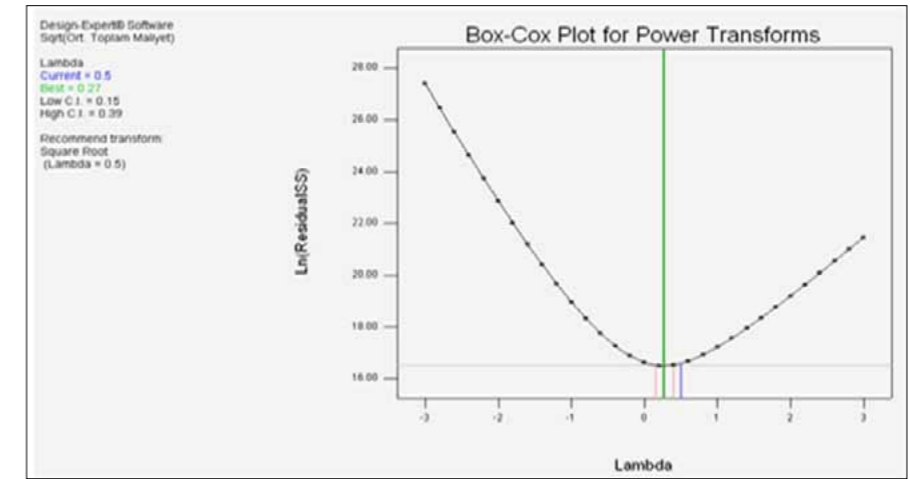
Design Summary											
File Version	8.0.7.1	Runs	160								
Study Type	Factorial	Blocks	No Blocks								
Design Type	2 Level Factorial	Build Time	54.13								
Center Point	0										
Design Mode	4FI										
Factor	Name	Units	Type	Subtype	Minimum	Maximum	Coded	Values	Mean	Std. Dev.	
A	İşçi Sayısı		Numeric	Continuous	-1.00	1.00	-1.000=-1.00	1.000=1.00	0.00	1	
B	Makine Tipi		Numeric	Continuous	-1.00	1.00	-1.000=-1.00	1.000=1.00	0.00	1	
C	İşçi Tipi		Numeric	Continuous	-1.00	1.00	-1.000=-1.00	1.000=1.00	0.00	1	
D	Kuyruk Kuralları		Numeric	Continuous	-1.00	1.00	-1.000=-1.00	1.000=1.00	0.00	1	
Response	Name	Units	Obs	Analysis	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Ratio	Trans	Model
Y1	Ort. Toplam Ma		160	Factorial	61.15	4233.48	1176.97	875.8	69.2311	None	RMain effects

Deney tasarımı yapılırken ilk olarak deneyin normal dağılım varsayımına uyup uymadığı kontrol edilir (Montgomery, 2001). Bu sebeple, öncelikle Box-Cox grafiğinde mevcut λ değerinin alt ve üst kontrol limitlerinin arasına düşmesi ve en iyi λ değerine yakınsaması beklenmektedir (Şekil 2).

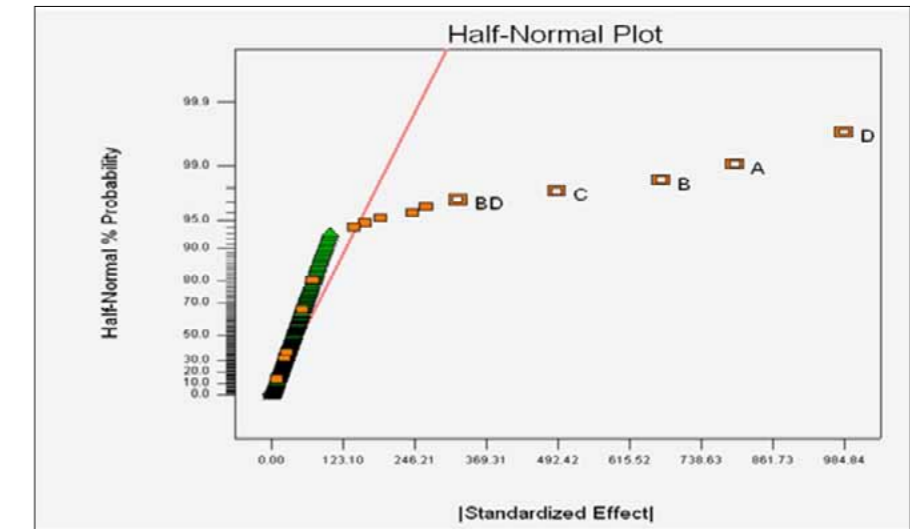
Deneyde gözlemler sonucu elde edilen sonuç değerlerinin maksimum değerle minimum değere oranı 10 kattan daha fazla ise dönüşüm gereklidir. Modelin çıktı değerlerinin en düşüğü 61,15; en yükseği 4233,48’dir. Aralarındaki oran 69,23’tür. Bu sebeple Design Ease programı tarafından önerilen “karekök dönüşümü (square root transformation)” uygulanarak geçerli λ değerine yaklaşılmaya çalışılmaktadır.

Yarı-Normal (Half-Normal) grafiği, modeli etkileyen ana unsurları bulmak için kullanılan bir grafikdir (Montgomery, 2001). Bu grafik, seçilen etmen ve etkileşimlere göre, grafiği oluşturan düz çizginin hareketini göstermektedir. Deneyin tekrarlaması sayısı yüksek olduğundan model ayrıntılı şekilde incelenebilmiştir. Şekil 3’te görüldüğü üzere, 160 tekrar sonucu Yarı-Normal grafiğinde D, A, B, C ve BD etmenlerinin normallik düz çizgisinden büyük oranda sapma yaptıkları görülmüştür. Bu durum, D, A, B, C ve BD etmenlerinin model için

araroot tranformation)” uygulanarak geçerli λ değerine yaklaşılmaya çalışılmaktadır.



Şekil 2. Verilerin Dağılım Grafiği



Şekil 3. Yarı-Normal Grafiği

yüksek ihtimale anlamlı olduklarını göstermektedir. Düz çizginin etrafına düşen noktalar, modelde normal dağılım özelliği gösteren etmen ve etkileşimler olabilir. Bu durumun daha iyi incelenebilmesi için diğer analiz tablolarına bakılmalıdır. Veriler kullanarak program üzerinden Varyans Analizi tablosuna ulaşılmıştır. ANOVA tablosu Tablo 2’de verildiği gibidir. Ortalama toplam maliyeti ifade eden sonuç değişkeninin hata analizi %95 güven aralığında yapılmıştır. Buradan elde edilen F değeri, kritik-F değerinden fazla ise incelenen etmen deney için önemlidir. ANOVA tablosunda model için F değeri 113,48 olarak bulunmuştur. Bu değer, %5

risk seviyesinde belirlenen kritik-F değerinden fazladır. Yani %95 güvenle, ortalama toplam maliyet, model için seçilmiş olan etkilerden etkilenmektedir. Ayrıca ANOVA tablosu, seçilmiş olan A, B, C, D ve BD etmen ve etkileşimlerinin önemli olduğunu da doğrulamaktadır. (Etkilerin p değerleri 0,05’ ten küçüktür.)

Şekil 4’ te verilen grafiklerde sabit varyans varsayımının geçerliliğine bakılmaktadır. Tabloda noktaların çizgi etrafında artan ya da azalan bir eğilim göstermediği görülmektedir. Bu durum, sabit varyans varsayımının geçerli olduğunu göstermektedir. Karekök dönüşümü uygulandıktan sonra elde edilen “Artıklar-Tahminler

(Residuals vs. Predicted)” grafiğinde yine %95 güven ile belirlenmiş olan alt ve üst sınırların dışında kalan bir nokta bulunmaktadır. Bu durum, dönüşüm sonrasında modeli etkileyen bir hata olabileceğini göstermektedir.

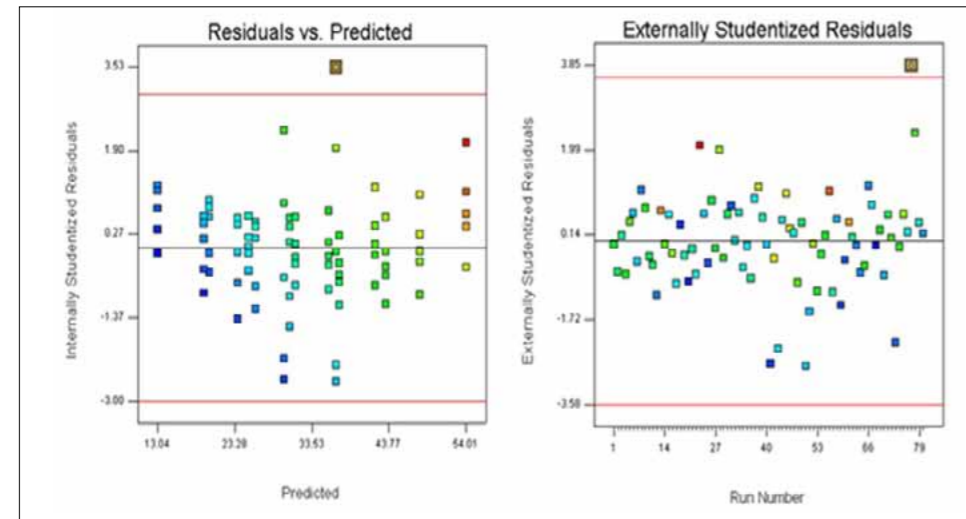
“Artıkların Normallik Grafiği” (Normal Plot of Residuals) modeldeki artıkların dağılımını gösterir. Modelin iyi ve öngörü amaçlı kullanılabilir olduğunu görmek için kullanılır (Montgomery, 2001). Artıklar, gerçek değerler ile tahmin edilenler arasındaki farktan yararlanılarak oluşturulur. Eğer hatalar normal dağılmışlarsa, bu noktalar yaklaşık olarak bir doğru üzerine

düşer. Şekil 5’ te verilmiş olan “Artıkların Normallik Grafiği”nde hataların yaklaşık olarak bir “S” yapısı oluşturduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda, modelde artıklar yüksek ihtimale normal dağılım göstermekte olup, model için anlamlı değildir.

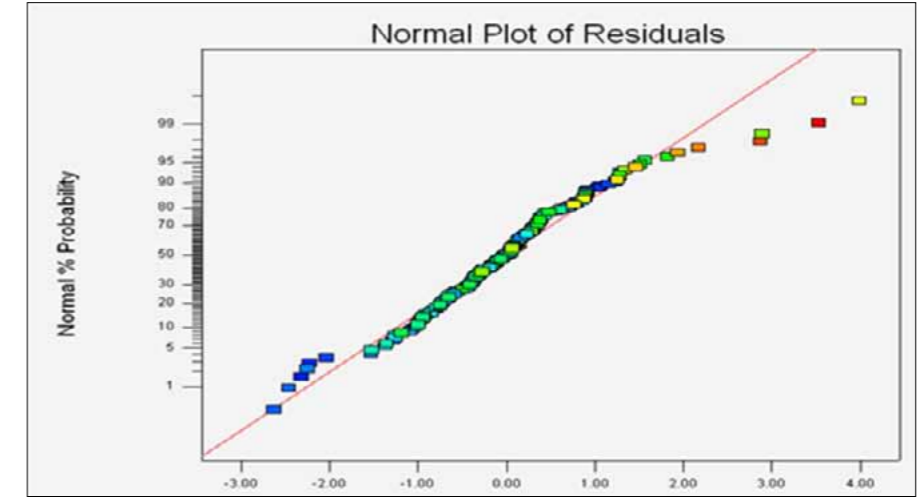
“Gerçek-Tahmin (Actual vs. Predicted)” grafiği, gerçek çıktı değerlerinin tahmin edilen çıktı değerlerine kıyaslandığı grafikdir. Model tarafından kolaylıkla tahmin edilemeyen değerlerin belirlenmesi açısından faydalıdır. Şekil 6’ da verilen grafikte noktalar, düz çizgi etrafında yakın bir şekilde dağılmışlardır. Bu durum,

Tablo 2. ANOVA Tablosu

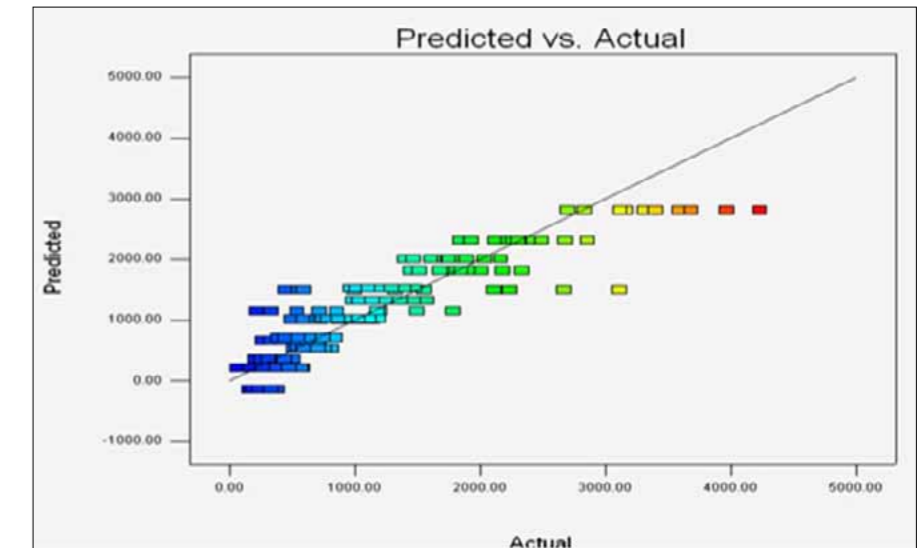
Response 1	Ort. Toplam Maliyet					
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares – Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Main Square	F Value	p-value Prob > F	significant
Model	9.592E+007	5	1.918E+007	113.48	<0.0001	
A-isci sayısı	2.541E+007	1	2.541E+007	150.32	<0.0001	
B-makine tipi	1.796E+007	1	1.796E+007	106.25	<0.0001	
C-isci tipi	9.638E+006	1	9.638E+006	57.01	<0.0001	
D-kuyruk kur	3.880E+007	1	3.880E+007	229.49	<0.0001	
BD	4.115E+006	1	4.115E+006	24.34	<0.0001	
Residual	2.603E+007	154	1.691E+005			
Lack of Fit	8.818E+006	10	8.818E+005	7.37	<0.0001	significant
Pure Error	1.722E+007	144	1.196E+005			
Cor Total	1.220E+008	159				



Şekil 4. Artık ve Tahmin Edilen Değerlerin Karşılaştırma Grafikleri



Şekil 5. Artıkların Normal Dağılımı



Şekil 6. Gerçek ve Tahmin Edilen Çıktı Değerlerinin Karşılaştırması

gerçek değerlerle beklenen değerlerin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Yani, “Gerçek -Tahmin” grafiğinde çıktı değerleri model tarafından kolaylıkla tahmin edilebilmiştir (Montgomery, 2001).

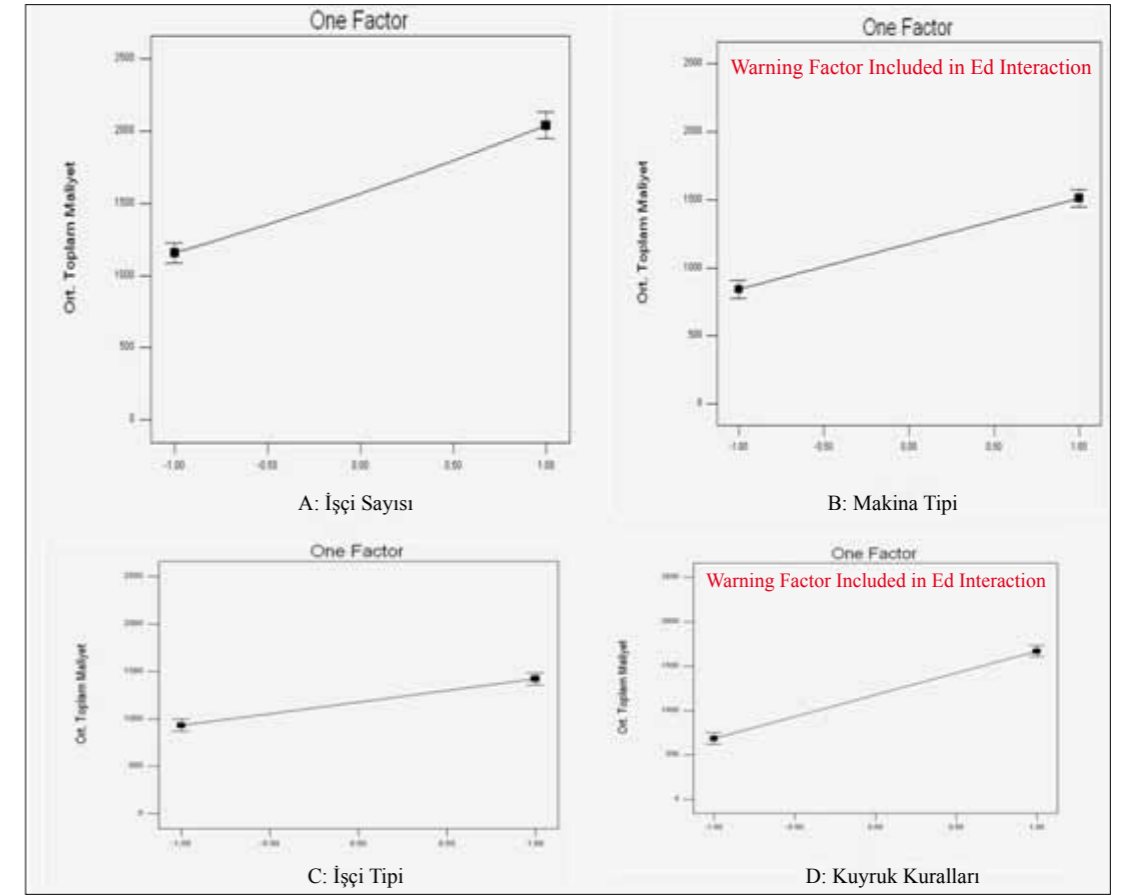
“Artık ve Etmen” grafikleri hataların büyüklüğü ile etmenlerin düzeyleri arasında bir ilişki olup olmadığını inceler. Varyansın sabit olduğuna dair yapılmış olan varsayımın geçerli olabilmesi için etmenlerin “+” ve “-” seviyelerinde noktaların rastgele dağılımı olması gerekmektedir. Şekil 7’ de verilmiş olan dört etmenin grafiğinde de sabit varyans varsayımının korunduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 8’de her etmene ait “Bir Etmen” grafikleri yer almaktadır. Grafikler dönüşümlü ölçekte incelenmiştir. Bu sayede LSD çubuklarının örtüşüp örtüşmediği daha net gözlemlenebilmiştir. Grafiklerdeki çubuklar %95 güven aralığını göstermektedir. Öncelikle işçi sayılarını gösteren A etmenine ait birinci grafiğe göre, 2 işçi yerine 4 işçi kullanılması durumunda maliyette anlamlı bir artış oluşmuştur. İşçi sayısını arttırınca meydana gelen ek maliyet, makinelerin daha hızlı bir şekilde tamir edilmesi

ve tamir edilebilmek için kuyrukta daha az beklenilmesi öngörüsünü karşılayamamıştır.

Makine tipini gösteren B etmenine ait ikinci grafiğe göre, daha uzun süre bakıma ihtiyaç duymadan çalışabilen lüks makinelerin kullanılması maliyette anlamlı bir farklılık oluşturmuştur. Lüks makineler normal makinelerden daha pahalıdır; ancak daha uzun süre bozulmadan çalışabilmektedirler. Böylece bozulan makinelerin oluşturduğu maliyet lüks makine kullanılıncaya azalacaktır. Bununla birlikte, lüks makinelerin bu avantajı yüksek maliyetlerinin dezavantajına baskın çıkamamıştır.

Üçüncü grafik ise işçi tipi etmenine ait grafikdir. Bu etmen maliyette en az değişikliğe neden olan etmendir. “-” ve “+” seviyelerinde LSD çubukları birbirlerine çok yakındır. Deneyimli işçi kullanılması ile makinelerin tamir süreleri azalmakta ve bu nedenle makineler bozuk olduğu için oluşan maliyet düşmektedir. Diğer yandan, bu işçilerin maliyetleri yüksek olduğundan maliyetlerde bir artış da meydana gelmektedir. Grafiğe göre deneyimli işçi kullanılması durumunda maliyetlerde anlamlı bir artış oluşmaktadır.



Şekil 8. Etmen-Maliyet Grafikleri

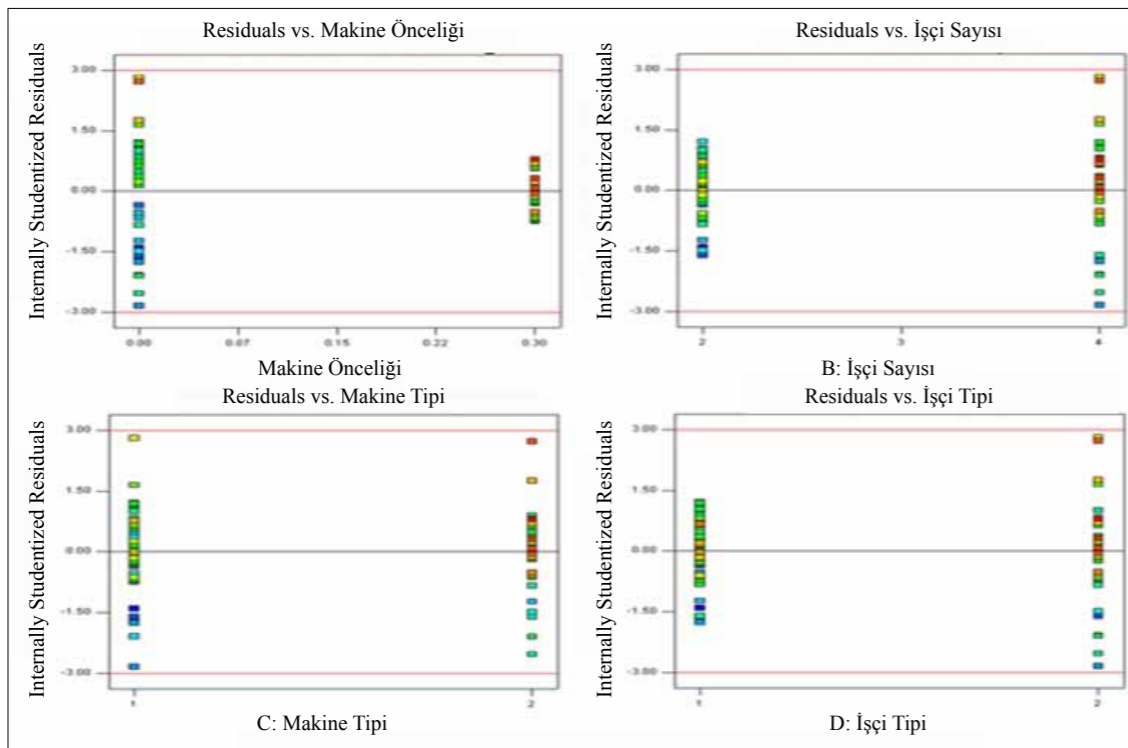
D etmenine ait grafik incelenecek olursa, tamire gelen makinelerin önceliklerinin olmasının toplam ortalama maliyette anlamlı bir artış meydana getirdiği görülmektedir. Kritik makinelere öncelik verildiği durumda, işçilerin daha hızlı bir şekilde çalışıp, bir an önce bu makineleri çalışır duruma getirmeleri beklenmektedir. Bu nedenle de kritik makine tamirata yapan işçilerin saatlik ücreti arttırılmaktadır.

Modelde etki yüzdesi büyük olan BD etkileşiminin yanıt değişkenimiz üzerindeki etkisine (D) baktığımızda, kuyruk kurallarının maliyet yüzdesi olarak (B) makine tipine göre daha yüksek olduğunu görmekteyiz. Şekil 9’da verilen grafik yorumlandığında sistemin maliyeti açısından en iyi olacak olan kombinasyonun işçi tipine öncelik verilmeyen 2 adet standart işçi ve standart makine kullanılan sistem olduğu görülmüştür. Diğer

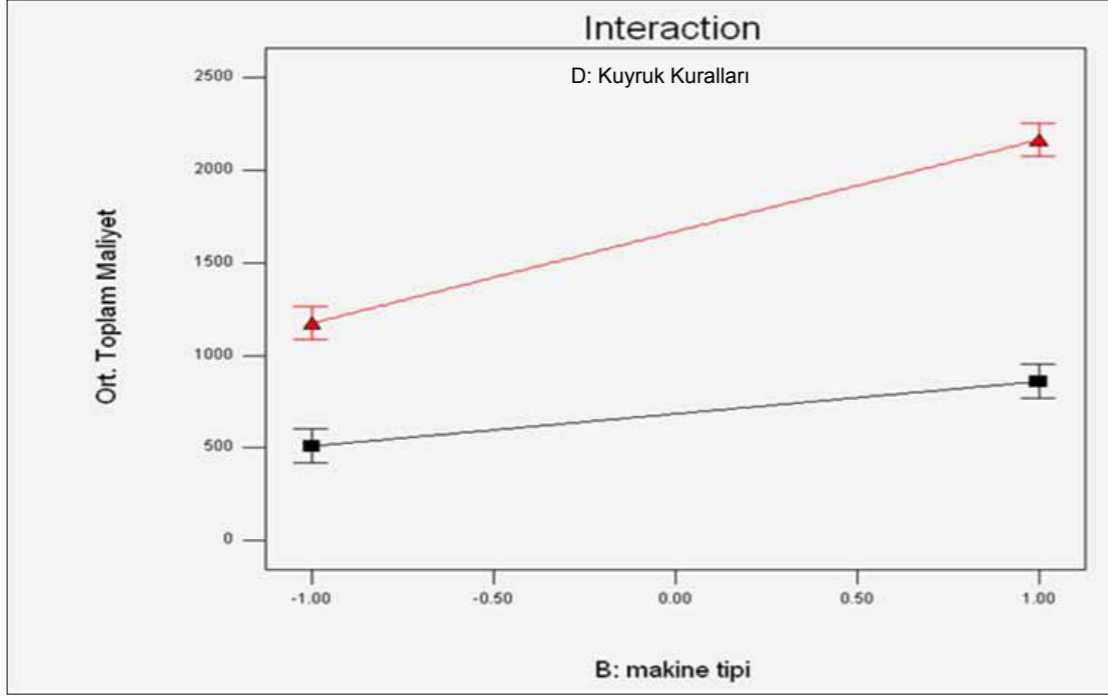
durumlarda sistem hızlanmakta; ancak bu durumlarda oluşan maliyetler firmanın karşılamaya gönüllü olduğu limitleri aşmaktadır.

Aşağıda verilmiş olan küp grafiklerinden Şekil 10, D etmeni “-” seviyesinde iken; Şekil 11 ise D etmeni “+” seviyesinde iken oluşturulmuştur. Her iki grafikte de en düşük maliyet, “A -”, “B -” ve “C -” durumlarında oluşmuştur. Ancak, D etmeni “-” seviyesinde iken oluşan maliyet, “+” seviyesinde iken oluşan maliyetten daha düşüktür. Bu nedenle, bu etmenin de “-” seviyesinin tercih edilmesi gerektiği gözlemlenmiştir.

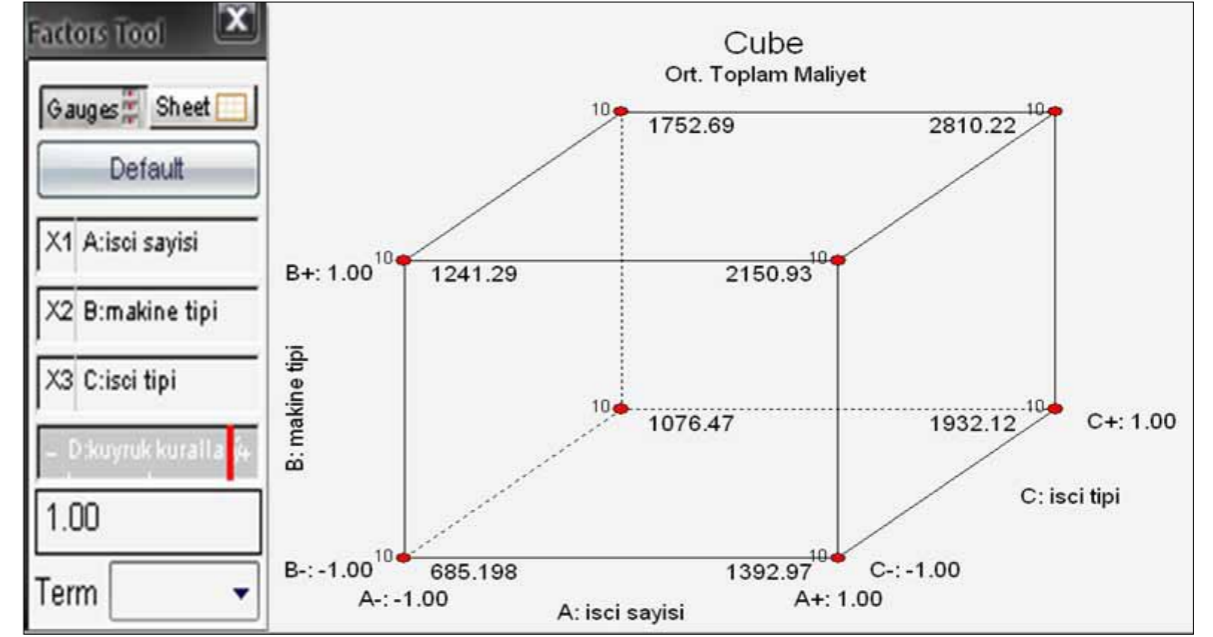
Şekil 12’de C ve D etmenleri “-” seviyelerinde iken oluşturulan “Üç Boyutlu Yüze” grafiği verilmiştir. En düşük maliyetin A ve B etmenleri de “-” seviyelerinde iken meydana geldiği görülmektedir.



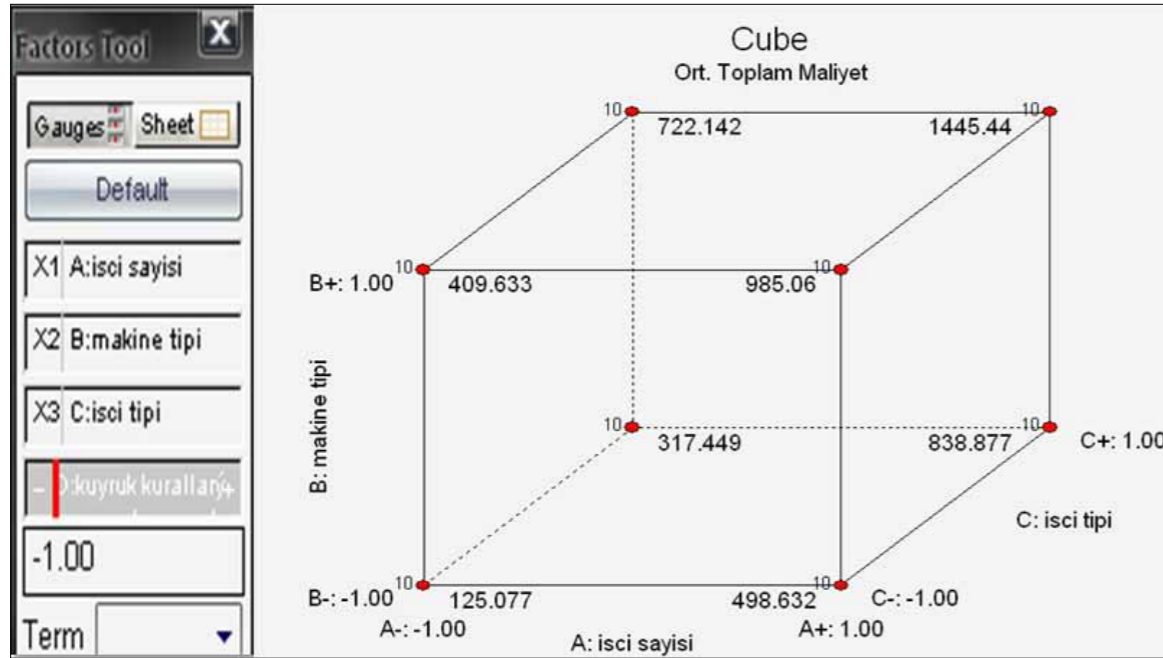
Şekil 7. Artık ve Etmen Karşılaştırma Grafikleri



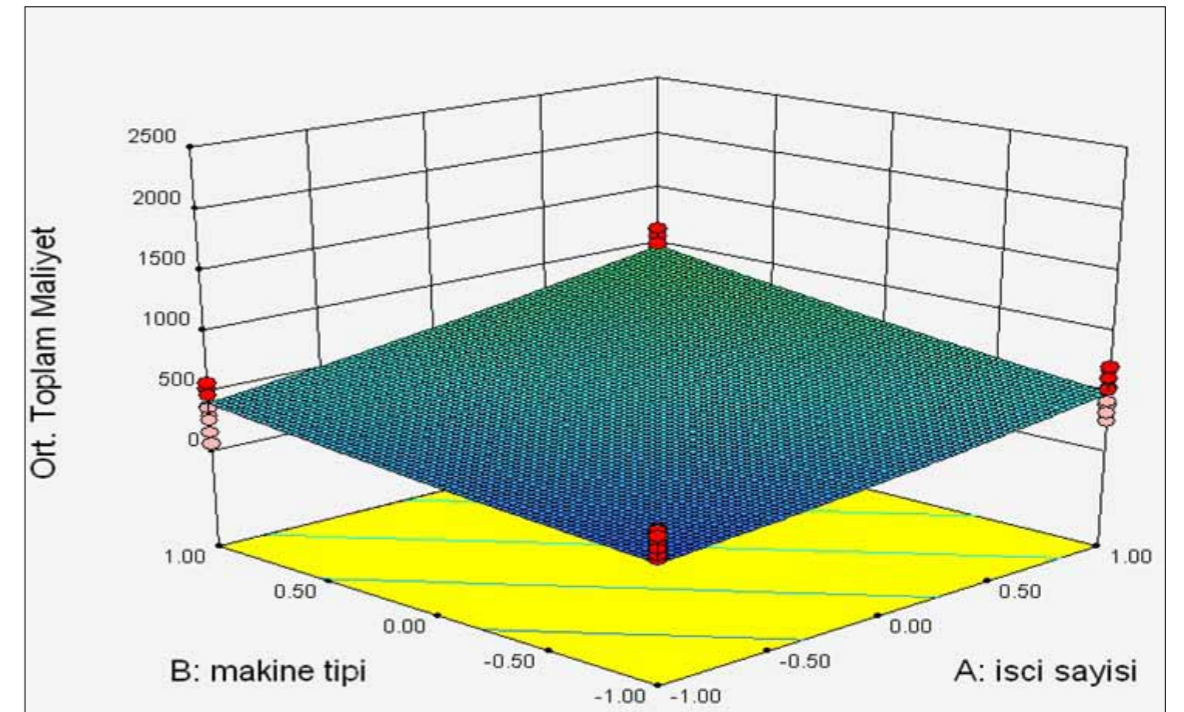
Şekil 9. Etkileşim Grafiği



Şekil 11. D Etmeni "+" iken Diğer Etmenlerin Küp Grafiği



Şekil 10. D Etmeni "-" iken Diğer Etmenlerin Küp Grafiği



Şekil 12. Üç Boyutlu Yüzey Grafiği

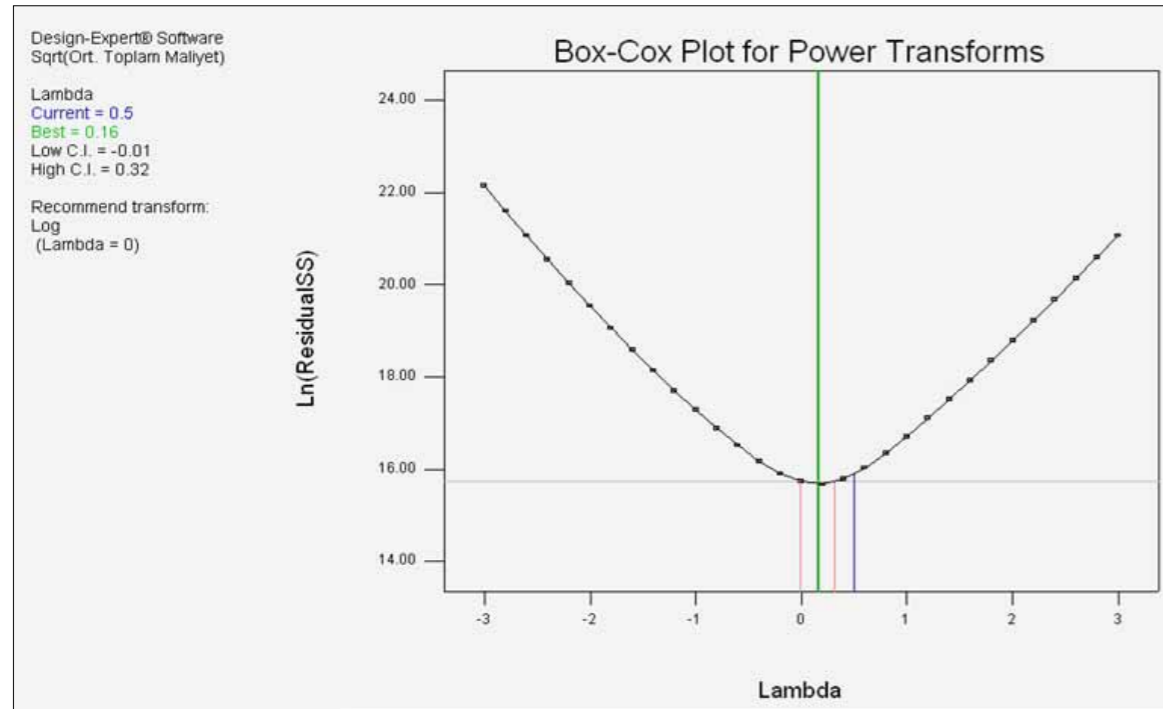
2.1.2 Kısmi Faktöriyel Çarpımsal Deney Tasarımı

Tasarım Özeti Tablosu, deney tasarımını yaptığımız programa girilen değerlerin en yüksek ve en düşük değerleri ile sonuç değişkenimiz olan ortalama toplam maliyetin 10 tekrarlama ile elde edilen 80 gözlemin en düşük, en yüksek ve ortalama değerlerini göstermektedir (Tablo 3). Model, dört ana etmene sahip olup, 2^{4-1} kısmi-faktöriyel olarak tasarlanmıştır.

Deneyde gözlemler sonucu elde edilen sonuç değerlerinin, maksimum değerle minimum değere oranı 10 kattan daha fazla ise dönüşüm gereklidir. Bu şekilde model için uygun olan dönüşüm yapılarak geçerli λ değerine yaklaşılmaya çalışılmaktadır. Şekil 13'te verildiği gibi deneyin minimum değeri 155,79; maksimum değeri 4233,48 olup, aralarındaki oran 27,17'dir. Bu durumda önerilen dönüşüm, logaritmik dönüşüm olup,

Tablo 3. Tasarım Özeti Tablosu

Desing Summary											
File Version	8.0.7.1										
Study Type	Factorial										
Design Type	2 Level Factorial										
Center Point	0										
Desing Mode	Reduced 2H										
Runs	80										
Blocks	No Blocks										
Build Time	5.58										
Factor	Name	Units	Type	Subtype	Minimum	Maximum	Coded	Values	Mean	Std. Dev.	
A	İşçi Sayısı		Numeric	Continuous	-1.00	1.00	-1.000=-1.00	1.000=1.00	0.00	1	
B	Makine Tipi		Numeric	Continuous	-1.00	1.00	-1.000=-1.00	1.000=1.00	0.00	1	
C	İşçi Tipi		Numeric	Continuous	-1.00	1.00	-1.000=-1.00	1.000=1.00	0.00	1	
D	Kuyruk Kuralları		Numeric	Continuous	-1.00	1.00	-1.000=-1.00	1.000=1.00	0.00	1	
Response	Name	Units	Obs	Analysis	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Ratio	Trans	Model
Y1	Ort. Toplam Ma		80	Factorial	155.79	4233.48	1182.01	935.244	27.1743	None	R2FI

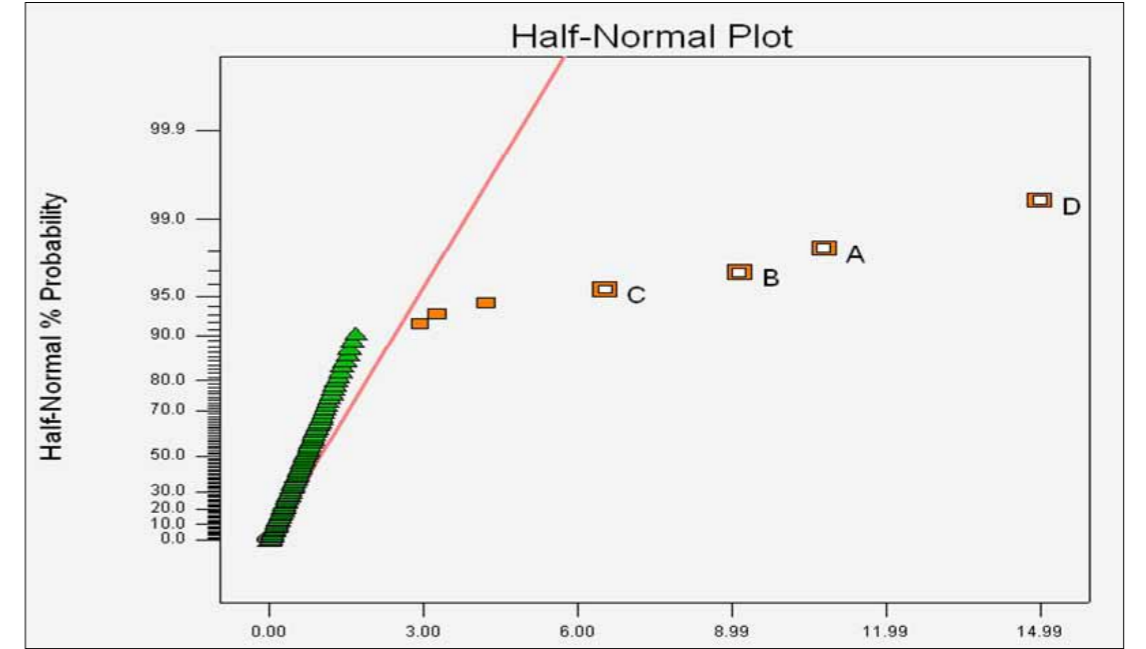


Şekil 13. Verilerin Dağılımı Grafiği

geçerli λ değerinin en iyi λ değerine yakınsamasına çalışılmaktadır.

Şekil 14'te görüldüğü üzere, 80 tekrar sonucu Yarı-Normal Grafiğinde D, A, B ve C etmenlerinin normallik çizgisinden büyük oranda sapma yaptıkları görülmüştür.

için F değeri 102,66 olarak bulunmuştur. Bu değer, %5 risk seviyesinde belirlenen kritik-F değerlerinden fazladır. Yani %95 güvenle, ortalama toplam maliyet, bu model için seçilmiş olan etki ve etkileşimlerden etkilenmektedir. Ayrıca ANOVA tablosu seçilmiş olan



Şekil 14. Verilerin Yarı-Normal Grafiği

Bu durum, D, A, B ve C etmenleri ile AD, AB ve AC etkileşimlerinin model için yüksek ihtimalle anlamlı olduklarını göstermektedir.

Şekil 15'te modelin eşleyen (alias) yapısı verilmiştir. Model, dört etmenli olup, 2^{4-1} kısmi faktöriyel olarak tasarlanmıştır. Bu sebeple, model ana etmen ve ikili etkileşimleri analiz etmiştir. Üçlü ve daha yüksek sayıdaki etkileşimler ise eşleyen yapısıyla gruplandırılmıştır. Örneğin A etmeninin etkisi BCD üçlü etkileşimle aynı grupta yer almaktadır.

Veriler kullanılarak program üzerinden Varyans Analizi tablosuna ulaşılmıştır. ANOVA tablosu Tablo 4'te verildiği gibidir. Tablo 4'te görüldüğü gibi, model

Term	Aliases
Intercept	
A-isci sayisi	BCD
B-makine tipi	ACD
C-isci tipi	ABD
D-kuyruk kuralları	ABC
AB	CD
AC	BD
AD	BC
BC	
BD	
CD	
ABC	
ABD	
ACD	
BCD	
ABCD	

Şekil 15. Eşleyen Yapısı

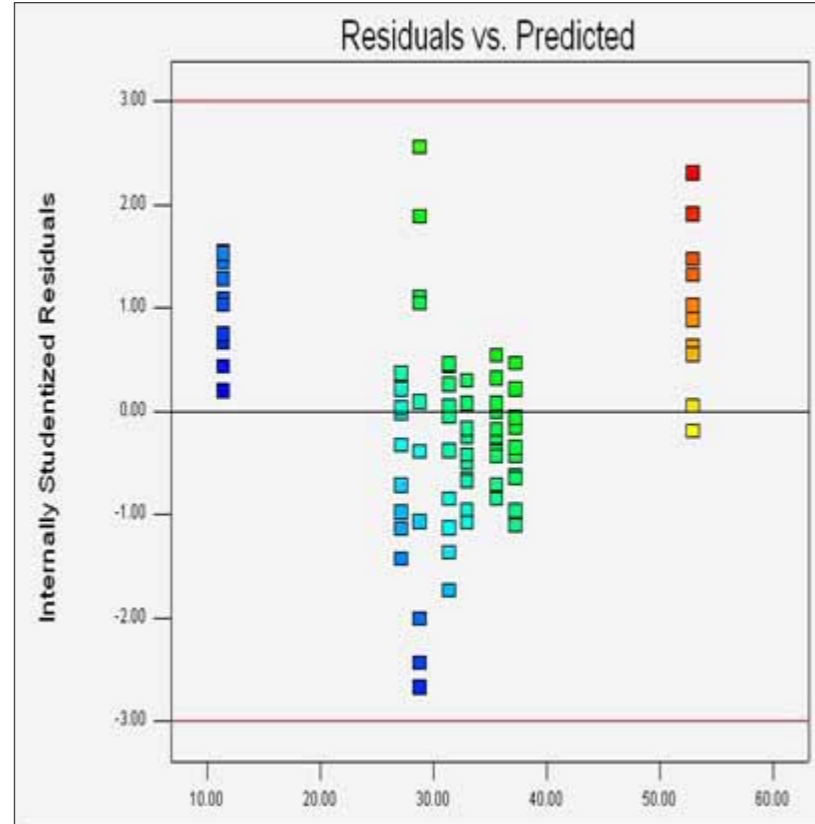
Tablo 4. ANOVA Tablosu

Response	Ort. Toplam Maliyet					
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares – Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Main Square	F Value	p-value Prob > F	significant
Model	6.281E+007	7	8.972E+006	102.66	<0.0001	
A-isci sayısı	1.356E+007	1	1.356E+007	155.17	<0.0001	
B-makine tipi	9.608E+006	1	9.608E+006	109.93	<0.0001	
C-isci tipi	6.316E+006	1	6.316E+006	72.26	<0.0001	
D-kuyruk kur	2.153E+007	1	2.153E+007	246.37	<0.0001	
AB	2.960E+006	1	2.960E+006	33.86	<0.0001	
AC	5.169E+006	1	5.169E+006	59.14	<0.0001	
AD	3.659E+006	1	3.659E+006	41.86	<0.0001	
Pure Error	6.293E+006	72	87402.83			
Cor Total	6.910E+007	79				

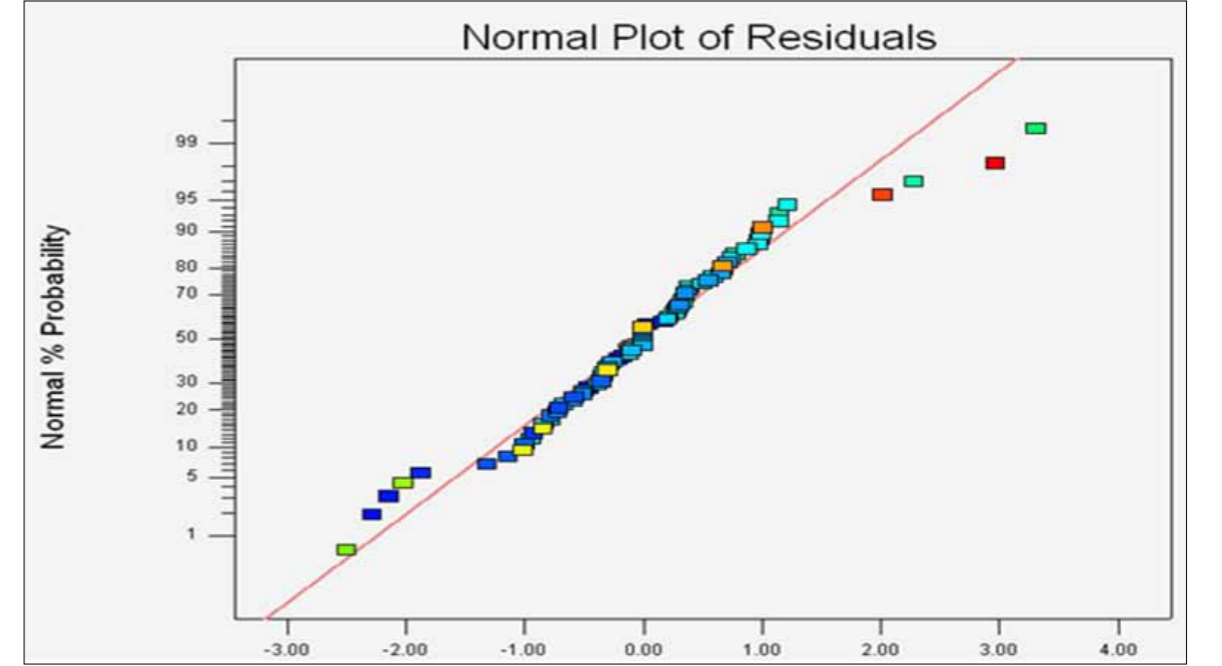
etkilerin önemli olduğunu da doğrulamaktadır -etkilerin p değerleri 0,05'ten küçüktür- (Montgomery, 2001).

Şekil 16'da noktaların çizgi etrafında artan ya da azalan bir eğilim göstermediği görülmektedir. Bu durum, sabit varyans varsayımının geçerli olduğunu göstermektedir (Montgomery, 2001). Logaritmik dönüşüm uygulandıktan sonra, yukarıda verilmiş olan "Artıklar-Tahminler (Residuals vs. Predicted)" grafiğinde yine %95 güvenle tüm noktaları belirlenmiş olan alt ve üst sınırların içinde kaldığı görülmektedir. Daha ayrıntılı incelemek için ANOVA ve Normallik varsayımını içeren tablolara bakılmalıdır.

Hatalar normal dağılımlar ise bu noktalar yaklaşık olarak bir doğru üzerine düşer. (Montgomery, 2001). Şekil 17'de verilmiş olan "Artıkların Normallik Grafiğinde (Normal Plot



Şekil 16. Artıklar ile İlgili Grafik



Şekil 17. Artıkların Normal Dağılım Grafiği

of Residuals)) hataların yaklaşık olarak bir "S" yapısı oluşturduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 18'de verilen grafikte, noktalar düz çizgiye yakın bir şekilde dağılmışlardır. Bu durum, gerçek değerlerle beklenen değerlerin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Kısmi etmenli tasarım yapıldığından, her bir nokta başka etkileşimlerin birleştiği noktayı vermektedir. Bu nedenle, doğru sonuca ulaşabilmek için, noktaların beklenen değerleriyle gerçek değerlerinin yakın olması önemlidir.

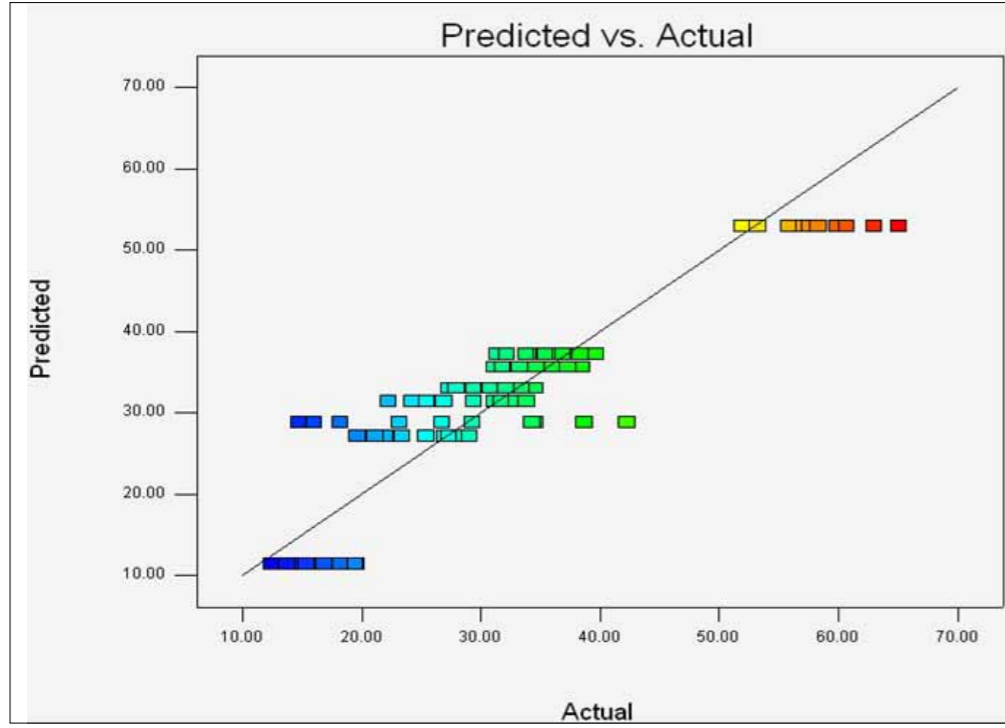
"Artık-Etmen (Residuals vs. Factor)" grafikleri hataların büyüklüğü ile etmenlerin düzeyleri arasında bir ilişki olup olmadığını inceler (Montgomery, 2001). Varyansın sabit olduğuna dair yapılmış olan varsayımın geçerli olabilmesi için etmenlerin "+" ve "-" seviyelerinde noktaların rastgele dağılmış olması gerekmektedir. Şekil 19'da verilmiş olan dört etmenin grafiğinde de sabit varyans varsayımının korunduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 20'de dört etmene ait "Bir Etmen" grafikleri yer almaktadır. Grafikler dönüşümlü ölçekte %95 güven aralığında incelenmiştir.

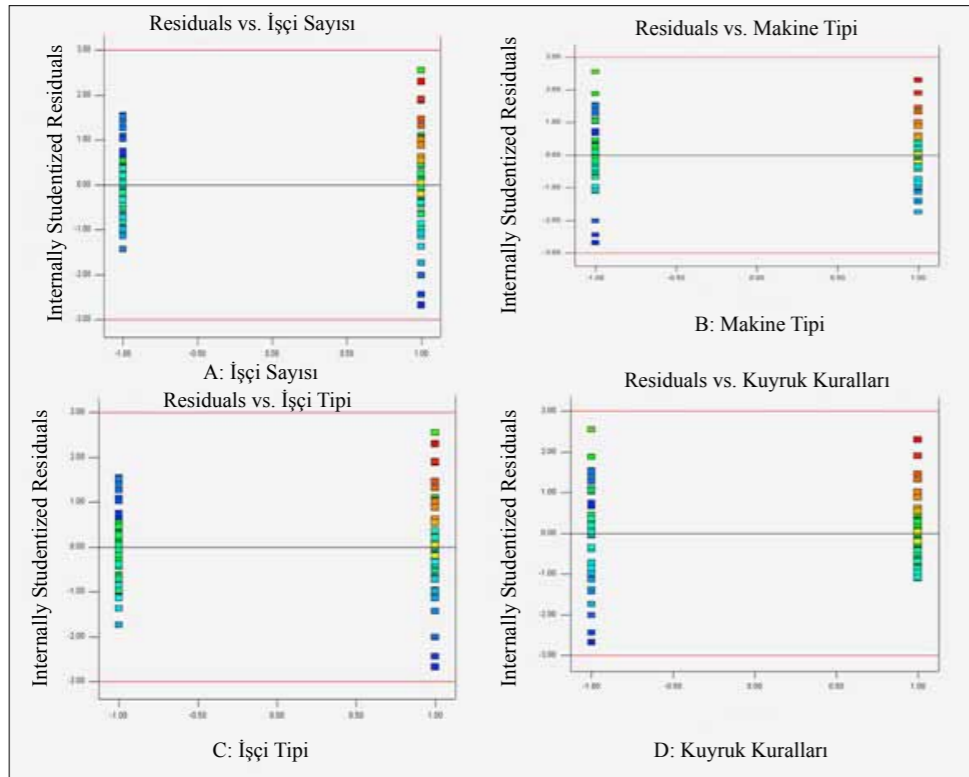
Kısmi faktöriyel tasarımında dört etmene ait "Bir Etmen" grafiklerine bakıldığında, tam-faktöriyel tasarımla benzer sonuçlara varıldığı gözlemlenmektedir. Bu da, deney tasarımında tekrarlamaya seviyesini düşürmek için yapılan aile yapısının doğru kurulduğunu ve bu şekilde aynı etkileri gösteren etkileşimlerin aynı aileye atanarak gruplanabildiğini göstermektedir. Daha az tekrarlamaya sonrası doğru sonuca varılabildiğinden bu yöntem, deney tasarımcısı için zamandan ve maliyetten tasarruf yapabileceğini göstermektedir.

Aşağıda verilmiş olan küp grafiklerinden Şekil 21, D etmeni "-" seviyesinde iken; Şekil 22 ise D etmeni "+" seviyesinde iken oluşturulmuştur. Her iki grafikte de en düşük maliyet, "A-", "B-" ve "C-" durumlarında oluşmuştur. Ancak, D etmeni "-" seviyesinde iken oluşan maliyet, "+" seviyesinde iken oluşan maliyetten daha düşüktür. Bu nedenle, bu etmenin de "-" seviyesinin tercih edilmesi gerektiği gözlemlenmiştir.

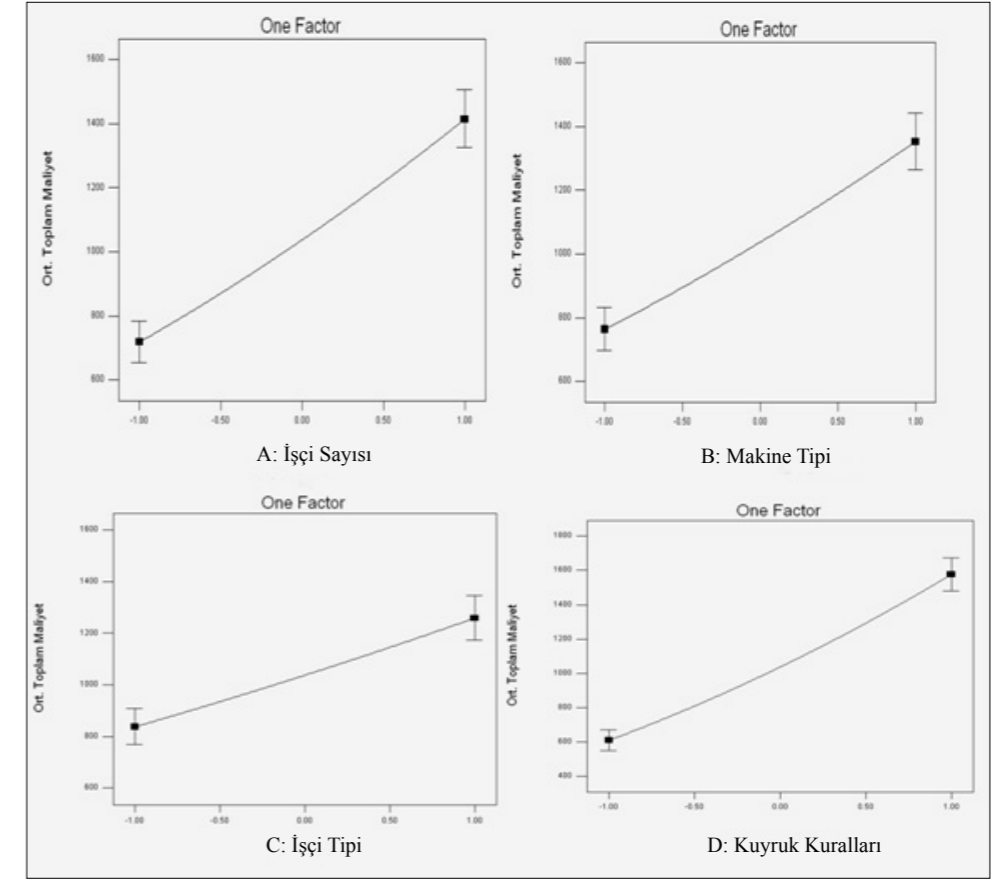
Şekil 23'te C ve D etmenleri "-" seviyelerindeyken elde edilen "Üç Boyutlu Yüzey" grafiği verilmektedir. En düşük maliyet, A ve B etmenleri de "-" seviyelerinde iken meydana gelmektedir.



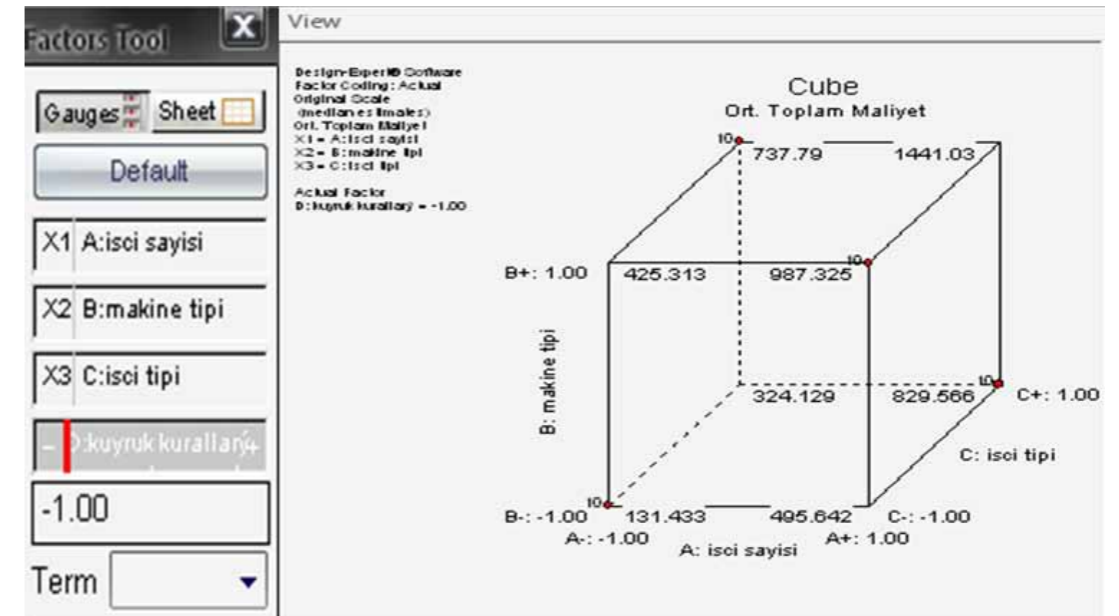
Şekil 18. Gerçek ve Tahmin Edilen Artıkların Karşılaştırılması Grafiği



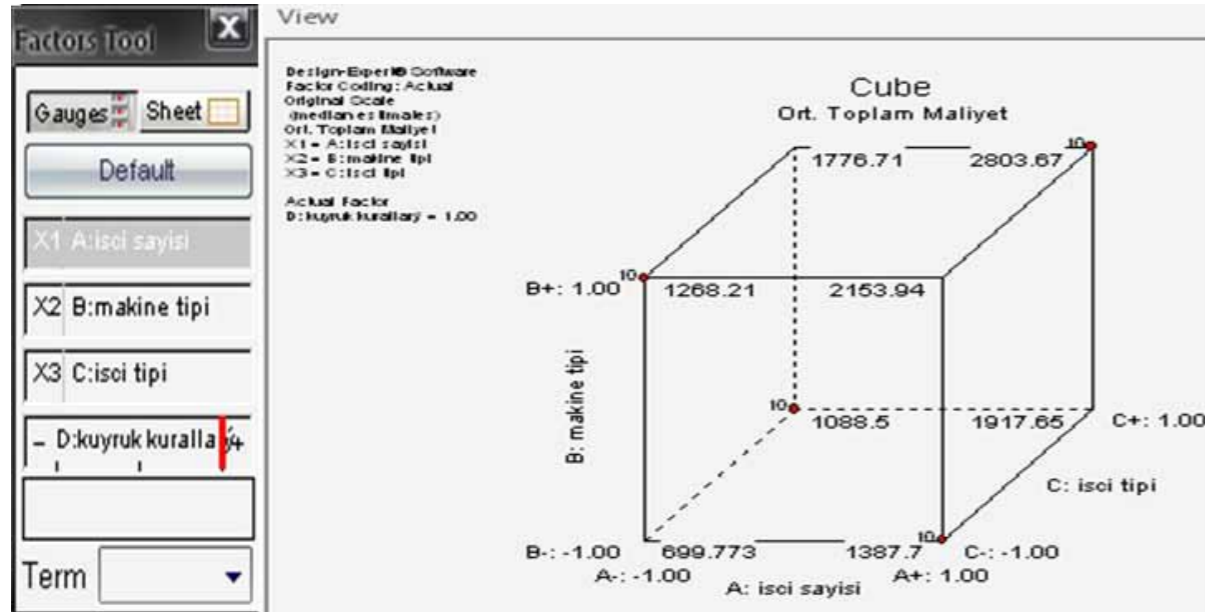
Şekil 19. Artık Etmek Grafikleri



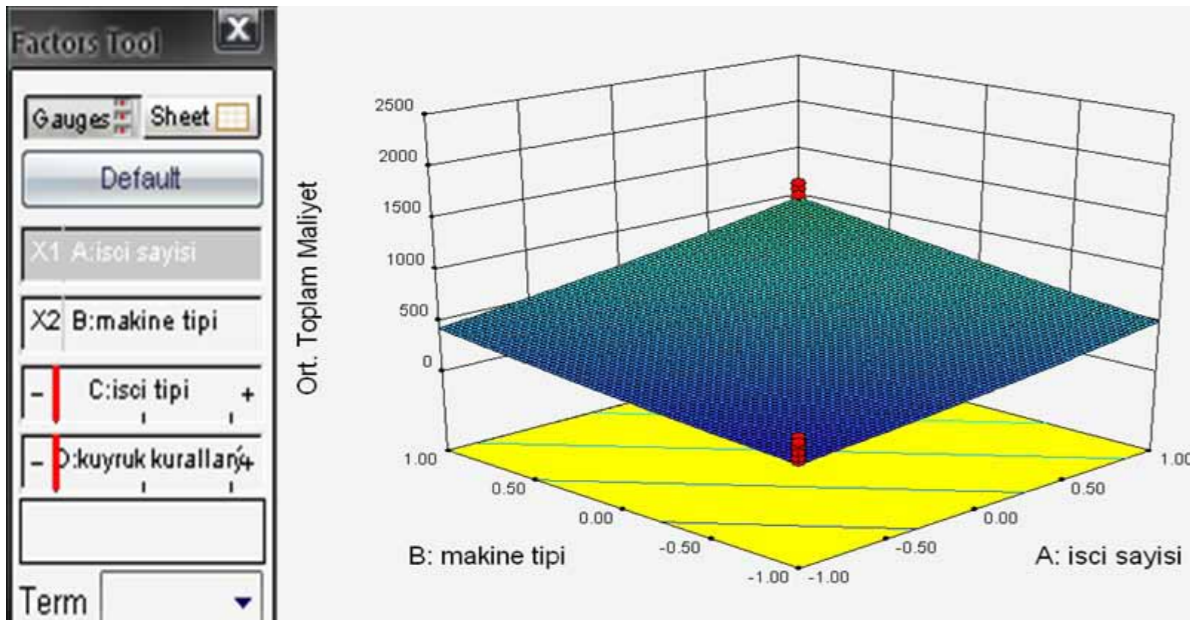
Şekil 20. Bir Etmek Grafikleri



Şekil 21. D Etmek “-” iken Diğer Etmeklerin Küp Gösterimi



Şekil 22. D Etmeni "+" iken Diğer Etmenlerin Küp Gösterimi



Şekil 23. Üç Boyutlu Yüzey Grafiği

2.2 Taguchi Yaklaşımı ile Deney Tasarımı

Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen Taguchi tasarım metodu, materyallerin ve üretimin doğasındaki değişkenliği, tasarım aşamasında göz önünde bulunduran sistemler topluluğudur. 1980'lerden sonra bu teknik, Amerika ve Avrupa endüstrilerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Taguchi metodunun güzel yanı, kontrol edilebilen etmenlerin yanı sıra, gürültü faktörlerini de kontrol edebilmesidir. Deney tasarımına benzemesine rağmen, Taguchi tasarımı sadece ortogonal deneysel kombinasyonları yönetir. Bu sebeple, Taguchi tasarımı yöntemi kısmi etmen tasarımından daha efektif hale gelir. Taguchi tekniği kullanılan endüstrilerde, tasarım ve üretim aşamalarının her ikisinde de ürün geliştirme döngü süresi oldukça azaltılabilmektedir. Böylece firmalar, maliyeti azaltırken kârı arttırabilmişlerdir. Dahası bu yöntem, gürültü etmenlerinden kaynaklanan değişkenliğe bakabilmeyi sağlar ki, bu nokta, kısmi etmen tasarımında göz ardı edilen bir durumdur (Zang vd., 2007).

Taguchi yönteminde süreç tasarımı "Sistem Tasarımı, Parametre Tasarımı ve Tolerans Tasarımı" olmak üzere üç adımdan oluşur. Bu adımlar içerisinde en önemlisi parametre tasarımıdır. Parametre tasarımı, kontrol edilebilen etmenlere göre uygun ortogonal dizinin seçimini, bu dizine göre deneylerin çalıştırılmasını, verilerin analiz edilmesini, optimal şartların belirlenmesini ve bütün parametrelerin optimal seviyeleri için onaylanan deneylerin yürütülmesini içerir (Taguchi, 1987).

Bu çalışmada, firmanın üretim sisteminde değiştirmeyi amaçladığı dört adet ana etmen vardır. Bu etmenlerden ilki (A) işçi sayısıdır. Sistemde halihazırda iki işçi görev yapmakta ve bu sayının dörde çıkarılması planlanmaktadır. Dolayısıyla, işçi sayısı etmeninin birincisinde iki işçi, ikincisinde dört işçi olmak üzere iki seviyesi bulunmaktadır. Sistemde değiştirilmek istenen ikinci etmen, üretimde kullanılan makinenin tipidir. Üretim sisteminde kullanılmakta olan makineler, standart makine olarak sınıflandırılmakta ve bu standart makineler, lüks makineler ile değiştirilmek istenmektedir. Makine tipi etmeninin birincisi standart, ikincisi lüks olmak üzere iki seviyesi bulunmaktadır. Sistemde çalışan işçi tipi ise değiştirilmek istenen üçüncü etmendir.

Mevcut sistemde görev yapmakta olan standart işçilerin yerine, deneyimli işçilerin getirilmesi planlanmaktadır. İşçi tipi etmeninin birincisi standart, ikincisi deneyimli olmak üzere iki adet seviyesi vardır. Üretim sisteminde değiştirilmesi amaçlanan dördüncü etmen ise kuyruk kuralıdır. Sistemde "İlk Giren İlk Çıkar (FIFO)" kuyruk kuralı uygulanmakta olup, bu kuyruk kuralının bazı makinelerin "%30 Öncelikle Tamire Girmesi Kuralı (Tamir Öncelikli Makine Kuralı)" ile değiştirilmesi planlanmaktadır. Kuyruk kuralı etmeninin birincisi FIFO, ikincisi Tamir Öncelikli Makine Kuralı olmak üzere iki adet seviyesi bulunmaktadır.

Sistemde belirlenen dört adet etmenin her birinin iki adet seviyesi vardır. Sistem, Taguchi yaklaşımı ile analiz edilmiştir. 16 (2⁴) adet deneyin 10 defa tekrarlanması sonucunda 160 adet veri elde edilmiştir.

2.2.1 On Replikasyon ile Taguchi Deney Tasarımı

Bu bölümde, toplam 10 tekrarlama ile Taguchi deney tasarımı yapılmıştır. Firmadan elde edilen maliyet bilgileri ve yapılan deney sonuçları aşağıda verildiği gibidir.

İşçi tipine göre maliyet tablosu Tablo 5'te verildiği gibidir.

Tablo 5. İşçi Maliyeti Tablosu

İşçi Tipi	İşçi Maliyeti
Standart İşçi	10\$/makine ve 15\$/öncelikli makine
Deneyimli İşçi	15\$ ve 20\$/öncelikli makine

Makine tipine göre maliyet tablosu Tablo 6'da verildiği gibidir.

Tablo 6. Makine Maliyeti Tablosu

Makine Tipi	Makine Maliyeti
Standart Makine	50\$
Lüks Makine	100\$

Makine tipine göre bozulma hızı tablosu Tablo 7'de verildiği gibidir.

Tablo 7. Bozulma Hızı Tablosu

Makine Tipi	Bozulma Hızı
Standart Makine	8 saat/makine
Lüks Makine	16 saat/makine

İşçi tipine göre çalışma hızı tablosu Tablo 8’de verildiği gibidir.

Tablo 8. İşçi Çalışma Hızı Tablosu

İşçi Tipi	Çalışma Hızı
Standart İşçi	2 saat/makine ve 1,5 saat/öncelikli makine
Deneyimli İşçi	1,5 saat/makine ve 1 saat/öncelikli makine

$$T = \sum_{i=1}^{16} y_i = 198.412,47 ; \quad CF = \frac{T^2}{160} = 246.046.927$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{10} y_{ij}^2 - CF = 12.705.124,4$$

Burada y_i ile Tablo 9’daki veriler ifade edilmektedir. Her bir etmenin seviye toplamları Tablo 11’de verildiği gibidir.

Tablo 9. $L_{16}(2^4)$ Ortogonal Matris (Deney Sonucu Maliyet Çıktıları)

					Tekrarlamalar										y_i
	A	B	C	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1	1	1	1	224,4	384	155,8	362,3	295	332	363	267,5	289,2	311,4	2985,25
2	1	2	1	1	373,6	61,2	298	583,9	536	567	639	484	501	569,9	4613,54
3	2	1	1	1	398,8	721	261,6	685	541	664	729	535	585,2	622,8	5743,31
4	2	2	1	1	647,3	1136	495,9	1073	971	1108	1262	955,3	989,8	1128	9767,3
5	1	1	2	1	287,2	507	206,9	475,6	405	479	535	393,2	419,3	461,3	4169,45
6	1	2	2	1	483,4	830	386,2	800,2	732	831	946	716,5	742	846,1	7312,95
7	2	1	2	1	255,3	715	331,3	1787	1198	959	1071	786,5	844,4	922,5	8870
8	2	2	2	1	511	594	1322	3112	2238	1162	1893	1433	1486	1692	15442,01
9	1	1	2	2	921	1193	874,5	1005	746	1041	1120	1384	741,3	944,5	9969,28
10	1	2	2	2	1708	2167	1632	1844	1398	1926	2062	2326	1385	1731	18179,08
11	2	1	2	2	1792	2335	1699	1960	1443	2031	2191	2718	1433	1839	19441,43
12	2	2	2	2	3317	4233	3164	3589	2699	3753	4025	4552	2674	3363	35369,32
13	1	1	1	2	634,8	602	512	812,2	688	711	764	952,7	512,7	657,3	6846,94
14	1	2	1	2	1177	1478	1125	1264	968	1318	1410	1597	957,8	1198	12494,06
15	2	1	1	2	1220	1574	1155	1326	987	1371	1479	1856	976,4	1265	13209,18
16	2	2	1	2	2255	2857	2151	2430	1840	2536	2719	3095	1819	2297	23999,37

Yapılan deneyler sonucu elde edilen maliyet çıktıları Tablo 9’daki gibidir. Tablo 9, ortogonal bir matristir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında etmenlerin serbestlik derecesi çözümlemesi Tablo 10’da verildiği gibidir.

Varyans analizi için her bir değişkenin değişkenliği ile toplam ve hata değişkenlikleri hesaplanmalıdır (Taguchi, 1987). Aşağıda düzeltme faktörü (Correction Factor: CF) ve toplam değişkenlik (SST) elde edilmiştir:

Tablo 10. Serbestlik Dereceleri

Etmen	Serbestlik Derecesi (df)
A	1
B	1
C	1
D	1
e	159 - 4 = 155
Toplam	160 - 41 = 159

Tablo 11. Etmenlerin Seviye Toplamları

Etmen / Seviye	A	B	C	D
1	66570,55	71234,84	79658,95	58903,81
2	131841,92	127177,63	118753,52	139508,66

$$SS_A = \frac{A_1^2}{80} + \frac{A_2^2}{80} - CF = 26.627.198 ; \quad SS_B = \frac{B_1^2}{80} + \frac{B_2^2}{80} - CF = 19.559.973,46$$

$$SS_C = \frac{C_1^2}{80} + \frac{C_2^2}{80} - CF = 9.552.408,772 ; \quad SS_D = \frac{D_1^2}{80} + \frac{D_2^2}{80} - CF = 40.607.136,5$$

Tablo 11’den yararlanarak etmenlerin değişkenliklerini aşağıdaki gibi elde edebiliriz.

Hata değişkenliği ise toplam değişkenlik ve etmenlerin değişkenliğinden yararlanılarak şu şekilde elde edilebilir:

$$SS_e = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D) = 30.704.607,25$$

Değişkenliklerin ve serbestlik derecelerinin yardımıyla Varyans Analizi (ANOVA) tablosu oluşturulur. ANOVA Tablosu Tablo 12’de verildiği gibidir.

Tablo 12. ANOVA Tablosu

Kaynak	df	S	V	F
A	1	26.627.198,39	26.627.198	134,4168
B	1	19.559.973,46	19.559.973	98,74075
C	1	9.552.408,772	9.552.409	48,22154
D	1	40.607.136,52	40.607.137	204,989
E	155	30.704.607,25	198.094,2	
T	159	12.705.1324,4		

%99 güven düzeyinde tablo – F değeri: $F_{1,155} = 6,8013$ olarak elde edilmiştir. Tablo 12’de görüldüğü üzere, her etmenin hesaplanan F değeri, Tablo – F değerinden büyüktür. Bu da her bir etmenin önemli olduğu anlamına gelir.

Ancak, bu etmenler arasında tekrar bir kıyaslama yapılacak olursa, değişkenliği en küçük olan C etmeninin diğerlerine göre daha az önemli; değişkenliği en büyük olan D etmeninin ise en önemli etmen olduğu

söylenbilir. Yani, incelenen üretim sisteminde kuyruk kuralı etmeni en önemli etmendir. Bunun yanı sıra, bu işçilerin deneyimli olup olmadıkları ise diğer etmenlere nazaran çok fazla öneme sahip değildir.

Yukarıdaki ANOVA tablosunda hatanın çok büyük olması sebebiyle, ortogonal matriste elde edilmiş tekrarlamaları 5’e indirip tekrar bir ANOVA tablosu oluşturulmuştur. Tekrarlamalar çok olduğunda, bunlardan kaynaklı hataların da aynı oranda çoğalması sebebiyle, 5 tekrarlı bir analiz daha yapılmıştır.

2.2.2 Beş Tekrar ile Taguchi Deney Tasarımı

$L_{16}(2^4)$ ortogonal matrisi aşağıda gösterildiği gibi ilk 5 tekrarlamaya alınarak tekrar ANOVA tablosu kurulmuştur. ANOVA tablosu Tablo 13’te verildiği gibidir.

10 tekrarlı ortogonal matrisi için yapılmış olan hesaplamalar, 5 tekrarlı ortogonal matris için de aşağıda verildiği gibi tekrarlanır.

Burada, y_i notasyonu ile Tablo 13’teki veriler ifade

edilmektedir. Etmenlerin serbestlik dereceleri çözümlemesi Tablo 14'te verildiği gibidir.

$$T = \sum_{i=1}^{16} y_i = 94.158,21; \quad CF = \frac{T^2}{80} = 110.822.106,4$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{10} y_{ij}^2 - CF = 62.965.357,9$$

Tablo 13. $L_{16}(2^4)$ Ortogonal Matris (5 Tekrarlı)

					Tekrarlamalar					Toplam
	A	B	C	D	1	2	3	4	5	
1	1	1	1	1	224,37	383,84	155,79	362,29	295,35	1421,6
2	1	2	1	1	373,58	61,15	297,95	583,85	535,93	1852,5
3	2	1	1	1	398,79	720,78	261,58	684,98	541,07	2607,2
4	2	2	1	1	647,28	1136,4	495,9	1073,39	971,44	4324,4
5	1	1	2	1	287,19	506,96	206,86	475,63	405,03	1881,7
6	1	2	2	1	483,42	830,11	386,19	800,19	731,71	3231,6
7	2	1	2	1	255,25	715,23	331,25	1786,63	1198,3	4286,7
8	2	2	2	1	511,01	593,59	1321,52	3112,38	2238,18	7776,7
9	1	1	2	2	920,96	1192,55	874,51	1005,04	745,92	4739
10	1	2	2	2	1708,27	2166,63	1631,79	1844,01	1397,74	8748,4
11	2	1	2	2	1792,1	2335,16	1699,07	1960,33	1442,73	9229,4
12	2	2	2	2	3317,23	4233,48	3163,68	3589,01	2699,01	17002
13	1	1	1	2	634,75	602,22	512,02	812,17	688,04	3249,2
14	1	2	1	2	1177,23	1478,17	1125,36	1264,37	968,2	6013,3
15	2	1	1	2	1219,68	1574,38	1154,56	1326,33	986,93	6261,9
16	2	2	1	2	2255,16	2856,56	2150,86	2429,72	1839,94	11532

Tablo 14. Etmenlerin Serbestlik Dereceleri

Etmen	Serbestlik Derecesi (df)
A	1
B	1
C	1
D	1
E	79 - 4 = 75
Toplam	80 - 1 = 79

Etmenlerin seviye toplamları Tablo 15'te verildiği gibidir.

Etmenlerin değişkenlikleri elde edilmiştir. Değişkenlikler Tablo 16'da verildiği gibidir.

Hata değişkenliği hesaplanmıştır ve 62.965.357,9 olarak bulunmuştur. Hesaplama aşağıda gösterildiği gibidir.

$$SS_e = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D) = 17.060.482,43$$

Bu hesaplamalar doğrultusunda ANOVA tablosu Tablo 17'de verildiği gibi elde edilir.

Özetle, 2.2.1 Bölümde hesaplanan ANOVA Tablosuna göre elde edilen çıkarımla, burada elde edilen sonuç denklik göstermektedir. Yani, %99 güven seviyesinde bu ortogonal matrise göre de tüm etmenlerin önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 2.2.1. bölümünde elde edilen ANOVA hatası ile bu bölümde hesaplanan ANOVA hatası kıyaslandığında, daha az tekrarlamaya ile yapılan analiz hatasının daha küçük olduğu görülmektedir.

Tablo 15. Etmenlerin Seviye Toplamları

Etmenler/Seviyeler	A	B	C	D
1	31137,34	33676,62	37262,36	27382,34
2	63020,87	60481,59	56895,85	66775,87

Tablo 16. Değişkenlikler

SS_A	SS_B	SS_C	SS_D
12706994	8981330,209	4818424	19398127,6

Tablo 17. ANOVA Tablosu

Etmen	Df	S	V	F
A	1	12706993,57	12706993,57	55,86152
B	1	8981330,209	8981330,209	39,48304
C	1	4818424,12	4818424,12	21,18239
D	1	19398127,57	19398127,57	85,27658
E	75	17060482,43	227473,0991	
T	79	62965357,9		

2.2.3 Yanıt Grafikleri ve Ortalamannın Kestirimi

10 tekrarlı ANOVA tablosu oluşturulup önemli etmenler belirlendikten sonra, önemli etmenlerin, maliyeti en küçükleyecek optimal seviyeleri bulunur. Ardından etmenlerin optimal seviyeleri için süreç kestirimi yapılır.

Öncelikle, etmenlerin ortalama değerleri ile yanıt grafikleri çizilir. Önemli etmenlerin ortalama değerleri Tablo 18'de verildiği gibidir.

Etmenlerin yanıt grafikleri her seviye için hesaplanan ortalama değerler ile çizilmiştir. Problemin amacı maliyeti en küçüklemek olduğundan, Şekil 24'te verilen

Tablo 18. Önemli Etmenlerin Ortalama Değerleri

	A	B	C	D
1	832,1319	890,4355	995,7369	736,2976
2	1648,024	1589,72	1484,419	1743,858

yanıt grafiğine göre, A etmeninin 1. seviyesi tercih edilir. Bu durumda, işçi sayısı için optimal seviye 2 işçidir.

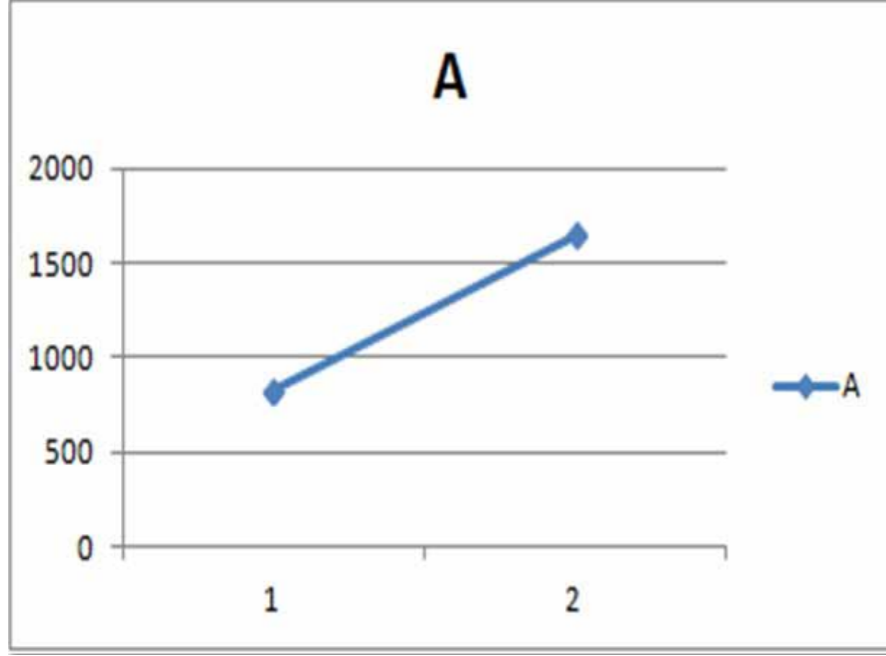
Şekil 25'te verilen yanıt grafiğine göre, B etmeninin 1. seviyesi tercih edilir. Bu durumda makine tipi için optimal seviye, standart makinedir.

Şekil 26'da verilen yanıt grafiğine göre, C etmeninin 1.seviyesi tercih edilir Bu durumda işçi tipi için optimal seçim, standart işçidir.

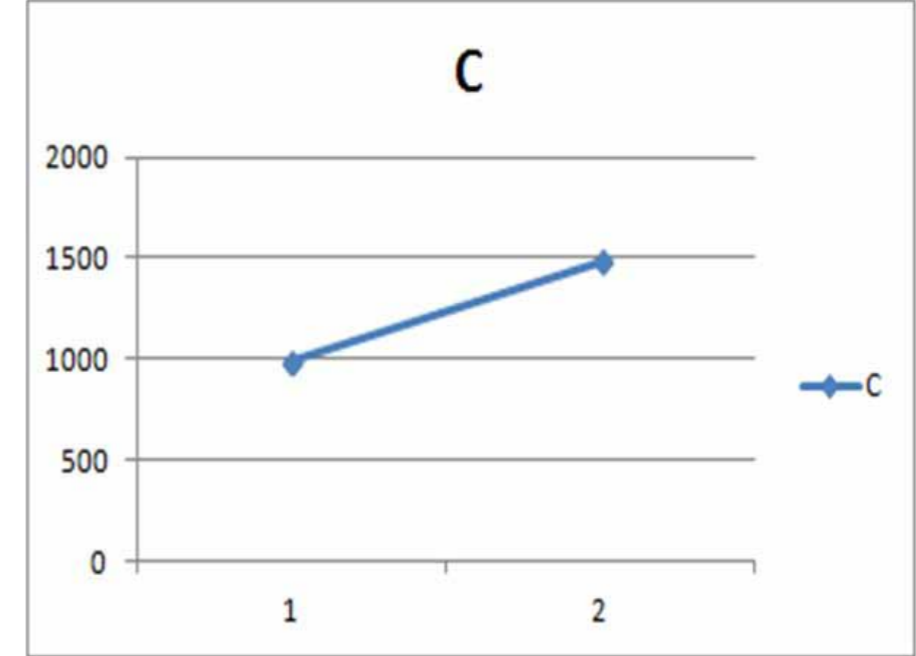
Şekil 27'de verilen yanıt grafiğine göre, D etmeninin 1. seviyesi tercih edilir. Bu durumda kuyruk kuralı için optimal seçim, FIFO'dur.

Etmenlerin en iyi seviyeleri belirlenmiş ve dört etmen için de 1. seviyeler optimal olarak alınmıştır.

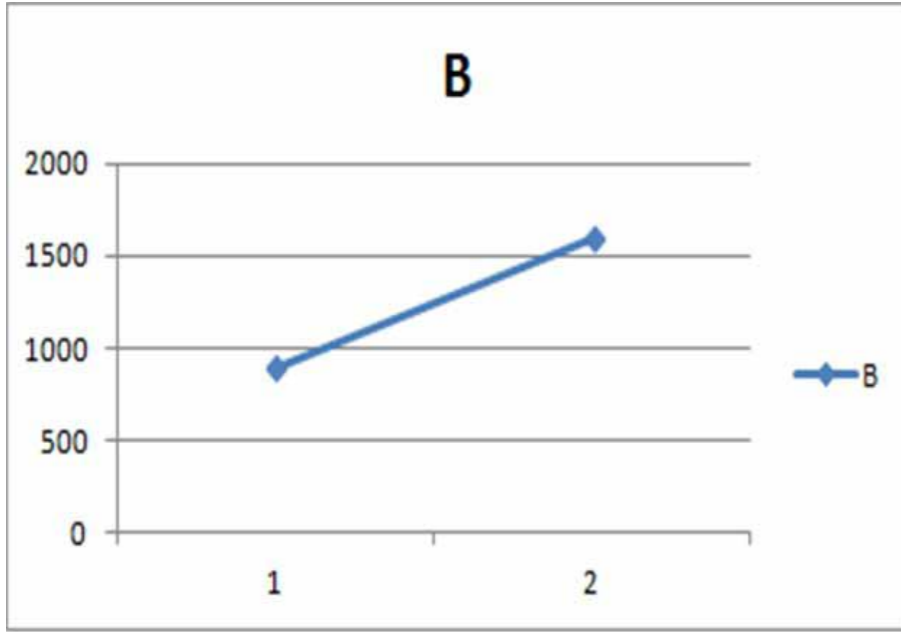
Süreç kestirimi %95 güven seviyesi için elde edilen güven aralığı [-658,19; 127,56] olarak elde edilmiştir. 2.2.1'de, Tam-Faktöriyel Deney Tasarımı Bölümünde, optimal seviyeler için elde edilen süreç değeri 125,077'dir. Bu değer, güven aralığının içerisinde.



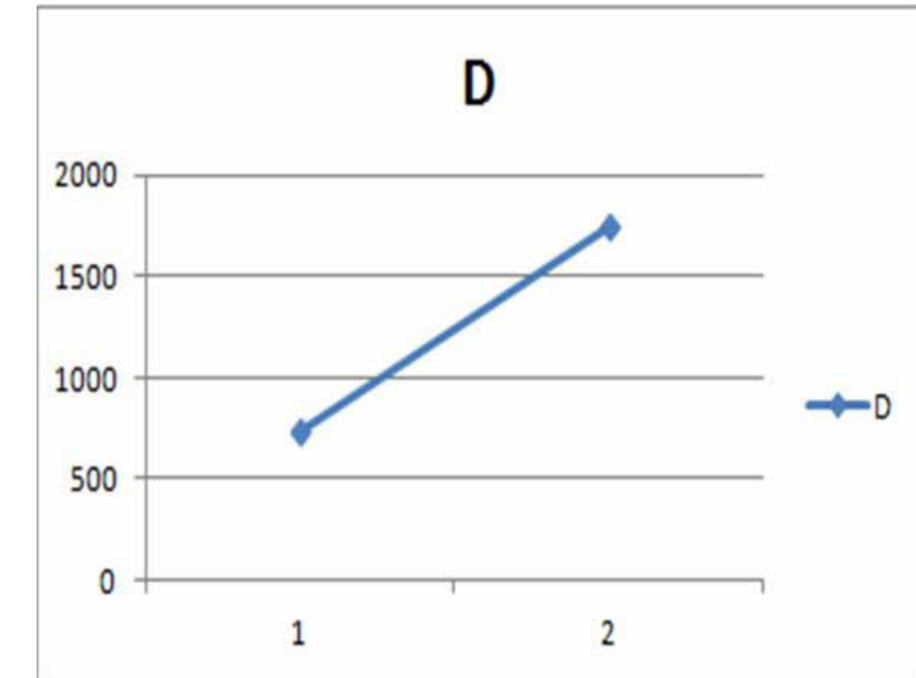
Şekil 24. A Etmeninin Yanıt Grafiği



Şekil 26. C Etmeninin Yanıt Grafiği



Şekil 25. B Etmeninin Yanıt Grafiği



Şekil 27. D Etmeninin Yanıt Grafiği

3. SONUÇ

Bu çalışmada, yerel bir firmanın üretim sistemi incelenmiştir. Bu üretim sisteminde yapılması istenen bazı değişikliklerin, 2^k çarpımsal deney tasarımı ve Taguchi yaklaşımı ile deney tasarımı yöntemleri kullanılarak maliyet analizi yapılmıştır. 2^k çarpımsal deneyler Design Ease 7.1 programı; Taguchi yöntemi ise Microsoft Excel 2007 programı kullanılarak yapılmıştır. Bu iki yöntem sonucunda, yapılan analizlerin sonuçlarının birbirleriyle tutarlı olduğu ve yorumların aynı olduğu görülmüştür.

Buna göre, üretim sistemine etki eden işçi sayısı, makine tipi, işçi tipi ve kuyruk kuralları etmenlerinden ikişer seviye seçilmiştir. Sistem, şimdiki durumunda bu etmelerin birinci seviyelerinde çalışmaktadır. Firmanın isteği üzerine ikinci seviyeler eklenmiş ve buna göre yapılan analizlerin sonucunda görülmüştür ki, bu etmenlerin birinci seviyelerinde maliyet minimum olmaktadır. Sistem, diğer seviyelerde çalıştırıldığında ise maliyet artmaktadır. Bu maliyet artımı firma için uygun görüldüğü takdirde, üretim sistemi istenen seviyelerde çalıştırılabilir.

KAYNAKÇA

1. **Abdel-Fattah, Y. R., El Enshasy, H., Anwar, M., Omar, H., Abolmagd, E.** 2007. "Application of Factorial Experimental Design for Optimization of Cyclosporin a Production by *Tolypocladium Inflatum* in Submerged Culture," *Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 17 (12), p. 1930-1936.
2. **Illias, R. M., Fen, T. S., Rahman, R. A., Rashid, N. A. A., Yusoff, W. M. W., Hamid, A. A., Hassan, O., Kamaruddin, K.** 2003. "Application of Factorial Design to Study the Effects of Temperature, Initial pH and Agitation on the Production of Cyclodextrin Glucanotransferase from Alkalophilic *Bacillus* sp. G1," *Science Asia*, vol. 29, 135-140.
3. **Montgomery, D. C.** 2001. "Design and Analysis of Experiments," **Editor: Montgomery, D.**, Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons Inc, New York.
4. **Nalbant M., Gökkaya H., Sur, G.** 2007. "Application of Taguchi Method in the Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness in Turning," *Materials and Design*, vol. 28, p. 1379-1385.
5. **Olgun, M.O., Gültekin Ö.** 2013. "Önem-Memnuniyet Analizi ve Taguchi Methodu ile Eğitimde İyileştirme Önceliklerinin Belirlenmesi: Bir Uygulama Örneği," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, sayı. 19, s. 81-87.
6. **Peace, G. S.** 1996. *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, New York.
7. **Pınar A. M., Güllü A.** 2010. "Sayısal Denetimli Hidrolik Pozisyonlama Sisteminin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt. 25 (1), s. 93-100.
8. **Taguchi, G., Elsayed, E. A., Hsiang, T.** 1989. *Quality Engineering in Production Systems*, McGraw-Hill, New York.
9. **Taguchi, G.** 1987. *System of Experimental Design*, vol. 2, UNIPUB/Kraus Int. Pub., New York.
10. **Zhang J. Z., Chen J. C., Kirby E. D.** 2007. "Surface Roughness Optimization in an End-Milling Operation Using the Taguchi Design Method," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 184, p. 233-239.