

T.C
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
KALİTE YÖNETİMİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI YÖNTEMİ İLE
PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİNDE REÇETE VE
PROSES TASARIMINA DAİR BİR UYGULAMA

Esra Yıldız HÜNDÜR

Danışman
Prof. Dr. Mehmet AKSARAYLI

İZMİR - 2019

TEZ ONAY SAYFASI



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İstatistiksel Deney Tasarımı Yöntemi ile Plastik Kompozit Üretiminde Reçete ve Proses Tasarımına Dair Bir Uygulama” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

...../...../2019

Esra Yıldız HÜNDÜR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**İstatistiksel Deney Tasarımı Yöntemi ile Plastik Kompozit Üretiminde Reçete
ve Proses Tasarımına Dair Bir Uygulama**

Esra Yıldız HÜNDÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Toplam Kalite Yönetimi Anabilim Dalı

Kalite Yönetimi Programı

Plastik, alternatiflerine göre daha hafif olmasının yanında daha kolay işlenebilir bir malzemedir. Bu sebeple günümüzde en çok kullanılan malzemeler arasındadır. Türkiye 2019 yılı itibari ile plastik ürün imalatında avrupa ülkeleri arasında ikinci sırada yer almaktadır. Ancak bu konumunu sürdürebilmek için rekabetçi fiyatlar sunabilmeli ve devamlılığını sağlamalıdır. Hammaddesinin petrol olması sebebi ile sektörde rekabetçi fiyatlar sağlamak oldukça zordur. Bu anlamda ürün kalitesini etkileyebilecek proses parametreleri ile ürün reçetelerinin optimize edilmesi oldukça önem kazanmaktadır.

Ürün prosesinin optimizasyonu ve reçetelerinin belirlenmesi çalışmalarında; klasik yöntemlerle oluşturulan deney tasarımı uygulamalarının parametre ve alt seviye değişken sayılarının fazla olması sebebi ile uzun bir süre ve maliyet gerektirdiği bilinmektedir. Ancak Taguchi uzun yıllar çalışarak geliştirdiği yöntem ile maliyet ve zaman gerekliliklerini minimize etmiştir. Daha az deneme gerektiren ve dolayısıyla daha az maliyetli ve daha az zaman gerektiren bu yöntem aynı zamanda klasik yöntemler kadar da doğru sonuç vermektedir. Taguchi deney tasarımı yönteminde tüm değişkenlerin eş zamanlı olarak değiştirildiği ortogonal dizilimler kullanılır.

Yapılan çalışmada sektörde çok kullanılan bir kompozit olan cam elyaf takviyeli poliamid 6 ürününün ekstrüzyon prosesinde; tork, devir hızı, eriyik sıcaklık parametrelerinin ve reçete içeriğindeki geri dönüşüm poliamid 6 oranının ürün mekanik değerleri olan maksimum çekme dayanımı ve izod çentikli darbe dayanımı değerleri üzerinde yarattığı etkileşim irdelenmiştir. Çalışmada Taguchi deney tasarımı L9 ortogonal dizilim kullanılmıştır.

Tez üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kalite ve istatistiksel kontrol yöntemlerine yer verilmiştir. İkinci bölümde deney tasarımı kavramı, yöntemleri, adımları ve ilkeleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde malzeme ve metod hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra gerçekleştirilen deneyin adımları ile sonuç ve yorumu yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deney Tasarımı, Taguchi, İstatistik, Kompozit, Proses Tasarımı



ABSTRACT
Master's Thesis
An Application on Recipe and Process Design in Plastic Composite
Production by Statistical Experimental Design Method
Esra Yıldız HÜNDÜR

Dokuz Eylül University
Graduate School of Social Sciences
Department of Total Quality Management
Quality Management Program

Plastic is an easily procesable material and lighter than its alternatives. For this reason, it is among the most used materials today. Turkey is the second country that produces most plastic products among European countries by the year 2019. However, it should be able to provide consistently competitive prices in order to maintain this situation. It is very difficult to provide competitive prices in the sector since its raw material is petrol. In this sense, optimization of product recipes and process parameters, which may affect product quality, is very important.

It is known that experimental designs created with classical methods which have been quite time and costly due to the large number of parameters and level variables. For this reason, it has not been widely used. However, Taguchi has minimized the cost and time requirements with the method developed by working for many years. This method, which requires less experimentation and therefore less costly and requires less time, is as accurate as classical methods. The Taguchi experimental design method uses orthogonal sequences where all variables are changed simultaneously.

In this study, in the extrusion process of glass fiber reinforced polyamide 6 product which is a widely used composite in the sector; The interactions between torque, speed, melt temperature parameters and recycle polyamide 6 ratio on product mechanical values, maximum tensile strength and izod notched impact strength values were investigated. In this study, L9 orthogonal arrangement of Taguchi experiment design was used.

This thesis consists of three chapters. In the first part, quality and statistical control methods are given. In the second part, experimental design,

experimental design methods, principles, experimental design steps and principles are explained. In the third part, information about the material and method is given. Then the steps of the experiment performed and the results and interpretation are given.

Keywords: Experiment Design, Taguchi, Statistics, Composite, Process Design



**İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI YÖNTEMİ İLE PLASTİK KOMPOZİT
ÜRETİMİNDE REÇETE VE PROSES TASARIMINA DAİR BİR UYGULAMA**

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
 GİRİŞ	 1

**BİRİNCİ BÖLÜM
KALİTE VE İSTATİSTİKSEL KONTROL**

1.1. KALİTE KAVRAMI	3
1.2. KALİTE KONTROL VE TOPLAM KALİTE KONTROL KAVRAMLARI	3
1.3. TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ VE İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL	4
1.4. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL	5

**İKİNCİ BÖLÜM
DENEY TASARIMI VE TAGUCHİ YÖNTEMİ**

2.1. DENEY KAVRAMI	7
2.2. DENEY TASARIMI KAVRAMI VE AMACI	7
2.3. DENEY TASARIMI TARİHÇESİ	8
2.4. DENEY TASARIMINDA TEMEL KAVRAMLAR	10
2.5. DENEY TASARIMI İLKELERİ	10
2.5.1. Rassallaştırma	10
2.5.2. Tekrarlama (Yineleme)	10

2.5.3. Bloklama	11
2.6. DENEY TASARIMI ADIMLARI	12
2.6.1. Problemin Tanımlanması	12
2.6.2. Faktör ve Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi	13
2.6.3. Kalite Karakteristiğinin Belirlenmesi	13
2.6.4. Deney Tasarımın Seçilmesi	13
2.6.5. Deneylerin Gerçekleştirilmesi	13
2.6.6. Deney Verilerin İstatistiksel Analizi	13
2.6.7. Sonuçların Yorumlanması	14
2.7. DENEY TASARIMI ÇEŞİTLERİ	14
2.7.1. Klasik Tasarım	14
2.7.2. Faktöriyel Tasarım	14
2.7.2.1. Tam Faktöriyel Tasarım	15
2.7.2.2. Kesirli Faktöriyel Tasarım	15
2.7.2.3. 2^k Faktöriyel Tasarım	16
2.7.3. Yates Deney Tasarımı	17
2.7.4. Plackett-Burman Deney Tasarımı	19
2.7.5. Box-Behnken Deney Tasarımı	20
2.7.6. Shainin Deney Tasarımı	22
2.8. TAGUCHİ DENEY TASARIMI	22
2.8.1. Ortogonal Dizin	24
2.8.2. Taguchi Kayıp Fonksiyonu	27
2.8.3. S/N Oranı	29
2.8.4. Varyans Analizi	30
2.8.5. Taguchi Deney Tasarımı Uygulama Aşamaları	31
2.8.5.1. Faktör ve/veya Faktör Etkileşimlerinin Belirlenmesi	32
2.8.5.2. Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi	32
2.8.5.3. Ortogonal Dizin Seçimi	32
2.8.5.4. Faktör ve/veya Etkileşimlerinin İlgili Sütunlara Yerleştirilmesi	32
2.8.5.5. Deneylerin Gerçekleştirilmesi	32
2.8.5.6. Sonuçların Analizi	33
2.8.5.7. Doğrulama Deneylerinin Gerçekleştirilmesi	33
2.8.6. Taguchi Deney Tasarımı Yöntemine İlişkin Eleştiriler	33
2.8.7. Kaynak	33

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

3.1. AMAÇ VE ÇALIŞMA ALANI	35
3.2. MALZEME TANITIMI	35
3.3. YÖNTEM	36
3.4. UYGULAMA SÜRECİ	36
3.4.1. Problemin Tanımlanması	37
3.4.2. Faktörler, Faktör Seviyeleri ve Kalite Karakteristiği Tespiti	37
3.4.3. Ortogonal Dizim Seçimi	38
3.3.4. Deneylerin Gerçekleştirilmesi	39
3.3.5. Deney Sonuçları ve İstatistiksel Değerlendirme	39
3.3.5.1. Maksimum Çekme Dayanımı Deney Sonuçları	40
3.3.5.2. İzod Çentikli Darbe Dayanımı Deney Sonuçları	44
3.3.6. Doğrulama Deneyleri	48
3.3.7. Deney Sonuçları	49
SONUÇ VE YORUMLAR	50
KAYNAKÇA	52

KISALTMALAR

JIS	Japon Standartlar Enstitüsü
TKK	Toplam Kalite Kontrol
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
RePA6	Geri dönüştürülmüş poliamid 6



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: 7 İstatistiksel Teknik Ve 7 Yeni Teknik	s.6
Tablo 2: 2 seviyeli 4 faktörlü Yates Deney Düzeni	s.18
Tablo 3: Yates Notasyonu Örneği	s.18
Tablo 4: 11 Faktörlü Plackett– Burman Deney Tasarım Matrisi	s.20
Tablo 5: Üç faktör, Üç Seviyeli Box- Behnken Deney Tasarımı	s.21
Tablo 6: Faktör Sayısı ve Seviye Sayısına Göre Ortogonal Dizin Tablosu	s.25
Tablo 7: Dört Faktörlü, Üç Seviyeli L9 Ortogonal Dizin Düzeni	s.26
Tablo 8: Taguchi Sistematiği	s.26
Tablo 9: Bazı Araştırmacılar ve Kullandıkları Deney Tasarımı Yöntemleri	s.346
Tablo 10: Akulon ® N22D Pa6 Teknik Özellikleri	s.35
Tablo 11: PA2(D) kodlu Cam Elyaf Teknik Özellikleri	s.36
Tablo 12: RePA6 Karakterizasyon Tablosu	s.36
Tablo 13: Faktörler ve Faktör Seviyeleri	s.38
Tablo 14: L9 Ortogonal Deney Düzeni	s.38
Tablo 15: Maksimum Çekme Dayanımı Deney Sonuçları Tablosu	s.40
Tablo 16: Faktörlerin Farklı Seviyeler İtibariyle Maksimum Çekme Dayanımı Deney Sonuçları Özet İstatistikleri	s.41
Tablo 17: Maksimum Çekme Dayanımı Değerleri Ortalamalarına Göre Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi	s.42
Tablo 18: Faktörlerin Maksimum Çekme Dayanımı Çıktısı S/N Oranına Göre Etki Tablosu	s.42
Tablo 19: Maksimum Çekme Dayanımı Doğrulama Deney Düzeni	s.43
Tablo 20: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Deney Sonuçları Tablosu	s.44
Tablo 21: Faktörlerin Farklı Seviyeler İtibariyle İzod Darbe Deney Sonuçları Özet İstatistikleri	s.45
Tablo 22: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Değerleri Ortalamalarına Göre Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi	s.46
Tablo 23: Faktörlerin İzod Çentikli Darbe Dayanımı Çıktısına Ait S/N Oranına Göre Etki Tablosu	s.46
Tablo 24: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Doğrulama Deney Düzeni	s.47
Tablo 25: Maksimum Çekme Dayanımı Doğrulama Deneyi Tablosu	s.48
Tablo 26: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Doğrulama Deneyi Tablosu	s.48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Deming Çemberi	s.5
Şekil 2: Üç Ana Yöntemin 1950 -1990 Yılları Arasındaki Kalite Düzeyine Olan Katkısı	s.9
Şekil 3: Deney Tasarımı Adımları	s.12
Şekil 4: Kim Daha İyi Nişancı?	s.23
Şekil 5: Geleneksel ve Taguchi Kayıp Yaklaşımı	s.28
Şekil 6: Maksimum Çekme Dayanımı Çıktısına Ait Ortalamalara Göre Etkiler Grafiği	s.42
Şekil 7: Maksimum Çekme Dayanımı Çıktısına Ait S/N Oranına Göre Etkiler Grafiği	s.43
Şekil 8: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Çıktısına Ait Ortalamalara Göre Etkiler Grafiği	s.46
Şekil 9: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Çıktısına Ait S/N Oranına Göre Etkiler Grafiği	s.47

GİRİŞ

Yüksek kaliteli, maliyeti düşük ürün ve hizmet sunumu günümüzde tüm firmaların temel amacı haline gelmiştir. Bu sebeple firmalar hem kalitesini olumsuz etkileyen unsurları tespit edebilmek hem de kalite geliştirme ve maliyet iyileştirme çalışmalarını yürütmek için istatistiksel deney tasarımı yöntemlerini oldukça kullanmaktadır.

İlk olarak 1920'lerde Sir Ronald Fisher ile başlayan tarım alanındaki deney tasarımı yöntemi günümüzde imalat sektöründe; kalite ve maliyet iyileştirme, ürün ve süreç performanslarını geliştirme gibi alanlarda sıkça kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Deney tasarımı günümüzde, üretim sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

1970'li yıllara kadar Amerika'da üretim alanında kullanımı oldukça az olan deney tasarımı, 1980'lerde Amerika'nın Japon kalitesi nedenlerinin araştırılması üzerine hız kazanmıştır. O dönemlerde deney tasarımı başta Dr. Genichi Taguchi olmak üzere Japonya'da sıkça kullanılmaktaydı. Taguchi deney tasarımı yönteminin üretim alanında kabul görmesini sağlamıştır (Şirvancı. 1997: 14).

1950 ile 1990 yılları arasında; kalite kontrol, istatistiksel proses kontrol ve deney tasarımı yöntemlerinin Amerika ve Japonya'da kalite geliştirmeye olan katkısını, Motorola firmasının kalite grubundan olan K. Bhole ve A. Bhole (2000), "World Class Quality" isimli kitaplarında incelemiş ve karşılaştırmalarını yapmışlardır. Şekil 2 de görüldüğü üzere Japonya'da kalite ilerlemesine en büyük katkısı 1970'ten sonra deney tasarımı yapmıştır. Amerika da ise 1980'ler sonra ivme kazandığı görülmektedir.

Yapılan çalışmaya konu olan plastik kompozit sektörü Türkiye ekonomisinin önemli aktörlerinden biridir. Türkiye'nin bu sektördeki sahip olduğu pazar payına baktığımızda 2015 yılında 1.225 milyar Avro ve 245.000 tonluk hacme (Kompozitçiler Sanayi Derneği,2016: 38); 2018 yılında ise 1.5 milyar Avro ve 280.000 tonluk hacme ulaştığını görüyoruz (Kompozitçiler Sanayi Derneği,2018: 30). Bugünkü üretimi 10 milyon ton ve 35 milyar dolar civarındaki cirosu, 5 milyar dolara yaklaşan direkt ihracatı ve son 10 senede GSMH büyümesini aşan yıllık büyüme ile plastik sektörünün ülke ekonomisine sağladığı katkı giderek artmaktadır. 2019 itibari ile Türkiye, plastik sektöründe Avrupa'da ikinci dünyada ise altıncı sırada yer almaktadır (Pagev: 2019).

Türkiye'nin plastik sektöründeki payının gün geçtikçe artması, dolayısıyla bu artışın devam edebilmesi için kalite-maliyet dengesinin optimizasyonu da önemli hale gelmektedir.

Plastik; beyaz eşya, elektrik -elektronik, otomotiv, ambalaj, boru, mutfak eşyaları, oyuncak, yalıtım malzemesi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Plastik, bir yandan çevre kirliliği yaratması diğer yandan birçok ürün için en ucuz alternatif malzeme olması ile sürekli gündem konusu olmakla beraber günümüzün vazgeçilemez malzemelerinden biri olduğu bir gerçektir.

Birçok farklı ürün çeşidine sahip olan sektörde bu çalışma için birçok farklı sektörde yaygın olarak kullanılan cam fiber takviyeli poliamid 6 ürünü seçilmiş ve üretimi gerçekleştirilen bir firmada firmanın sahip olduğu şartlar göz önüne alınarak ürün maliyetini düşürecek reçete ve bu yeni reçete için optimal proses parametrelerinin tasarlanması amaçlanmıştır.

Ürün maliyetini düşürme çalışmaları plastik malzemenin yarattığı çevre sorununu da azaltmaya yönelik olarak geri dönüşüm plastiğin tekrar kullanımı gerçekleştirilerek yapılması amaçlanmıştır. Böylece hem maliyetin indirgenmesi hem de çevre probleminin azaltılması hedeflenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE VE İSTATİSTİKSEL KONTROL

1.1. KALİTE KAVRAMI

Günümüze kadar birçok kez değişikliğe uğramış olan kalite tanımı, muhtemelen yine yıllarca değişikliğe uğramaya devam edecektir (Andaç, 1996: 1).

Crosb tarafından şartlara uygunluk olarak tanımlanan kalite (Efil, 1996: 6), Juran tarafından kullanıma uygunluk olarak tanımlanmıştır. Deming ise, müşteri isteklerinin geleceğe yönelik yapılan doğru tahminleri sayesinde gerçekleştirilen geliştirmeler şeklinde tanımlamıştır. JIS (Japon Standartlar Enstitüsü) ise kalite tanımını bir ürün veya hizmeti minimum maliyetle sunan ve müşteri isteklerini tamamen karşılayan bir üretim sistemi şeklinde yaparken; Amerikan Kalite Derneği “bir mal ya da hizmetin belirli gereklilikleri karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerin tümüdür” şeklinde tanımlamıştır (Küçük, 2016: 31).

Genel anlamda kalite tanımında barındırılan ana düşünce bir ürün veya hizmetin müşteri istekleri doğrultusunda; belirtilen ürün veya hizmetin tasarımında, kullanımında, fiyatında, teslim süresi ile satış ve satış sonrası hizmet süreçlerinde mükemmellik taşımasıdır. Kalite sadece müşterinin faydalandığı bir ürün veya hizmetin özelliğini gösteren bir unsur olmayıp aynı zamanda bu ürün veya hizmetin nasıl elde edildiğini de gösteren bir işarettir (Küçük, 2016: 32).

1.2. KALİTE KONTROL VE TOPLAM KALİTE KONTROL KAVRAMLARI

Kalite kontrol, olabilecek en ekonomik şekilde müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için üretimin belirli kalite standartları doğrultusunda sürdürülmesini ve böylece mal ile hizmet kalitesinin devamlılığını sağlama işlemidir (Tekin, 1999: 61).

Kalite kontrol yöntemleri genel olarak on-line ve off-line olarak ikiye ayrılmaktadır. On-line kalite kontrol üretim sırasında kullanılan istatistiksel süreç kontrol ve kontrol şemaları gibi yöntemleri içerir. Off-line yöntemler ise üretim süreci dışında kullanılan istatistiksel deney tasarımı ve güvenilirlik testleri gibi yöntemleri içermektedir (Kaya, 2005: 26).

Kalite kontrol, üretimin tüm aşamalarında ve gerekli görülen periyotlarda tekrarlanması veya yapılması istenen işlemler bütünü şeklinde tanımlanabilir.

Süreç anında gerçekleştirilen kalite kontroller on-line yöntemlerdir. Ayrıca ürünün müşteriye ulaştırılmasından sonra kullanım aşamasında da ürün ile ilgili kullanım araştırması yapılarak kalite kontrol işlemi gerçekleştirilebilir (Küçük, 2016: 47). Bu işlem off-line olarak tanımlanan kalite kontrol yöntemi kapsamına girer.

Kontrol eylemi, hem üretimin tüm aşamalarında hem de ürünün müşteriye sunumu ve sonraki aşamalarını da kapsayacak şekilde düşünüldüğünde karşımıza toplam kalite kontrol kavramı çıkmaktadır.

Toplam Kalite Kontrol kavramını ilk kez sunan Freigenbaum'a göre TKK; müşteri memnuniyetini göz önünde bulundurarak ürün ve/ veya hizmetin maliyetini minimum seviyede tutarak gerçekleştirebilmek için, bir organizasyondaki farklı birimlerin kalite geliştirme, kaliteyi koruma ve kaliteyi iyileştirme çabalarını uyumlu şekilde bir araya getiren etkili bir sistemdir (Kovancı, 2001: 4).

Toplam kalite kontrol ile kalite kontrol faaliyeti artık sadece kalite kontrol ve üretim birimlerinin sorumluluğu olmaktan çıkıp organizasyondaki tüm birimlerin sorumluluğu olmakta ve her aşamaya uygulanması gereken bir yapıya dönüşmektedir (Küçük, 2016: 53).

1.3. TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ VE İSTATİKSEL KALİTE KONTROL

Toplam kalite yönetimi; bir yapının tüm üyelerinin katılımını gerektiren, yapının tüm bireylerine ve topluma fayda sağlayan, müşteri memnuniyetini sağlayarak uzun vadeli başarıyı amaçlayan, kaliteyi odak noktası alan bir yönetim felsefesidir.

Toplam kalite yönetimi yaklaşımında hataları ayıklamak yerine hata yapmama düşüncesi benimsenmiş olup dolayısıyla organizasyondaki tüm süreçlerin izlenmesi ve istatistiksel yöntemlerle ölçülmesi gerekliliğini beraberinde getirmiştir (Uyran, 2002: 2). Aşağıda Toplam Kalite Yönetimi (TKY) için gerekli olan maddeler listelenmiştir.

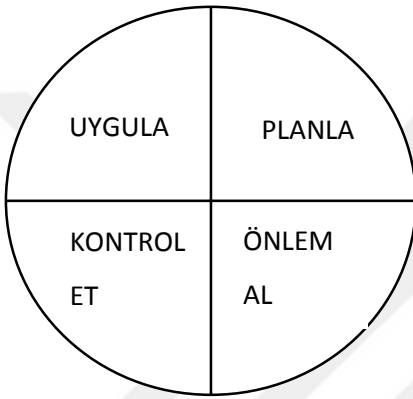
- Üst yönetimin liderliği,
- Müşteri odaklılık,
- Çalışanların eğitimi,
- Takım çalışması,
- Sürekli iyileştirme.

Genel anlamda baktığımızda aslında temel unsur sürekli iyileştirme ve geliştirme faaliyetleridir. Yukarıda sıralanmış olan ilk dört unsur aslında sürekli

iyileştirme faaliyetlerinin gerçekleşmesine hizmet eder (Şirvancı, 1997: 11). Sürekli iyileştirme faaliyetlerinde Deming çemberi veya PUKÖ çevrimi temel alınır.

PUKÖ çevrimi; süreçlerin işletilmesinde, müşteri beklenti ve ihtiyaçları göz önünde bulundurularak yapılan planlamaların uygulanması, sonuçlarının kontrol edilmesinden sonra gerekli önlemlerin alınmasını özetleyen böylece süreçlerin sürekli gözden geçirilmesi ve iyileştirilmesini sağlayan sistemattir (Küçük, 2016: 96). Deming (PUKÖ) çemberi aşağıda Şekil 1 de gösterilmiştir.

Şekil 1: Deming Çemberi



Deming çemberinin ilk iki adımı olan “Planla” ve “Uygula” aslında bir değişikliğin planlanıp uygulanmasını yani bir deney yapılmasını tavsiye eder. Koşulları değiştirerek üründe oluşan farklılıklar incelenir ve ideal olan durum saptanır. Bu deneyler basit olduğunda pareto analizi, balık kılıcı yöntemi, histogram, çetele tablosu, kontrol çizelgeleri gibi yöntemler yeterli olabilmektedir. Ancak söz konusu ürün ve proses tasarımı olduğunda işler karmaşık hale gelmektedir. Böyle durumlarda istatistiksel olarak hazırlanan deney tasarımlarını kullanmak gerekecektir. Böylece ekonomik bir şekilde birçok parametrenin hem ayrı ayrı hem de bütünleşik etkilerini inceleme şansı doğmaktadır (Şirvancı, 1997: 13).

1.4. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL

Bir organizasyonun tüm süreçlerinin her bir aşamasında uygulanabilen istatistiksel kalite kontrol yöntemleri; maliyet indirgeme, girdilerin kalitesini yükseltme, ürün kalitesinin iyileştirilmesi, müşteri ilişkilerinin geliştirilmesi gibi birçok konuda önem taşımaktadır (Aydın, 2018: 46).

Teknoloji ne kadar ilerlemiş olursa olsun günümüzde halen değişkenliğin tamamen önüne geçebilmiş değiliz. Durum böyle olunca önüne geçemediğimiz bu değişkenliklerin etkilerini bilmek büyük önem taşımaktadır. İstatistiksel kalite kontrol ve yöntemleri tam da bu noktada yardımımıza koşmaktadır. Bu yöntemlerle her bir değişkenliğin ürün veya hizmet kalitesi üzerindeki etkilerini ölçmek mümkündür (Aydın, 2018: 46).

Verilerin elde edilebilir olması durumunda karmaşık istatistiksel değerlendirmelere gerek kalmadan uygulanabilecek 7 temel araç (7 istatistiksel teknik) ve 7 yeni araç veya 7 yeni teknik olarak bilinen, kalite kontrol veya kalite iyileştirme teknikleri olarak adlandırılan istatistiksel kontrol yöntemlerin aşağıda Tablo 1 de gösterilmiştir. Bu yöntemler sürekli geliştirilmekte olup yeni yöntemler keşfedilmeye devam edilmektedir.

Tablo 1: 7 İstatistiksel Teknik ve 7 Yeni Teknik

7 İstatistiksel Teknik	7 Yeni Teknik
1- Histogramlar	1- Ağaç Diyagramları
2- Pareto Analizi	2- Matris Diyagramı
3- Grafikler	3- Matris Veri Analizi
4- Neden- Sonuç Diyagramları	4- İlişki Diyagramı
5- Kontrol Tabloları	5- Ok Diyagramı
6- Dağılım Diyagramları	6- Süreç Karar Program Tablosu
7- Kontrol Çizelgeleri	7- Yakınlık Diyagramı

Kaynak: Küçük, 2016 :117-134

Problemin çözümünü ışık tutacak verilere sahip olmak için deneyler yapmamız gerektiğinde deney tasarımlarını kullanmamız gerekecektir. Bir sonraki bölümde deney tasarımı açıklanmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

DENEY TASARIMI VE TAGUCHİ YÖNTEMİ

2.1. DENEY KAVRAMI

Bir hipotezin doğruluğunu kanıtlamak veya çürütmek, ya da yeni bir bilgi edinmek amacıyla yapılan planlı sorgulama metoduna deney denilmektedir (Öztop, 2007: 36). Deneyler bir ürün, süreç veya hizmetin geliştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu geliştirme süreci iki türlü olabilmektedir.

Birincisi; geliştirilmek istenen kalite karakteristiğini en iyi noktaya getirecek parametrelerin tespit edilmesidir. İkincisi; ise eşdeğer kaliteyi verecek alternatif yöntemi, malzeme veya tasarımın bulunmasıdır (Taylan, 2009: 13).

Deneyler bazen iki ortalamanın karşılaştırılması ile sonuçlanabilecek çalışmalar olabileceği gibi bazen de karmaşık mühendislik ve bilimsel uygulamalar içerebilmektedir. Böyle karmaşık yapılardaki çalışmalarda deneylerin istatistiksel bir yaklaşımla tasarlanması gerekmektedir.

2.2. DENEY TASARIMI KAVRAMI VE AMACI

Deney tasarımı, süreçlerin performanslarını iyileştirmek ve geliştirmek için süreci etkileyen faktörlerde değişiklikler yaparak, çıktı üzerindeki etkilerini incelenmesi ve yorumlanmasıdır (Demir, 2004: 7).

Deney tasarımında amaç; kontrol edilebilen faktörleri, ilgilenilen değişkeni istenen seviyeye getirmek için optimal seviyelerini tespit etmek ve mümkün olduğunca kontrol edilemeyen faktörlerden (gürültü) bağımsız hale getirmektir (Şirvancı,1997: 12).

Kalitenin sağlanmasına engel olan faktörler başta ürün ve proses şartları, tedarikçilerden sağlanan ara ürün veya hammaddelerdeki yetersizlikler, üretim personeli hataları olarak sıralanabilir. Ortaya çıkan kalite düşüklüğü satışlara olumsuz olarak yansır. Doğru deney tasarımı gerçekleştirilerek yapılan çalışmalar sonucunda ürün ve prosesteki sapmalar minimize edilir ve bu olumsuzluk giderilebilir (Taptık ve Keleş; 1998: 12).

Günümüz rekabet koşulları işletmelere ürün ve proses şartlarını sürekli iyileştirebilmeleri için bir takım sistematik çalışmaları zorunlu kılmıştır. Sürekli iyileştirmek istenen başlıklar arasında; müşteri odaklılık, kaynak yönetimi,

Çalışanların niteliklendirilmesi ve teknolojik gelişmelere uyum sağlamaktır (Taptık ve Keleş, 1998: 12).

Kalitede srekliiliği sağlamak, amaçlanan kalite seviyesine ulaşmayı sağlayacak ürün ve prostedeki değişkenliğe sebep olan faktörlerin optimize edilmesi ve bu değerlerin sağlanması ile gerçekleştirilebilir.

İstatistiksel deney tasarımı ile birlikte kontrol edilebilen veya kontrol edilemeyen tüm değişkenlerin ürün ve ürün performansına olan etkileri belirlenebilir (şirvancı, 1997: 13).

Deney tasarımı yöntemleri işletmelere minimum maliyet ve minimum zaman ile sonuçlar verdiğinden işletmelerin çokça başvurduğu yöntemlerdir. Ancak seçilen yöntemin doğruluğu, doğru sonuçlara ulaşabilmek için çok önemlidir. Doğru yöntem seçilmiş olsa dahi doğru sonuçlara ulaşılacağının garantisi bulunmamakta olup deneylerin tekrarlanması gerektirecek durumlar yaşanabilir. Deneylerin tekrarlanmasının ek maliyet ve ek zaman ihtiyacı getireceği unutulmamalıdır. Bu sebeple deney tasarımı seçimi ve deneylerin gerçekleştirilmesi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır (Mercan, 2019:16).

Deney tasarımının amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Taylan, 2009: 13);

- ıktı zerindeki en etkili girdi faktörünün tespiti,
- En uygun çıktı değerlerini elde etmek için etkili girdilerin sahip olması gereken değerlerin tespiti,
- ıktı değerindeki varyansı minimize edecek girdi faktörlerinin değerler tespiti,
- Kontrol edilemeyen faktörlerin çıktı üzerindeki etkisini minimum değerde tutabilmek için girdilerin alması gereken değerlerin saptanmasıdır.

2.3. DENEY TASARIMI TARİHÇESİ

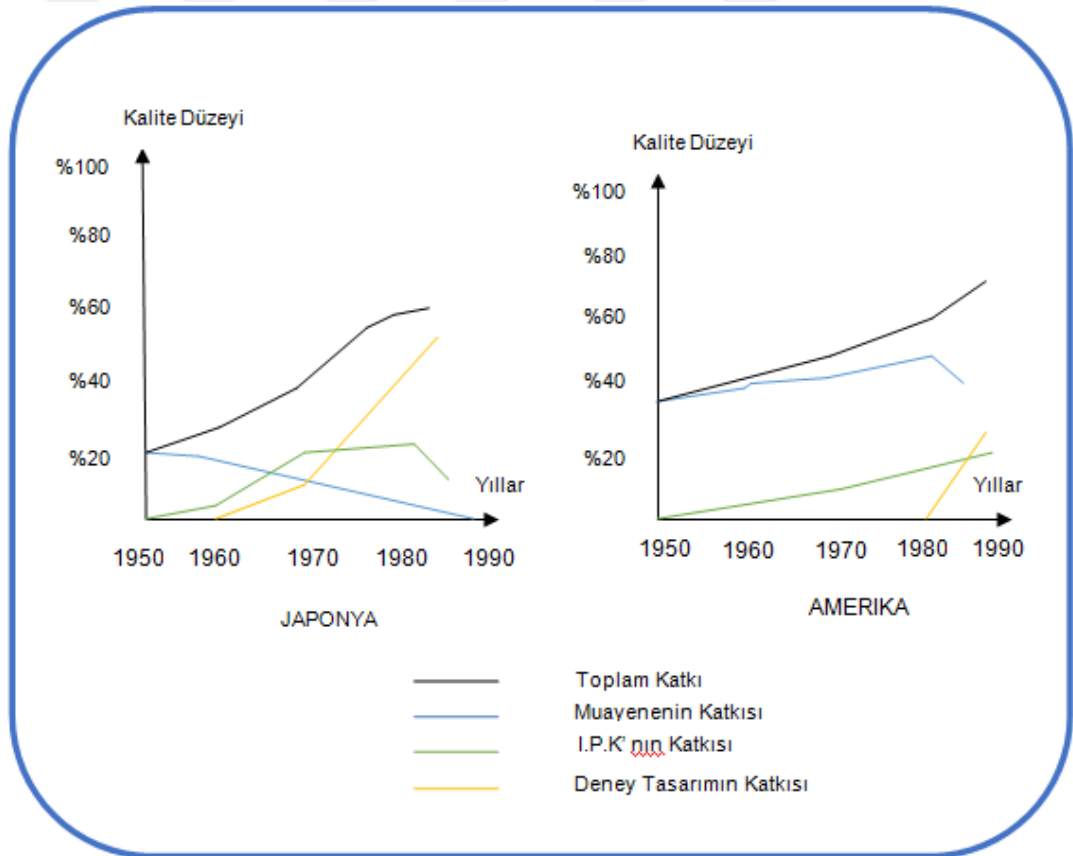
İstatistiksel deney tasarımı, istatistik bilimi için önemli olan insanlardan biri olan Sir A. Ronald Fischer tarafından 1920’li yıllarda tarım alanında çalışmalar yaparken bulunmuştur (Bisgaards, 1992: 547). Farklı gübre ve dozları ile sulama düzeyleri ve iklim koşullarının farklı ürünlerdeki etkilerini incelemek üzere uygulanan yöntemler, Amerika’nın bu alanda en iyi konuma gelmesini sağlamıştır (şirvancı, 1997: 13).

1970’li yıllara kadar Amerika’da üretim alanında kullanımı oldukça az olan deney tasarımı, 1980’lerde Amerika’nın Japon kalitesi nedenlerini araştırması

üzerine hız kazanmıştır. O dönemlerde özellikle kimya ve ilaç sektöründe kullanılan deney tasarımı, başta Dr.Genichi Taguchi olmak üzere Japonya'da sıkça kullanılmaktaydı. Taguchi deney tasarımı yönteminin üretim alanında kabul görmesini sağlamıştır (Şirvancı, 1997: 14).

1950 ile 1990 yılları arasında; kalite kontrol, istatistiksel proses kontrol ve deney tasarımı yöntemlerinin Amerika ve Japonya'da kalite geliştirmeye olan katkısını, Motorola firmasının kalite grubundan olan K. Bhot ve A. Bhot (2000), "World Class Quality" isimli kitaplarında incelemiş ve karşılaştırmasını yapmışlardır. Şekil 2 de görüldüğü üzere Japonya'da kalite ilerlemesine en büyük katkıyı 1970'den sonra deney tasarımı yapmıştır. Amerika da ise 1980'ler sonra ivme kazandığı görülmektedir.

Şekil 2: Üç Ana Yöntemin 1950 -1990 Yılları Arasındaki Kalite Düzeyine Olan Katkısı



Kaynak: Şirvancı, 1997:13

2.4. DENEY TASARIMINDA TEMEL KAVRAMLAR

Aşağıda deney tasarımıyla karşılaşılacak temel kavramlardan bazıları açıklanmıştır (Gencer, 2007:21).

Performans (kalite) karakteristiği: Respons, çıktı veya kalite değişkeni olarak da tanımlanabilir. Süreçte iyileştirilmeye çalıştırılan değişkendir.

Faktör: Kalite karakteristiği değerinde farklılık yaratan, bağımsız değişken olarak da tanımlanabilen kontrol edilebilir değişkenlerdir.

Seviye: Çıktı değerinde farklılık yaratabilecek olan faktörlere deney esnasında uygulanacak değerlerdir.

Etki: Seviyelerin değişmesi ile çıktı üzerinde oluşan değişikliklerdir.

Gürültü: Çıktıyı etkileyen fakat faktör olarak kabul edilmemiş değişkenlerdir.

Hata: Deney sonuçlarının gözlenmesi esnasında oluşan sapmalardır.

2.5. DENEY TASARIMI İLKELERİ

Ronald A. Fischer tarafından geliştirilen deney tasarımıyla önemli üç temel ilkesi vardır. Bunlar; Rassallaştırma, Tekrarlama ve Bloklama ilkeleridir (Çelik, 1993: 117). Bu ilkeler aşağıda açıklanmıştır.

2.5.1. Rassallaştırma

Rassallaştırma deney esnasında faktör seviyelerinin atanma sırasının tesadüfi şekilde seçilmesiyle gerçekleştirilebilir. Rassallaştırma sadece bu aşamada değil deney verilerinin elde edilmesi ve verilerin analizi aşamasında kullanılacak istatistiksel teknikler için de uygulanmalıdır (Özdamar, 2009: 55).

Genel anlamda üç çeşit rassallaştırma söz konusu olmaktadır. Bunlar; “tamamen rassallaştırma”, “basit tekrarlama” ve “blok içinde rassallaştırma” olarak adlandırılmaktadır.

2.5.2. Tekrarlama (Yineleme)

Deneylerin birden fazla yapılmasına tekrarlama denir. Tekrarlamalar deney hatasının ölçümü için yapılmaktadır. Hata, tesadüfler ve kontrol edilemeyen faktörler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Aynı teste tabi tutulan numune sayısı iki veya daha

fazla olması halinde deney tekrarlanmıştır. Hata sonuçlarındaki olası dış etmenlerin etkisi tekrarlama ile fark edilmektedir. Tekrarlama olmadan yapılan deneylerde değişkenlik belirlenemez (Antony, 2003:46).

Tekrarlama, araştırmacıya deneysel hataların giderilmesi için bir fırsat verdiği gibi örnek küme ortalamasının, deney tasarımında bulunan faktörlerden herhangi birinin etkisini tahmin etmek için kullanılması durumunda, araştırmacıya daha güvenilir sonuçlar sunar (Antony, 2003: 46).

Deneysel bir araştırmanın sahip olduğu kesinlik derecesinin uygun olması önemlidir. Deneydeki tekrarlama sayısının artırılması istatistiksel anlamlılık testinin kesinliğini arttırmayı sağlar. Tekrarlama sayısını gereğinden fazla tutmak maliyetleri arttıracığı için tercih edilmezken diğer yandan istatistiksel açıdan anlamlılık bulunmayacak kadar da az tutmak sonuçlar üzerinde daha dar kapsamda yorum yapılmasına imkan sağlayacağından en uygun tekrarlama sayısını bulmak deney sonuçlarının geçerliliğini arttırmak için gereklidir (Tague, 2005:558).

2.5.3. Bloklama

Bloklama, deney hassasiyetini güçlendirmek üzere kullanılan, faktörler arasındaki ilişkileri karşılaştırma amacıyla kullanılan, deney gruplarının parçalara ayrılması yöntemidir. Bloklamada daha homojen gruplarla denemeler yapılarak deneysel hatanın küçültülmesi sağlanır (Şanyılmaz, 2006:6). Bloklama işleminde amaç, kontrol edilemeyen faktör etkilerini minimize etmek ve her blokta homojenlik sağlamaktır.

Her bloktaki faktör ve seviyelerin atanmasında rassalaştırma ilkesi kullanılır. Bloklama ilkesinin uygulanmasıyla bloklar arası farklılıklar hatalardan uzaklaştırılarak arındırılarak deney hassasiyeti artırılmış olur. Aynı birimlerden oluşturulmuş olan bloklar, aynı şartlara sahip faktör ve seviyeleri arasında karşılaştırılma yapma imkanı sağlar (Şanyılmaz, 2006:7).

Deney tasarımlarında kaba bir kural olarak, uygulamada bloklara ayrılabilen deneyler bloklanır, bloklanamayanlar için daha fazla rassalaştırma uygulanarak deney hassasiyeti artırılmaya çalışılır (Şanyılmaz, 2006:7).

2.6. DENEY TASARIMI ADIMLARI

Deney tasarımı Şekil 3’de görüldüğü gibi yedi aşamadan oluşmaktadır. Önce problem net bir şekilde açıklanır. Daha sonra probleme sebep olan veya olması muhtemel tüm faktörler belirlenir. Kontrol edilebilir faktörler için çalışma seviyeleri belirlenir. Kalite karakteristiği/ karakteristikleri belirlenir. Uygun deney tasarımı seçilir, oluşturulur ve uygulamaya alınır. Deneyler gerçekleştirildikten sonra verilere ait istatistiksel analizler gerçekleştirilir. Son olarak sonuçlar yorumlanır. Aşağıda bu adımlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Şekil 3: Deney Tasarımı Adımları



2.6.1. Problemin Tanımlanması

Deneylerin yapılmasına konu olacak problemin net olarak belirlenmesi deney tasarımından doğru bir netice alabilmek için çok önemlidir. Görünen problem ve/veya problemlerin içerisinde temel sorunu tespit edebilmek için pareto analizi, balık kılıcı yöntemi gibi çeşitli kalite araçlarında faydalanmak mümkündür (Şirvancı, 1997: 110).

Problemin tanımlanabilmesi için ilk olarak kalite (performans) göstergesinin veya göstergelerinin tespit edilmesi gerekir. Problemin belirlenmesi aşamasında deneyin amacı ile ilgili tüm fikirler ortaya dökülmelidir.

2.6.2. Faktör ve Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi

Problem tanımlandıktan sonra yapılması gereken ilk adım tasarıma konu olan sürecin sonucunu etkileyecek faktör ve faktör seviyelerinin tanımlanması olacaktır. Faktör ve faktör seviyeleri geçmiş çalışmalar ile bu konuda yetkin kişiler ve araştırmacının bilgi birikimi göz önünde bulundurularak uygun aralıklarda seçilmelidir (Şanyılmaz, 2006: 45).

2.6.3. Kalite Karakteristiğinin Belirlenmesi

Kalite karakteristiği, söz konusu sürecin veya ürünün kalitesini belirleyen özellik veya özellikleridir. Kalite karakteristiği iki ya da daha fazla olacak şekilde seçilmesi durumunda analizler birbirinden ayrı olarak incelenmelidir ve gerekli ise sonuçlar bir ağırlık çarpanı ile birleştirilebilir. Kalite karakteristiği seçilirken prosesin veya ürünün niteliği, tüketici beklentileri ve ürünün kullanım amaçları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu karakteristiğin ölçümleri mümkün olduğunca sık yapılmalıdır (Öztop, 2007:36).

2.6.4. Deney Tasarımın Seçilmesi

Deney tasarımı seçimi maliyet, örnek büyüklüğü, deneylerin yapılış sırası ve örneklem büyüklüğü göz önüne alınarak gerçekleştirilmelidir. Sadece maliyeti göz önünde bulundurarak yetersiz sayıda deney içeren tasarımları tercih etmek istatistiksel değerlendirmeler için yeterli olmayacağından doğru seçim yapmak önemlidir.

2.6.5. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Tasarlanan deneylerin yapılması aşamasıdır. Deneyler imkanların elverdiği koşullarda mümkün olduğunca rassallaştırma ilkesi dahilinde yapılmalıdır.

2.6.6. Deney Verilerin İstatistiksel Analizi

Kalite karakteristiğine istenilen yönde etki eden faktör ve/veya etkileşimlerin tespit edildiği adımdır. Verilerin analizinde sıralama metodu, gözlem metodu sütun

etkileri metodu, grafiksel metot ve varyans analizi metodu kullanılabilir. Taguchi, sütun etkileri modelini tavsiye etmektedir.

2.6.7. Sonuçların Yorumlanması

Bu adım, bir önceki adımda gerçekleştirilen deneysel verilerin istatistiksel analiz sonuçlarının yorumlandığı bölümdür. Yapılan yorumlara bağlı olarak doğrulama deneyi yapılmasına karar verilebileceği gibi, söz konusu deney tasarımının uygun olup olmadığına da karar verilir. Gerekirse deney tasarımı yeniden yapılarak yeni tasarıma göre deneyler tekrarlanır.

2.7. DENEY TASARIMI ÇEŞİTLERİ

Günümüze kadar birçok deney tasarımı yöntemi geliştirilmiş olup ortaya atılan yöntemlerin birkaçı aşağıda sıralanmıştır. Taguchi deney tasarımı 2.7 maddesinden ayrı olacak şekilde ele alınmıştır.

2.7.1. Klasik Tasarım

Bu yöntem geliştirilmiş olan ilk tasarım olmakla beraber faktörlerden birinin üzerinde belirlenmiş aralıklarla değişiklikler yapılarak diğer faktörlerin sabit tutulması mantığına dayanır. Böylece her bir yapılan değişikliğin çıktı üzerindeki etkisi incelenebilmektedir. Bu tasarım uzun süre kullanılmış ancak faktör sayılarının arttığı sektörlerde kullanımı gün geçtikçe zorlaşmış ve doğru sonuçlar verme olasılığı azalmıştır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 71).

2.7.2. Faktöriyel Tasarım

En az iki faktörün temel etkileri ile etkileşim etkilerini eş zamanlı olarak araştırmak için kullanılan yöntemdir (Özdemir, 2018:12). Bahsedilen ana etki; herhangi bir faktörün tek başına yarattığı sonuçlar anlamına gelirken etkileşim etkisi ise minimum 2 faktörün uygulanan kombinasyonlarının etkileşimlerinin sonuçlarıdır.

Tüm faktörlerin bütün kombinasyonlarını içeren deneylerle birden fazla faktör etkileri eş zamanlı olarak incelenebilmektedir (Uslu; 2007:536). Faktöriyel tasarımda her bir faktörün tüm seviyelerine ilişkin deney yapıldığı için faktörler arası etkileşim

de gözlenebilmekte ve bu sebeple de başta mühendislik ve endüstri alanında oldukça tercih edilmektedir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009:73).

Örneğin E ve G faktörleri için sırasıyla 2 ve 3 seviyeler olduğunu düşünürsek ve bu seviyeleri E1, E2 ile G1, G2, G3 olarak gösterirsek yapılması gereken deneyler;

E1G1 E1G2 E1G3

E2G1 E2G2 E2G3

2X3 =6 adet olmalıdır.

2.7.2.1. Tam Faktöriyel Tasarım

Birden fazla faktör ve seviyeye sahip deneylerin tüm faktörlerin tüm seviyelerine yani mümkün olan tüm deneylerin gerçekleştirildiği tasarımlardır (Şanyılmaz, 2006:22). Yapılması gereken deney sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

a: faktör seviye sayısı

k: faktör sayısı olma üzere

a^k şeklindedir.

Örneğin; 2 seviyeli 5 faktörlü bir deneyin tam faktöriyel tasarım ile yapılacak deney sayısı $5^2= 25$ adettir.

Tam faktöriyel deney tasarımı ile muhtemel tüm olasılıklara ait sonuçların gözlenebilmesi bir avantaj oluştururken diğer tasarım türlerine göre daha maliyetli ve daha çok zaman alıyor olması bir dezavantaj oluşturmaktadır (Şanyılmaz, 2006:22).

2.7.2.2. Kesirli Faktöriyel Tasarım

Tam faktöriyel deney tasarımı için, tüm olasılıklara ait deneyler gerçekleştirildiği için zaman ve maliyet açısından en çok giderin olduğu deney tasarımı yöntemi olduğu söylenebilir. Kesirli faktöriyel tasarımı ile, gerçekleştirilecek deney sayısı orantılı bir şekilde azaltılarak maliyet indirgenebilmektedir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009:74). Kesirli faktöriyel deney tasarımı aşağıda verilen durumlarda tercih edilebilir:

- Tam faktöriyel deney tasarımı için harcanması gereken zaman ve maliyete sahip değinirse veya bu gider azaltılmak isteniyorsa.
- Yüksek dereceli etkileşimlerin önem arz etmediği düşünülüyorsa.

Uygulanacak deney sayısı, faktör ve/veya seviye sayısına göre değişebileceği gibi etkileşim ve kullanım koşullarına göre de değişebilir. Örneğin tam faktöriyel deney sayısına göre 1/2 veya 1/4 şeklinde deney sayısı azaltılabilir (Özdemir, 2018:16).

Örneğin faktör sayısı 4, seviye sayısı 2 olan bir tam faktöriyel deney tasarımında yapılması gereken deney sayısı $2^4 = 16$ dır. Bu deneylerden 4 tanesi ana etki değerleri etkileşim etkisidir ve toplamda 15 adet etki vardır.

Kesirli deney tasarımı ile bu deney sayısı 1/2 veya 1/4 oranında azaltılabilir. Toplam uygulanacak deney sayısı adedi maksimum faktör sayısından bir eksik olacak şekilde düşürülebilir (Şirvancı, 1997:43).

2.7.2.3. 2^k Faktöriyel Tasarım

Tüm faktörlerin iki seviyeli olarak inceleneceği koşullarda uygulanan tasarımıdır. Burada;

2: Seviye sayısı

k: Faktör sayısıdır.

Örneğin E ve G faktörleri için 1 ve 2 seviyelerine ait tasarım k:2 olması sebebi ile; $2^2 = 4$ deney yapılmalıdır:

E1G1 E1G2

E2G1 E2G2

2^k faktöriyel tasarımın matematiksel modeli aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \tau\gamma_{ij} + \epsilon_{ijk}, \quad i=1, 2 \quad j=1, 2 \quad k=1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

Faktörlerin ana etkileri ve faktörlerin etkileşimlerinin etkilerinin anlamlı olup olmadığı irdelenir. Hipotezler;

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 \quad (H_0 : E \text{ ana etkisi anlamlı değildir.}) \quad (2.2)$$

$$H_1 : \tau_1 \neq \tau_2 \quad (H_1 : E \text{ ana etkisi anlamlıdır.})$$

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 \quad (H_0 : G \text{ ana etkisi anlamlı değildir.}) \quad (2.3)$$

$$H_1 : \gamma_1 \neq \gamma_2 \quad (H_1 : G \text{ ana etkisi anlamlıdır.})$$

$$H_0 : \tau\gamma_{11}=\tau\gamma_{12}=\tau\gamma_{21}=\tau\gamma_{22} \text{ (} H_0 : \text{EG etkileşimi anlamlı değildir.)} \quad (2.4)$$

$$H_1 : \tau\gamma_{11}\neq\tau\gamma_{12}\neq\tau\gamma_{21}\neq\tau\gamma_{22} \text{ (} H_1 : \text{EG etkileşimi anlamlıdır.)}$$

Denklem ile hipotezler oluşturulduktan sonra varyans analizi (ANOVA) tablosu oluşturularak F değerlerine bakılır ve hipotezler için karar verilir (Özdemir,2018:16). Yapılan deney tasarımı ile daha önceden elde edilmiş veriler, daha sonra oluşturulacak tasarımlarda kullanılabilir. 2^k faktöriyel deney tasarımı kullanımının sağlayacağı kolaylıklar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Sonuçları gözlemek için daha az sayıda deney yapma imkânı sağlar.
- Hesaplanması kolaydır.
- Deneyler gerçekleştirilirken olası deney hataları engellenebilir.
- Faktör değişikliklerinin sonuç üzerindeki etkisi hakkında öngörü sağlayabilir (Özensoy, 1982:27).

2.7.3. Yates Deney Tasarımı

Yates deney tasarımı; faktörlerin ana ve etkileşimlerinin etkilerinin tespit edilmesi amacıyla 2 faktöriyel deney tasarımı aracılığıyla geliştirilmiş bir tasarımıdır. Yates deney tasarımı yöntemiyle oluşturulmuş deney düzeninde istatistiksel olarak faktör etkileşimleri birbirinden bağımsız olarak analiz edilebilmektedir. Ancak bu deney tasarımında her bir faktör için iki seviyenin bulunuyor olması değişimin nasıl bir eğri çizerek devam edeceğini görmemize engel olmaktadır. Bu sebeple faktör seviyelerinin doğru belirlenmesi çok önemlidir (Özensoy, 1992:29). Aşağıda Tablo 2 de bu tasarım türüne ait “Yates düzeni” denilen, 2^4 Yates düzeni tablosu yer almaktadır.

A, B, C, D faktörlerdir.

(-) düşük seviyeler,

(+) yüksek seviyeleri ifade etmektedir.

Tablo 2: 2 seviyeli 4 faktörlü Yates Deney Düzeni

Yates Kodu	A	B	C	D
(1)	-	-	-	-
a	+	-	-	-
b	-	+	-	-
ab	+	+	-	-
c	-	-	+	-
ac	+	-	+	-
bc	-	+	+	-
abc	+	+	+	-
d	-	-	-	+
ad	+	-	-	+
bd	-	+	-	+
abd	+	+	-	+
cd	-	-	+	+
acd	+	-	+	+
bcd	-	+	+	+
abcd	+	+	+	+

Kaynak: Topçu, 2018:18

Yates tasarımı uygulanırken öncelikle deney faktörleri ve seviyeleri belirlenmelidir. Daha sonra Yates notasyonu oluşturulur. Yates notasyonu örneği Tablo 3 de gösterilmiştir.

Tablo 3: Yates Notasyonu Örneği

Faktörler	Faktör Kodu	Yates Sembolü	Düşük Seviye Değeri (-1)	Orta Seviye Değeri (0)	Yüksek Seviye Değeri (1)
A	X_1	A			
B	X_2	B			
C	X_3	C			
D	X_4	D			

Kaynak: Topçu, 2018:19

Tablo 3 de örneği verildiği şekilde ilk olarak Yates deney düzeni oluşturulur, ardından deneyler gerçekleştirilir ve sonuçlar yorumlanır. Böylece optimizasyon faktörleri belirlenmiş olur (Topçu, 2018: 21).

2.7.4. Plackett-Burman Deney Tasarımı

Birçok bağımsız değişken içerisinde sonuç üzerinde anlamlı farklılık yaratan değişkenlerin tespit edilmesi amacıyla kullanılan bir deney tasarımı yöntemidir. Tasarımın karmaşık olmasına rağmen diğer deney tasarımı türlerine göre daha az sayıda deney yapmaya imkan sağlaması, Plackett- Burman deney tasarımı yöntemine avantaj sağlayarak sıkça başvurulmuş bir yöntem olmasını sağlamıştır (Rekab ve Shaik, 2005:15).

Tasarım, 1946 Plackett ve Burman tarafından 1946 yılında iki seviyeli kesirli faktör tasarımı olarak geliştirilmiştir. Bu deney tasarımında toplam deney sayısı dördün bir katı olmakla beraber; toplam faktör sayısından en az bir sayı fazladır ve deney sayısı aynı zamanda ikinin de katı olmayan bir sayıdır (Montgomery, 2005: 296). Örneğin otuz iki faktör sayılı bir Plackett- Burman deney tasarımında 36 deney yapılır.

Plackett-Burman deney tasarım yönteminin oldukça etkin bir yöntem olmasına karşın iki faktör etkileşimleri ana faktör etkileşimleri ile birlikte gözlemlendiği için ikili faktör etkileşimlerinin anlamlı olmadığı varsayıldığı zamanlar kullanılmalıdır. Bir başka ifade ile; Plackett- Burman deney tasarımında ikili faktör etkileşimler ihmal edilmektedir.

Bu sebeple bu deney tasarımı yöntemi çoğunlukla değişkenlerin sonuç üzerindeki etkilerinin anlamlı ya da anlamsız olduğunu tespit etmek için kullanılır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile belirlenen anlamlı değişkenler bir sonraki aşamaya ait deney tasarımlarında kullanılır (Plackett ve Burman, 1946:310). Aşağıda Tablo 4 de 11 faktörlü bir örneğe ilişkin Plackett- Burman deney tasarımı matrisi yer almaktadır.

Tablo 4: 11 Faktörlü Plackett– Burman Deney Tasarım Matrisi

Deney	Faktörler										
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
1	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+
2	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-
3	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+
4	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+
5	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+
6	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-
7	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-
8	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-
9	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+
10	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-
11	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Kaynak: Yerlikaya, 2013: 7

Temelini Hadamard matrislerinin oluşturduğu bu deney tasarımına ait verilerin açıklaması birinci dereceden polinomiyal modelle gerçekleştirilir:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i \quad (2.5)$$

Formüldeki Y bağımlı değişken değerini, β_0 sabit katsayı değerini, β_i faktör katsayılarını, X_i faktörleri temsil etmektedir (Khan ve diğerleri, 200:147).

2.7.5. Box-Behnken Deney Tasarımı

Bu tasarım Box-Behnken tarafından 1960 yılında, deney faktörlerinin tümünün üç seviyeli olarak tasarlanması temeli ile oluşturulmuştur (Demir ve diğerleri, 2017: 221). Faktör sayısının az olması durumunda tercih edilen bir yöntemdir (Box ve Behnken, 1960:460). Tablo 5 de üç faktöre sahip ve üç seviyeli bir örneğe ilişkin Box-Behnken deney tasarımı şablonu yer almaktadır.

Tablo 5: Üç faktör, Üç Seviyeli Box- Behnken Deney Tasarımı

Deneyler	Faktörler		
	X	Y	Z
1	-	-	0
2	+	-	0
3	-	+	0
4	+	+	0
5	-	0	-
6	+	0	-
7	-	0	+
8	+	0	+
9	0	-	-
10	0	+	-
11	0	-	+
12	0	+	+
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Kaynak: Yerlikaya, 2013: 9

Tabloda X,Y ve Z harfleri faktörleri, -, 0 ve + işaretleri ise seviyeleri temsil etmektedir:

- : Düşük seviye
- 0 : Orta seviye
- + : Yüksek seviye

Tablo 5'teki deney düzeni incelendiğinde tüm faktörlerin üç seviye aldığını görülmektedir. Tablo 5'te bulunan her bir deneyde 2 faktör düşük veya yüksek yani üst ve alt seviyelere sahipken bir tanesi daima orta düzeyde kalmıştır. Bu deney düzeninin, bir üç faktörlü tam faktöriyel deney tasarımının alt kümesi olduğu görülmektedir (Demir ve diğerleri, 2017: 221).

Box- Behnken deney tasarımında tüm faktörlere ait en yüksek ve en düşük değerlerin bir arada uygulanması deneylerin yapılabilirliğini arttırmakta böylelikle avantaj sağlamaktadır. Bu nokta söz konusu deney tasarımı modelinin tercih edilme sebeplerinden biridir.

Box- Behnken deney tasarımı uygulananacak deney sayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$N = 2k(k - 1) + C_0 \quad (2.6)$$

N: Deney sayısı

k: Faktör sayısı

C₀: Merkez nokta sayısı

2.7.6. Shainin Deney Tasarımı

Amerikalı bir kalite danışmanı olan Dorian Shainin tarafından geliştirilmiş bir tasarımıdır. Yöntem kalite karakteristiği sonucu üzerinde önemli değişikliğe sebep olan faktör/ faktörlerin tespit edilmesine dayanır. Shainin deney tasarımı kullanılan 10 araç onu diğer tasarımlardan farklı kılan noktadır. Faktörler yeşil, kırmızı ve pembe olarak adlandırılır. Buna göre:

Yeşil Y: İncelenen kalite karakteristiğidir. Yanıt değişkeni olarak da tanımlanabileceği gibi aslında sorunun kendisidir.

Kırmızı X: Kalite karakteristiği yani Yeşil Y çıktısında en önemli varyasyona sebep olan faktördür. Kırmızı X, sorunun %50'sine sebep olan faktördür.

Pembe X: Soruna sebep olan ikinci faktördür. Bu faktör sorunun yaklaşık %20- %30 'una sebep olmaktadır.

Soluk Pembe X: Sorunun yaklaşık %10- %15'ine sebep olan üçüncü faktördür (Aksu, 2010:52)

Yukarıda da görülebileceği üzere aslında Yeşil Y'nin meydana gelmesine sebep olan belki onlarca farklı faktör olmasına karşın; Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X'in ortadan kaldırılmasıyla Yeşil Y'ye sebep olan nedenlerin %75-%90 oranında çözümlenmiş olacaktır (Aksu, 2010:53).

Taguchi deney tasarımı aşağıda ayrı bir madde olarak incelenmiştir.

2.8. TAGUCHİ DENEY TASARIMI

Japon kökenli bir kalite danışmanı olan Dr. Genichi Taguchi; ürün ve süreç kalitesini iyileştirmek için yöntemler geliştirip tanıtmaktaydı (Doğan ve Doğan, 2005;

54). Taguchi, kendi adını taşıyan deney tasarımı yöntemini ise 1940'lı yıllarda geliştirmiştir (Antony ve Antony, 2001: 142).

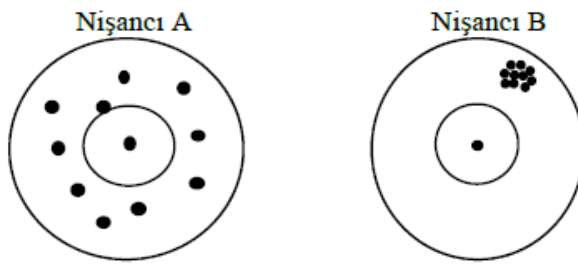
Kısmi faktöriyel deney tasarımına ortogonal dizin ve robust tasarımının eklenmesiyle oluşturulmuş olan Taguchi deney tasarımı metodunda proaktif yaklaşım temel alınmıştır. Hedef değer dışındaki tüm değerler bir sapma yaratmakta ve amaç bu değişkenliği minimize etmektir (Taguchi ve diğerleri, 2005;173).

Taguchi deney tasarımı, söz konusu faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirildiğini öngörür. Bu sebeple dengeli bir deney tasarlanmalı yani tasarımda yer alan faktörlerin belirlenen her bir seviyesine ait deney sayısının eşit olması gerekir (Özdemir, 2018:26).

Taguchi, değişkenliğin kontrol edilmesi üzerine 1990 da basılmış olan Harvard Business Review makalesinde yer vermiş olduğu bir örnek sıkça başka yazarlar tarafından da kullanılmıştır. Şekil 4'te A ve B nişancılarına ait atış sonuçları yer almaktadır. Burada A nişancısının ortalama atışının hedefe daha yakın olduğu görülürken B nişancısının daha uzak olduğu görülmektedir. Ancak B nişancısının atışları daha istikrarlıdır. Sonuç olarak B nişancısının değişkenliği çok az olduğu için onun atışlarını düzeltmek çok daha kolay olacakken A nişancısı belki hiçbir zaman iyi bir nişancı olamayacaktır.

Üretim süreçlerinde aynen böyle değişkenliği fazla ve az süreçler yer alabilmektedir. Burada değişkenliği az olan süreçleri iyileştirmek çok daha az maliyetli olurken değişkenliği fazla olan süreçleri optimize etmek çok daha maliyetli ve zor olmaktadır (Şirvancı, 1997:77).

Şekil 4: Kim Daha İyi Nişancı?



Kaynak: Şirvancı, 1997:77

Taguchi deney tasarımı metoduyla yapılan deney sayısı ve dolayısıyla maliyet azalmaktadır. Bu sebeple de çokça başvurulan bir yöntemdir.

2.8.1. Ortogonal Dizin

Ortogonal dizinler faktör sayısı, deney sayısı ve hangi deney sırasında hangi seviyelerin kullanılacağını gösteren çizelgelerdir. Bu yöntemde faktör seviyeleri eş zamanlı olarak değiştirilmektedir (Okumuş, 2015:50). Ortogonal dizinin kullanım faydasını bir örnek üzerinden açıklamak gerekirse:

Tam faktöriyel deney tasarımı 4 faktörlü ve 3 seviyeli bir tasarım için 3^4 yani 81 deney yapılması gerekir. Oysaki ortogonal dizinde 9 deneyin yapılması yeterlidir. Aradaki deney sayısına baktığımızda maliyeti oldukça düşürdüğünü söylemek yanlış olmayacaktır.

Ortogonal dizin tasarım matrisi olarak da adlandırılmaktadır ve gösterim şekli aşağıdaki gibidir:

L: Ortogonal dizi

d: Toplam deney sayısı

a: Faktörlerin seviye sayısı

k: Faktör sayısı olmak üzere;

$L_d(ak)$ veya L_d olarak gösterilebilmektedir.

Bir deneyin hangi ortogonal dizin kullanılarak tasarlanacağı seviye sayısı ve toplam serbestlik derecesine bakılarak tespit edilir.

4 faktörlü ve 3 seviyeli örneği inceleyecek olursak;

3 seviyeli için kullanabileceğimiz dizinler L_9 , L_{18} ve L_{27} 'dir. Aşağıda Tablo 6 da mevcut faktör sayısı ile seviye sayısına göre uygulanabilecek ortogonal dizinler gösterilmektedir (Şanyılmaz, 2006: 97).

Tablo 6: Faktör Sayısı ve Seviye Sayısına Göre Ortogonal Dizin Tablosu

Seviyelerdeki Maksimum Faktör Sayısı						
Ortogonal Dizi	Deney Sayısı	Faktör Sayısı	Seviye2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5
L ₄	4	3	3	-	-	
L ₈	8	7	7	-	-	-
L ₉	9	4	-	4	-	-
L ₁₂	12	11	11	-	-	-
L ₁₆	16	15	15	-	-	-
L ₁₆	16	5	-	-	-	-
L ₁₈	18	8	1	7	-	-
L ₂₅	25	6	-	-	-	6
L ₂₇	27	13	-	13	-	-
L ₃₂	32	31	31	-	-	-
L ₃₆	36	23	11	12	-	-
L ₅₀	50	12	1	-	-	11
L ₅₄	54	26	1	25	-	-
L ₆₄	64	63	63	-	-	-
L ₆₄	64	21	-	-	21	-
L ₈₁	81	40	-	40	-	-

Kaynak: Tuğral, 2019: 8

Hangisini kullanmamız gerektiğini toplam serbestlik derecesini hesaplayarak tespit etmemiz gerekir. Buna göre;

S_D: Serbestlik derecesi

k: Deney sayısı

n: faktör sayısı olmak üzere;

$$S_{Dfaktör} = k - 1 \quad (2.7)$$

$$S_{Dfaktör} = 3 - 1 = 2$$

$$S_{Dtoplam} = n \cdot S_{Dfaktör} \quad (2.8)$$

$$S_{Dtoplam} = 4 \cdot 2 = 8$$

Burada toplam serbestlik derecesi 8'dir. Serbestlik derecesi bir ekleme yaparak kullanmamız gereken ortogonal dizinin L₉ olduğunu söyleyebiliriz (Taylan, 2009: 44).

Aşağıda söz konusu L₉ ortogonal dizinine ait deney tasarımı düzeni gösterilmiştir.

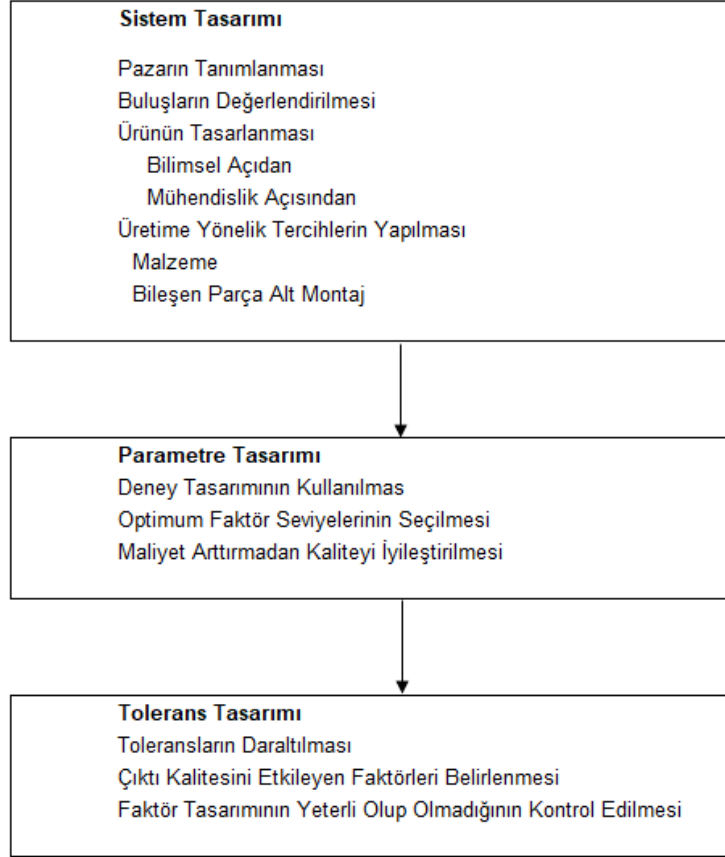
Tablo 7: Dört Faktörlü, Üç Seviyeli L9 Ortogonal Dizin Düzeni

Deney No	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Sistem tasarımı, ürün tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olmak üzere Taguchi metodu bu üç ana kavramdan oluşmaktadır.

Aşağıda bu kavramlar ve içeriklerin gruplandırıldığı Tablo 8 Taguchi sistematığı yer almaktadır.

Tablo 8: Taguchi Sistematığı



Kaynak: Topçu, 2018:27

Sistem Tasarımı: Pazar araştırmaları, tüketic i ihtiyaçlarının analizi, hammadde seçimleri, eldeki teçhizat ile birlikte son söz konusu üretim için son teknolojilerin araştırıldığı adımdır. Bu adımda aslında bir süreç veya ürün için yeterlilik analizi ile birlikte yatırım yapıp yapılmayacağı kararının alındığı kısımdır. Burada analizlerden çok mühendislik bilgi ve deneyimleri kullanılır (Topçu, 2018:28).

Parametre Tasarımı: Ürün ve proses parametre tasarımlarının yapıldığı aşamadır. En uygun ürün parametreleri ile birlikte önemli proses parametrelerine ait en uygun değerler belirlenir.

Genel olarak bu kısımda amaç kontrol edilemeyen ve kontrol edilebilen faktörlerin ayırımını yapmak ve süreç için değişkenliği minimize edecek şekilde kontrol edilebilen parametrelerin en uygun değerlerini belirleyebilmektir. Bu alışma sonucunda kontrol edilemeyen faktörlerden etkilenmeyen robust tasarım elde edilir (Topçu, 2018:28).

Hedeflenen değer i etkileyen birçok parametrenin varlığı ile bir de parametrelerin kendi aralarındaki etkileşimleri göz önüne alındığında doğru sonuçlara ulaşabilmek için deney tasarımının kullanımı zorunlu hale gelmektedir (Taguchi ve diğerleri, 2005:223).

Tolerans Tasarımı: Faktörlere ait değerler için toleransların belirlendiği kısımdır. Burada zor olan, dar tutulan tolerans aralıklarının gerek daha fazla kontrole ihtiyaç duyulması gerekse daha hassas dolayısıyla daha teknolojik makine, alet ve teçhizat gerektiriyor olmasıdır. Tolerans aralığının geniş tutulması ise kalite problemlerine ve ürün kayıplarına sebep olur.

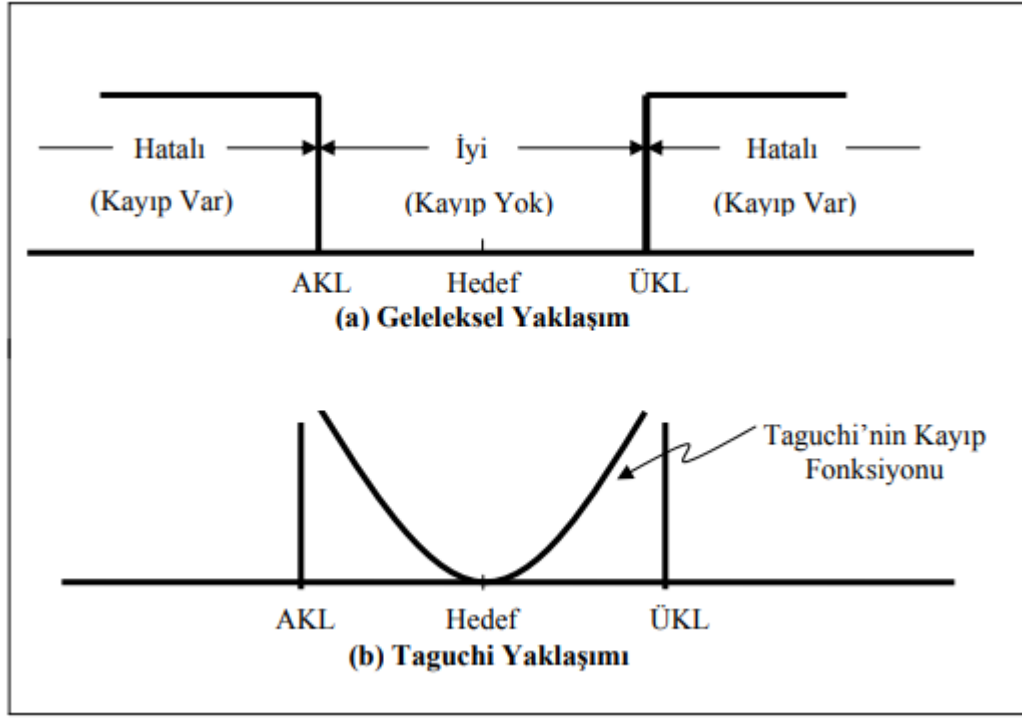
Bu sebeplerden ötürü yapılması gereken faktörler içerisinden en fazla değişkenliğe sebep olabilecekleri belirlemek ve bunların toleransını dar tutarken diğerlerinin toleransını nispeten daha geniş tutmaktır (Taguchi ve diğerleri, 2005; 224).

2.8.2. Taguchi Kayıp Fonksiyonu

Geleneksel yaklaşımda sadece reddedilen ürünler kalite kaybı olarak görölmekte ama değer i hedef değer i toleransları içerisinde kalıp farklı dağılımlara sahip örnekleri ayırt edememektedir (Hamzaçebi ve Kutay, 2001:291). şekil 5'te geleneksel yaklaşım ve Taguchi yaklaşımına ait kayıp fonksiyonu grafiği yer almaktadır. Burada da görölebildiği üzere geleneksel yaklaşımda bir ürün veya hizmet hedef değer toleransları içerisinde ise istenen kalitede ve hatasız olduğu

varsayılmaktadır. Ancak Taguchi, böyle bir keskin geçişin olmadığını hedef değerden oluşan her sapmanın, tolerans sınırları içerisinde olsa dahi, kullanım esnasında birtakım hatalara ve kalitesizliğe sebep olabileceğini yani bir maliyeti olduğunu belirtmektedir (Baynal, 2003:144).

Şekil 5: Geleneksel ve Taguchi Kayıp Yaklaşımı



Kaynak: Ross, 1989: 5

Kalite kayıp fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$L(y) = k (y-m)^2 \quad (2.9)$$

$L_{ort} = k (MSD)$; ortalama kayıp / parça

Buradaki tanımlar;

m = Hedef değer

y : Ölçülmekte olan karakteristik

L : Kayıp

k : Orantısal sabit

MSD : Ortalama kareli sapma ($= \sum (y-m)^2 / n$)

$L(y)$: Hedef değerden sapmalara müşteri duyarlılığı

L_{ort} : Prosesin hedefi karşılama yeteneğidir.

2.8.3. S/N Oranı

Taguchi deney tasarımı yöntemi ile elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi Sinyal / Gürültü oranına çevrilerek yapılmaktadır.

Bir faktör değişiminin ürün kalitesinde meydana getirdiği değişimin saptanabilmesi amacıyla yapılan deney tasarımında, eğer değişimi incelenen faktör oluşturmuş ise, bu sinyal olarak isimlendirilir. Ancak deneylerde, sonucu etkileyen dış faktörler de yer almaktadır. Bu dış faktörlerin ürün kalitesinde oluşturdukları etki ise, gürültü olarak tanımlanmıştır.

S/N oranının yüksek olduğu deney tasarımında incelenen ürün veya süreç için kalitenin optimum, sapmanın minimum olduğu söylenebilir.

S/N oranı için 3 yöntem tanımlanmıştır. Tümü için de çıkan sonucunun yüksekliği değişkenliğin az ve sonucun verimli olduğunu ifade etmektedir (Topçu,2018 :31).

S/N oranı en küçük en iyi yöntemi; değerin küçülmesi ile birlikte iyileşmenin arttığı, ideal değeri sıfır kabul eden yaklaşımdır. Formülü aşağıdadır:

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (2.10)$$

Ölçüm sonuçlarından nominal değere en yakın olanının en iyi olarak kabul edildiği yaklaşım olan S/N oranı nominal en iyi yöntemin için hesaplama formülü aşağıda 2.11 eşitliğinde gösterilmektedir.

$$S/N = 10 \cdot \log[\bar{y}^2 / S^2] \quad (2.11)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.12)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.13)$$

S/N oranının en büyük en iyi; ölçüm değerinin büyümesiyle birlikte iyileşmenin arttığı yöntemidir. Bu değerin yükselmesi ile iyileşme de o oranda artmaktadır.

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1/y_i^2\right) \quad (2.14)$$

y_i = Ölçülen karakteristik değer

n = Ölçüm sayısı (Tuğral, 2019:9)

$\bar{y}^2$: Gözlem değerlerinin ortalamasını,

s^2 : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

S/N oranları yorumlanarak söz konusu faktörlerin etkileri analiz edilebileceği gibi süreç için optimum seviyelerinin tespit edilmesine de olanak sağlar (Taguchi ve diğerleri, 2005; 230).

2.8.4. Varyans Analizi

F testi de denilen varyans analizi, incelenen kalite karakteristiğine gözlenen faktör ve seviyelerinin etkisini incelemek amacıyla yapılır.

İlk olarak faktörlerin toplam kareleri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$SS_A = \sum_{i=1}^{k_A} [n_{A_i} * (l_{A_i} - l_m)^2] \quad (2.15)$$

Bu formülde yer alan,

A: Faktör adı

k_A = A faktörünün seviye sayısı,

n_{A_i} = A faktörünün i seviyesindeki deney sayısı,

l_{A_i} = A faktörünün i seviyesindeki deney ortalaması,

l_m = ortalama S/N oranını göstermektedir.

Yukarıdaki formül aracılığı ile tasarımda yer alan her bir faktör için bu hesaplama yapılır. Daha sonra tüm faktörlere ait toplam kare değerleri aşağıdaki eşitlikte tanımlanan şekilde toplanır.

$$SST = \sum_{i=1}^n (l_i - l_m)^2 \quad (2.16)$$

Burada,

l_i : Ölçülen kalite karakteristiği değerleri üzerinden hesaplanan S/N oranı,

lm : Ölçülen kalite karakteristiği değerleri üzerinden hesaplanan S/N oranlarının ortalaması,

n : toplam deney sayısını göstermektedir (Topçu, 2018:35).

Bu işlemlerden sonra deney faktörlerinin etkilerini inceleyebilmek için F testi yapılır. F testinde, yukarıda hesaplama yöntemini anlatmış olduğumuz ortalama karelerinin toplamı, hata değerlerinin ortalama kare toplamlarına bölünerek bir F değeri elde edilir. Bu elde edilen F değeri belirli bir güven seviyesinde ve mevcut serbestlik derecesindeki çizelge değeri ile kıyaslanarak bir sonuca varılır. Buradaki sonuç faktörlerin ilgili kalite karakteristiği üzereinde faktörün etkisinin olup olmadığı üzerinedir (Savaşkan ve diğerleri, 2004:120).

2.8.5. Taguchi Deney Tasarımı Uygulama Aşamaları

Dikkatli ve ayrıntılı planlama ile uygulama, bir deneyin başarılı şekilde sonuçlanabilmesi için önemlidir (Şanyılmaz, 2006 :109).

Taguchi deney tasarımı yönteminde uygulanan adımlar aşağıdaki şekildedir:

1. Faktörlerin ve/veya faktör etkileşimlerinin belirlenmesi,
2. Faktör seviyelerinin belirlenmesi,
3. Ortogonal dizinin seçimi,
4. Faktör ve/veya etkileşimlerinin ilgili sütunlara yerleştirilmesi,
5. Deneylerin gerçekleştirilmesi,
6. Sonuçların analizi,
7. Doğrulama deneylerinin gerçekleştirilmesi.

Tabiki tüm bu aşamalardan önce ilgili problemin veya araştırılacak konunun tespit edilmiş olması gerekir. Daha sonra bu konu veya probleme ilişkin doğru kalite karakteristiğinin belirlenmiş olması gerekmektedir.

Bu kalite karakteristiği ürün veya sürecin asıl performansının bir göstergesi yani bunu doğrudan etkileyen bir karakteristik olmalıdır. Kalite karakteristiği bir veya birden fazla olabilir (Yılmaz, 2010: 21).

2.8.5.1. Faktör ve/veya Faktör Etkileşimlerinin Belirlenmesi

Kalite karektersitiğini (kalite göstergesi) etkilen faktörlerin tespitinde beyin fırtınası, balık kılçığı gibi yöntemler kullanılabilmektedir. Burada kontrol edilebilen ve kontrol edilebilen tüm faktörler yer alabilir. Bu noktada ölçülebilir ve kontrol edilebilir faktörlerin baz alınması gerekir .

2.8.5.2. Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi

Faktör seviyeleri en az iki seviye olarak belirlenebileceği gibi ikiden fazla olacak şekilde de seçilebilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta seviye sayısının artması ile beraber uygulanacak deney sayısının ve dolayısıyla maliyetin de artacağıdır.

2.8.5.3. Ortogonal Dizinın Seçimi

Uygun ortogonal dizinin seçimi faktör seviyesi ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır. Bu seçimi etkileyecek olan deneylerin tekrar sayılarını maliyeti etkileyeceğini göz önüne alarak belirlemek faydalı olacaktır.

2.8.5.4. Faktör ve/veya Etkileşimlerinin İlgili Sütunlara Yerleştirilmesi

Belirlenen faktörlerin ve seviyelerinin seçilmiş olan ortogonal dizine uygun şekilde yerleştirilmesidir. Eğer minitab gibi bir program kullanılıyorsa söz konusu işlem program üzerinden yapılabilmektedir.

2.8.5.5. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

2.8.5.4 maddesinde oluşturulmuş olan tablo üzerinde faktörler için belirtilen şartlar sağlanarak ilgili deneyler, belirlenen tekrar sayısında gerçekleştirilir.

2.8.5.6 Sonuçların Analizi

İncelenen kalite karakteristiğine faktörlerin etkileri incelenerek kritik olanların belirlendiği adımdır. Burada kalite karakteristiğine etkisi olduğu tespit edilen faktörlere ait optimum seviyelerin seçimi gerçekleştirilir.

2.8.5.7. Doğrulama Deneylerinin Gerçekleştirilmesi

2.8.5.6 adımıında öngörülen optimum seviyelere ilişkin deneyler gerçekleştirilerek doğrulamanın yapıldığı adımdır (Yılmaz, 2010: 23).

2.8.6.Taguchi Deney Tasarımı Yöntemine İlişkin Eleştiriler

Taguchi deney tasarımı yönteminde faktörler arası etkileşimler dikkate alınmamakta veya çok nadiren dikkate alınmaktadır (Özler, 1997:169).

Genel anlamda Taguchi'nin robust tasarımı ile ilgili aşağıdaki eleştiriler bulunmaktadır(Özler, 1997:171) :

1. S/N oranının yeterli olmayışı,
2. Tasarım değişkenlerini modellemede esneklik eksikliği,
3. Deney tasarım planının ekonomik olmayışı,
4. Eniyileme ile ilgili zihinsel meşguliyet,
5. Ardışık deneye formal izin olmaması.

2.8.7. Kaynak

Genel anlamda kimya alanındaki deney tasarımı içerikli çalışmalara baktığımızda yukarıda bahsedilen tüm yöntemlerle ilgili çalışmalar yapıldığını görmekteyiz. Aşağıda birkaç çalışmaya ait bilgilerin yer aldığı Tablo 9 Bazı Araştırmacılar ve Kullandıkları Deney Tasarımı Yöntemleri bulunmaktadır.

Tablo 9: Bazı Araştırmacılar ve Kullandıkları Deney Tasarımı Yöntemleri

Araştırmacı	Deney Tasarımı Yöntemi	Çalışma Alanı
Khan ve diğerleri	Placket-Burman	Kimya -İlaç
Rahman ve diğerleri	Placket-Burman	Kimya -İlaç
Jin ve diğerleri	Placket-Burman	Kimya - İlaç
Jung ve diğerleri	Box-Behnken	Kimya
Thamizhmanii vd	Taguchi	Kimya- Metal
Velibor ve Milos	Taguchi	Kimya- Metal
Günay vd	Taguchi	Kimya- Metal
Goswami ve Kumar	Taguchi	Kimya- Metal
Sudeepan vd	Taguchi	Kimya- Plastik
Zheng vd	Taguchi	Kimya- Plastik
Zidan vd.	Box-Behnken	Kimya-İlaç
Awotwe-Otoo vd.	Box-Behnken	Kimya-İlaç
Khavekar vd.	Shainin	Üretim - Makine
Goodman vd.	Shainin	Üretim - Makine
Carter	Kesikli Faktöriyel	Biyokimya
Shah ve Pathak	Tam Faktöriyel	Kimya-İlaç
Gottipati ve Mishra	Tam Faktöriyel	Kimya

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

3.1. AMAÇ VE ÇALIŞMA ALANI

Çalışma, Manisa ilinde faaliyet gösteren, mühendislik plastikleri üretmekte olan bir firmada gerçekleştirilmiştir. İyileştirilmek istenen iki konu tespit edilmiştir.

Birincisi; proses parametrelerindeki değişikliklerin ürün kalitesini ciddi bir biçimde etkilediği tespit edilmiş ve proses optimizasyonu çalışması hedeflenmiştir. İkinci konu ise ürün reçete maliyetlerinin yüksek oluşudur. Bu konu ile ilgili de reçete içerisinde belirli oranlarda geri dönüşüm hammadde kullanılmaya karar verilmiştir.

%30 cam elyaf katkılı poliamid 6 çalışma ürünü olarak seçilmiş ve firmanın son iki yıllık üretim parametreleri ile kalite karakteristik değerleri incelenmiştir.

3.2. MALZEME TANITIMI

İki ya da daha fazla malzemeden oluşan yapılara kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler genellikle ana bileşenin ilgilenilen özelliğini geliştirmek için oluşturulur.

Plastik kompozit sektöründe en çok kullanılan kompozitlerden biri cam elyaf takviyeli poliamid 6 malzemesidir. Cam elyaf, malzemenin çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan en ucuz malzemelerden biridir.

Söz konusu uygulamada üretilcek olan kompozit malzemede, Akulon ® N22D kodlu Pa6 hammaddesi kullanılmıştır. İlgili hammaddeye ait teknik bilgiler aşağıda Tablo 10 da verilmiştir.

Tablo 10: Akulon ® N22D PA6 Teknik Özellikleri

Özellik	Nominal Değer	Test Metodu
Yoğunluk	1.13 g/cm ³	ISO 1183
Çekme Dayanımı	63 MPa	ISO 572-2
İzod Çentikli Darbe Dayanımı (23°C)	4 kJ/m ²	ISO 180
Erime sıcaklığı	220°C	ISO 11357-3

Kaynak: DSM Engineering Plastics, 2019

Cam elyaf olarak Şişecam firmasının PA2(D) kodlu, aşağıda teknik bilgileri bulunan ürünü kullanılmıştır.

Tablo 11: PA2(D) kodlu Cam Elyaf Teknik Özellikleri

Ürün Adı	: PA2(D)	Elyaf Çapı	:11
CE Bağlayıcısı Kodu	: (02) (D)	Kırılma Boyu	: 4,5

Cam Tipi	: E	Bağlayıcı Miktarı (%)	: 0,60 ±0,15
Elyaf Çapı (µ)	: Nom. 11	Akma Özellikleri	: Çok iyi
Nem Miktarı (%)	: max. 0,07	Reçine Uyumu	: Poliamid
Bağlayıcı Türü	: Silan	Kırılma Boyu (mm)	: 4,5

Kaynak: Şişecam A.Ş. 2019

Geri dönüştürülmüş (Re) PA6 ise bir firmanın standart olarak ürettiği ham PA6 film üretimlerinin atıklarıdır. Bu atıklar önce tek vidalı ekstruderden geçirilip granül formuna getirilmiştir. Deneyde kullanılacak olan miktar için bir karışım yapılmış ve bu karışımdan alınan örneklerin test değerleri ortalaması aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 12: RePA6 Karakterizasyon Tablosu

Özellik	Nominal Değer	Test Metodu
Yoğunluk	1.13 g/cm ³	ISO 1183
Çekme Dayanımı	57 Mpa	ISO 572-2
İzod Çentikli Darbe Dayanımı (23 ⁰)	7 kJ/m ²	ISO 180
Erime Sıcaklığı	220 ⁰ C	ISO 11357-3

3.3. YÖNTEM

Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak sonuçların analizi Minitab 19 programı kullanılarak yapılmıştır.

3.4. UYGULAMA SÜRECİ

Uygulama süreci problemin tanımlanması ile başlamıştır. Daha sonra faktörler ve faktör seviyeleri belirlenmiş, kalite karakteristikleri tanımlanmıştır. L9 ortogonal deney düzeni uygun görülerek tasarıma ait deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deney sonuçlarının analizi Minitab 19 programında gerçekleştirilmiştir. Adımlara ait ayrıntılar aşağıda açıklanmıştır.

3.4.1. Problemin Tanımlanması

Başta otomotiv sektörü olmakla beraber farklı sektörlerde de oldukça fazla kullanılan bir kompozit olan %30 cam elyaf katkılı naturel renkli PA6 'nın hammadde maliyetlerini iyileştirerek aynı zamanda bu iyileşmenin sağlanabildiği optimal üretim proses parametrelerini tayin etmektir.

3.4.2. Faktörler, Faktör Seviyeleri ve Kalite Karakteristiği Tespiti

Bu deneyde kalite karakteristiği olarak maksimum çekme dayanımı ve izod çentikli darbe dayanımı seçilmiştir. Bu iki karakteristiğin seçilmesinin nedeni, ürünün kullanıldığı sektörlerde temel beklentinin yüksek mekanik değerlere sahip bir ürünün tercih edilmesidir. Ürün mekanik değerlerini belirleyen kalite karakteristikleri; izod çentikli darbe dayanımı, izod darbe dayanımı, charpy çentikli darbe dayanımı, charpy darbe dayanımı, maksimum çekme dayanımı ve eğme dayanımı değerleridir. Ürünler için sunulan kalite şartlarında çoğunlukla en belirleyici özellikler olarak izod çentikli darbe dayanımı ve maksimum çekme dayanımı değerleri sunulduğu için söz konusu çalışmada kalite karakteristiği olarak tercih edilmişlerdir.

Seçilen kalite karakteristik değerlerini etkileyebileceği düşünülen faktör ve faktör seviyeleri aşağıda yer alan Tablo 13 de gösterilmiştir. Tork, devir, eriyik sıcaklık ve %RePA6 oranı faktörleri kontrol edilmesi mümkün faktörler olup ortam nemi ve ortam sıcaklığı faktörleri kontrol edilmesi mümkün olmayan faktörlerdir. Bu sebeple ortam nemi ve ortam sıcaklığı faktörleri deney tasarımında yer almayacaktır.

A faktörü olarak tanımlanan %RePA6 oranı için faktör seviyeleri belirlenirken iki unsur dikkate alınmıştır. Birincisi doğal renginde kullanılacak parçalar düşünülerek ve geri dönüşüm malzemesinin prosesten ikinci kez geçeceği düşünülerek sararma ihtimaline karşılık oranı %15 olarak belirlendi. %69 ise RePA6 nın mekanik değerlerinin çok da düşük olmadığı göz önüne alınarak renklendirilen ürünlerde maliyeti mümkün olduğunca azaltmak amacıyla tercih edildi.

Devir ve tork faktörlerine ait seviyeler ise mevcut makinenin kapasitesi ile ortam koşulları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Eriyik sıcaklık faktöründe ise yüksek sıcaklıkların daha fazla maliyet getirdiği gerçeği ile bozunmaya sebep olabileceği düşünülerek aralık çok geniş tutulmamıştır. Seçilen aralık firmanın daha önceki üretim kayıtlarında bulunan mevcut sıcaklık değerleridir.

Tablo 13: Faktörler ve Faktör Seviyeleri

Kod	Faktörler	Seviyeler		
		1	2	3
A	%RePA6 Oranı	0	15	69
B	Devir	550	600	650
C	Tork	75	80	85
D	Eriyik Sıcaklık	245	255	265
E	Ortam Nemi	-	-	-
F	Ortam Sıcaklığı	-	-	-

3.4.3. Ortogonal Dizim Seçimi

Çok etkenli deney tasarımına göre 4 faktör ve 3 seviye ve 3 tekrar içeren deney tasarımı için $3.3^4 = 243$ deney yapmak gerekirken, toplam serbestlik derecesini hesapladığımızda;

$$S_{dfaktör}: k-1$$

$$S_{dfaktör}: 3-1 = 2$$

$$S_{dtoplam}: n.S_{dfaktör}$$

$$S_{dtoplam}: 4.2 = 8$$

Toplam serbestlik derecesi 8 olduğuna göre 8 karşılaştırma ile toplamda 9 deney yapmamız yeterli olacaktır. Dolayısıyla L9 ortoganel düzeni (Tablo 14) kullanılmıştır.

Tablo 14: L9 Ortogonal Deney Düzeni

Deney No	%RePA6 Oranı	Devir	Tork	Eriyik Sıcaklık
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

3.3.4. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Deneyler sektörde beş yıllık geçmişe sahip, bünyesinde akademisyenleri bulunduran ve aynı zamanda Ar-Ge merkezi olan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Fabrikanın sahip olduğu laboratuvar uluslararası kabul görmüş standartlarda test yapma yetkinliğine sahip cihazları barındırmakta ve tüm cihazları periyodik olarak kalibre edilmiştir. Deneyler Ocak 2019 ile Temmuz 2019 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan ekstruder Leistritz çift vidalı ZSE 27 MAXX/HP serisidir.

Vida dizilimi üretici firmanın makine tanıtım kitapçığında cam fiber takviyeli ürünlerin üretimi için tavsiye ettiği şekilde yapılmış ve tüm üretimlerde bu dizilimle kullanılmıştır.

Deneyler, şartlandırma yapılmadan üretim sonrası soğuma gerçekleştikten hemen sonra ve nem değerleri %0,2 nin altında iken tamamlanmıştır.

Test plakaları Bole marka 90 EK modeli enjeksiyon makinesinde, ISO standartlarına uygun boyutlarda ve aynı basım parametreleri ile basılmıştır.

Çekme testi deneyleri, plakaların basımı dahil yaklaşık 3 saat, izod çentikli darbe testi ise yaklaşık olarak 2 saat sürmüştür. Üretim makinesi yaklaşık olarak ilk 300 kg'lık üretimden sonra rejime girdiğinden her bir reçete için minimum üretim miktarı 1 ton olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile deney tasarımına ait deneyleri gerçekleştirebilmek için 9 tonluk üretim gerçekleştirilmiştir. Üretim süresi hazırlıklar dahil yaklaşık 15 saat sürmüştür. Üretimi gerçekleştirmek için 4 operatör, proses kontrolünü sağlama ve deneylerin gerçekleştirilmesini sağlamak üzere 2 kalite personeli çalışma içerisinde görev almıştır. Üretilen ürünlerin kullanımı sağlanmış olsa da çalışma, yüksek denilebilecek bir maliyet ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.5. Deney Sonuçları ve İstatistiksel Değerlendirme

Maksimum çekme dayanımı ve izod darbe dayanımı deneylerine ait numuneler enjeksiyonda basıldıktan sonra yaklaşık 15 dakika ortam sıcaklığı 23⁰ C'ye ayarlanmış olan laboratuvar ortamında soğumaya bırakılmıştır. 15 dakikalık sürenin dolması ardından testler gerçekleştirilmiştir.

Maksimum çekme dayanımı sonuçları MPa birimi cinsinden sırasıyla; 175, 175, 177, 177, 179, 179,180, 182, 182, 175, 177, 176, 178, 178, 179, 178, 178, 178, 169, 169, 166, 159, 160, 160, 160, 162, 160'dır.

İzod çentikli darbe dayanımı sonuçları kJ/ m² birimi cinsinden sırasıyla; 16, 16, 15, 15, 15, 14, 14, 14, 15, 14, 13, 14, 14, 14, 15, 13, 13, 14, 18, 18, 18, 20, 20, 21, 15, 17, 17'dir.

Aşağıda hem maksimum çekme dayanımı hem de izod çentikli darbe dayanımı testlerine ait ayrıntılı sonuçlar ve analiz çıktıları yer almaktadır.

3.3.5.1. Maksimum Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

Tablo 15: Maksimum Çekme Dayanımı Deney Sonuçları Tablosu

DENEY NO	%RePA6 ORANI	DEVİR (RPM)	TORK (Nm)	ERİYİK SICAKLIK (° C)	MAKSİMUM ÇEKME DAYANIMI DEĞERLERİ (MPa)		
1	0	550	75	245	175	175	177
2	0	600	80	255	177	179	179
3	0	650	85	265	180	182	182
4	15	550	80	265	175	177	176
5	15	600	85	245	178	178	179
6	15	650	75	255	178	178	178
7	69	550	85	255	169	169	166
8	69	600	75	265	159	160	160
9	69	650	80	245	160	162	160

Tablo 15' den görüldüğü üzere maksimum çekme dayanımı için elde edilen en düşük değer 159 MPa olmuştur. Bu değer, sıcaklık ve %RePA6 oranı için üçüncü seviye, tork faktörünün birinci ve devir faktörünün ikinci seviyede tutulduğu sekiz numaralı deneye aittir. En yüksek değer ise %RePA6 oranının en düşük, devir, tork ve sıcaklık faktörlerinin ise en yüksek seviyede olduğu üçüncü deneye ait 182 MPa değeridir.

Tablo 16: Faktörlerin Farklı Seviyeler İtibariyle Maksimum Çekme Dayanımı Deney Sonuçları Özet İstatistikleri

Faktör Adı	Faktör Seviyesi	Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma
%RePA6 Oranı	1	175	182	178,44	2,65
%RePA6 Oranı	2	175	179	177,44	2,82
%RePA6 Oranı	3	159	169	162,77	5,20
Devir	1	166	177	173,22	4,08
Devir	2	159	179	172,11	9,36
Devir	3	160	182	173,33	9,64
Tork	1	159	178	171,11	8,67
Tork	2	160	179	171,67	8,37
Tork	3	166	182	175,89	6,15
Eriyik Sıcaklık	1	160	179	171,55	8,30
Eriyik Sıcaklık	2	166	179	174,78	5,19
Eriyik Sıcaklık	3	159	182	172,33	9,81

Tablo 16'ya ait veriler incelendiğinde; en düşük standart sapma değerinin 2,65 ile %RePA6 oranının birinci seviyede tutulduğu deney grubuna; en yüksek standart sapmanın ise 9,81 ile eriyik sıcaklık değerinin üçüncü seviyede tutulduğu deney grubuna ait olduğu görülmektedir. En yüksek ve en düşük ortalama değerleri incelendiğinde ise; her ikisinin de %RePA6 faktörüne ait deneylere ait olduğu görülmektedir. En düşük ortalama 162,77 MPa ile %RePA6 oranının 3. seviyede tutulduğu deneylere; en yüksek ortalamanın ise 178,44 MPa ile %RePA6 oranının birinci seviyede tutulduğu deneylere ait olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum çekme dayanımı sonuçları faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu ile analiz edildiğinde aşağıdaki tablolar ve şekiller elde edilmiştir.

Tablo 17: Maksimum Çekme Dayanımı Değerleri Ortalamalarına Göre Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi

Seviye	%RePA6 Oranı	Devir	Tork	Eriyik Sıcaklık
1	171,6	173,6	178,4	171,1
2	175,1	172,1	177,4	171,7
3	172,3	173,3	163,1	176,2
Delta	3,6	1,4	15,3	5,1
Rank	3	4	1	2

Şekil 6: Maksimum Çekme Dayanımı Çıktısına Ait Ortalamalara Göre Etkiler Grafiği



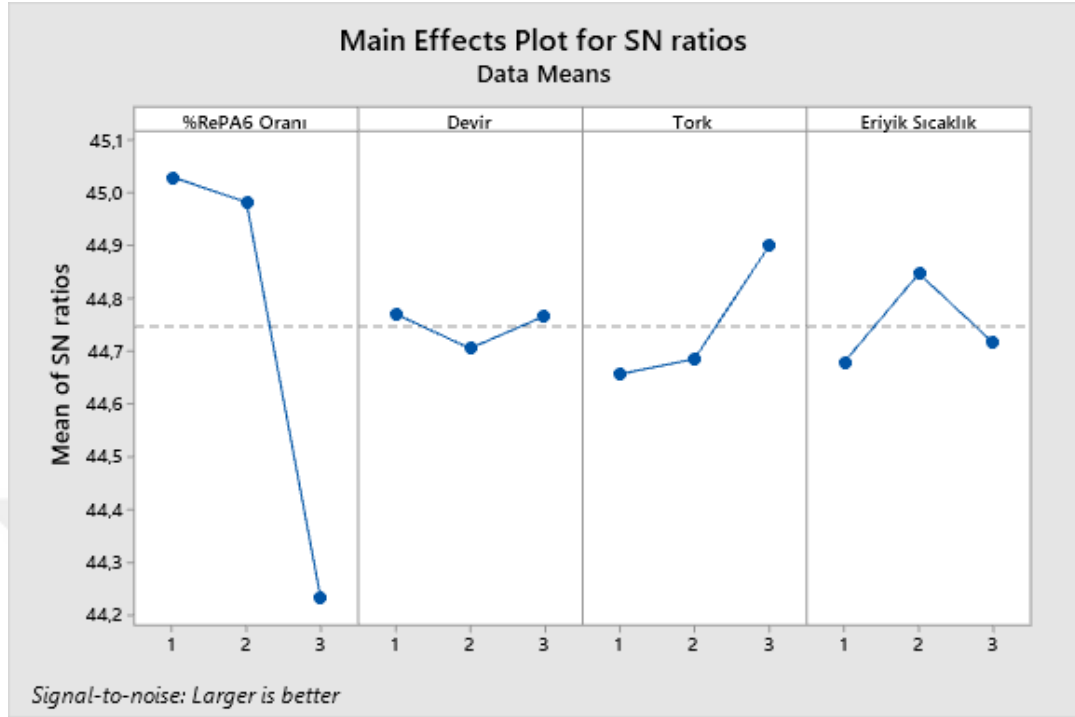
S/N oranlarına göre yapılan analizlerde en büyük en iyi modeli kullanılmıştır.

Tablo 18: Faktörlerin Maksimum Çekme Dayanımı Çıktısı S/N Oranına Göre Etki Tablosu

Seviye	%RePa6 Oranı	Devir	Tork	Eriyik Sıcaklık
1	45,03	44,77	44,66	44,68
2	44,98	44,7	44,68	44,85
3	44,23	44,77	44,9	44,71
Delta	0,8	0,07	0,24	0,17
Rank	1	4	2	3

Taguchi yönteminde S/N oranları dikkate alındığından dolayı yorumlamalar bu tablolara ilişkin olarak yapılmıştır. Tablo17'den görüldüğü üzere çekme dayanımı değerini en çok etkileyen faktör %RePA6 oranı, ikinci faktör tork, üçüncü faktör eriyik sıcaklık ve dördüncü faktör devir değeridir.

Şekil 7: Maksimum Çekme Dayanımı Çıktısına Ait S/N Oranına Göre Etkiler Grafiği



Şekil 7 incelendiğinde %RePA6 ve Tork faktörleri ile maksimum çekme dayanımı değeri arasında paralel bir ilişki olduğu gözlenmektedir. Maksimum çekme dayanımı değeri tork faktörü ile doğrusal, %RePA6 oranı ile ters bir ilişkisi vardır. Maksimum çekme dayanımı değeri tork seviyesi arttıkça artmış, %RePA6 oranı seviyesi artmışken azalmıştır.

Ürün için yüksek çekme dayanımı değeri amaçlandığında Tork faktörü için 2. veya 3. seviye, Devir faktörü 3. Seviye, Eriyik Sıcaklık faktörü 2. Seviye, %RePA6 oranı 1. Seviye seçimi doğru olacaktır. Bu parametreler doğrulama deneyi parametreleri olarak tespit edilmiş ve Tablo 19 da gösterilmiştir.

Tablo 19: Maksimum Çekme Dayanımı Doğrulama Deney Düzeni

Maksimum Çekme Dayanımı				
Doğrulama Deney NO	%RePa6	Tork (Nm)	Devir (RPM)	Sıcaklık (° C)
1	0	80	650	255
2	0	85	650	255

3.3.5.2. İzod Çentikli Darbe Dayanımı Deney Sonuçları

Darbe değerlerine ait veriler analiz edildiğinde ise sonuçlar aşağıda yer alan Tablo 20'deki gibidir.

Tablo 20: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Deney Sonuçları Tablosu

DENEY NO	%RePA6 ORANI	DEVİR (RPM)	TORK (Nm)	ERİYİK SICAKLIK (° C)	İZOD ÇENTİKLİ DARBE DAYANIMI DEĞERLERİ (kJ /m ²)		
1	0	550	75	245	16	16	15
2	0	600	80	255	15	15	14
3	0	650	85	265	14	14	15
4	15	550	80	265	14	13	14
5	15	600	85	245	14	14	15
6	15	650	75	255	13	13	14
7	69	550	85	255	18	18	18
8	69	600	75	265	20	20	21
9	69	650	80	245	15	17	17

Tablo 20' den görüldüğü üzere izod darbe dayanımı için elde edilen en düşük değer 13 kJ/m² olmuştur. Bu değer, %RePA6 oranının ikinci seviyede tutulduğu dört ve altı numaralı deneye aittir. En yüksek değer ise devir ve %RePA6 oranı faktörlerinin üçüncü seviye, tork faktörünün ikinci ve sıcaklık faktörünün ise en düşük seviyede olduğu sekizinci deneye ait 21 kJ/m² değeridir.

Tablo 21: Faktörlerin Farklı Seviyeler İtibariyle İzod Darbe Deney Sonuçları Özet İstatistikleri

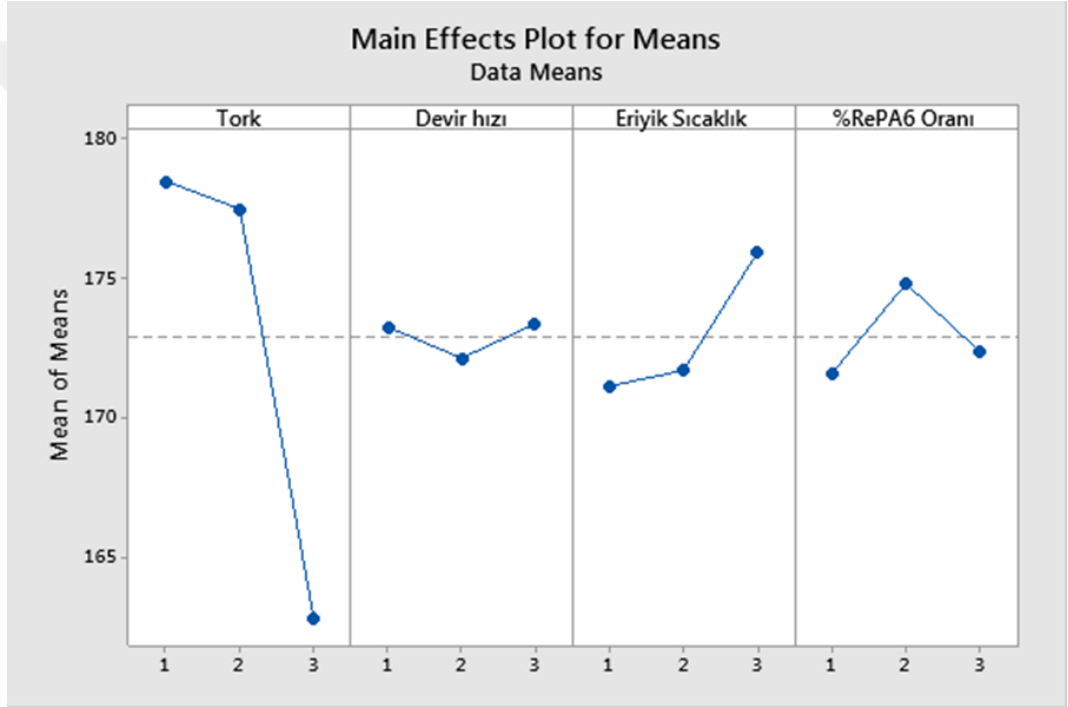
Faktör Adı	Faktör Seviyesi	Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama Çentikli İzod Darbe Dayanımı Değeri (kJ/m ²)	Standart Sapma
%RePA6 Oranı	1	14	16	14,9	0,78
%RePA6 Oranı	2	13	15	13,8	0,67
%RePA6 Oranı	3	15	21	18,2	1,86
Devir	1	13	18	15,8	1,92
Devir	2	14	21	16,4	2,96
Devir	3	13	17	14,6	1,50
Tork	1	13	21	16,4	3,13
Tork	2	13	17	14,9	1,36
Tork	3	14	18	15,5	1,88
Eriyik Sıcaklık	1	14	17	15,4	1,13
Eriyik Sıcaklık	2	13	18	15,3	2,12
Eriyik Sıcaklık	3	13	21	16,1	3,22

Tablo 21'e ait veriler incelendiğinde; en düşük standart sapma değerinin 0,67 ile %RePA6 oranının ikinci seviyede tutulduğu deney grubuna; en yüksek standart sapmanın ise 3,22 ile eriyik sıcaklık değerinin üçüncü seviyede tutulduğu deney grubuna ait olduğu görülmektedir. En yüksek ve en düşük ortalama değerleri incelendiğinde ise; her ikisinin de %RePA6 faktörüne ait deneylere ait olduğu görülmektedir. En düşük ortalama 13,8 kJ/m² ile %RePA6 oranının ikinci seviyede tutulduğu deneylere; en yüksek ortalamanın ise 18,2 kJ/m² ile %RePA6 oranının üçüncü seviyede tutulduğu deneylere ait olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 22: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Değerleri Ortalamalarına Göre Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi

Seviye	%RePa6 Oranı	Devir	Tork	Eriyik Sıcaklık
1	15	15,89	16,56	15,59
2	13,78	16,44	14,89	15,33
3	18,22	14,67	15,56	16,11
Delta	4,44	1,78	1,67	0,78
Rank	1	2	3	4

Şekil 8: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Çıktısına Ait Ortalamalara Göre Etkiler Grafiği



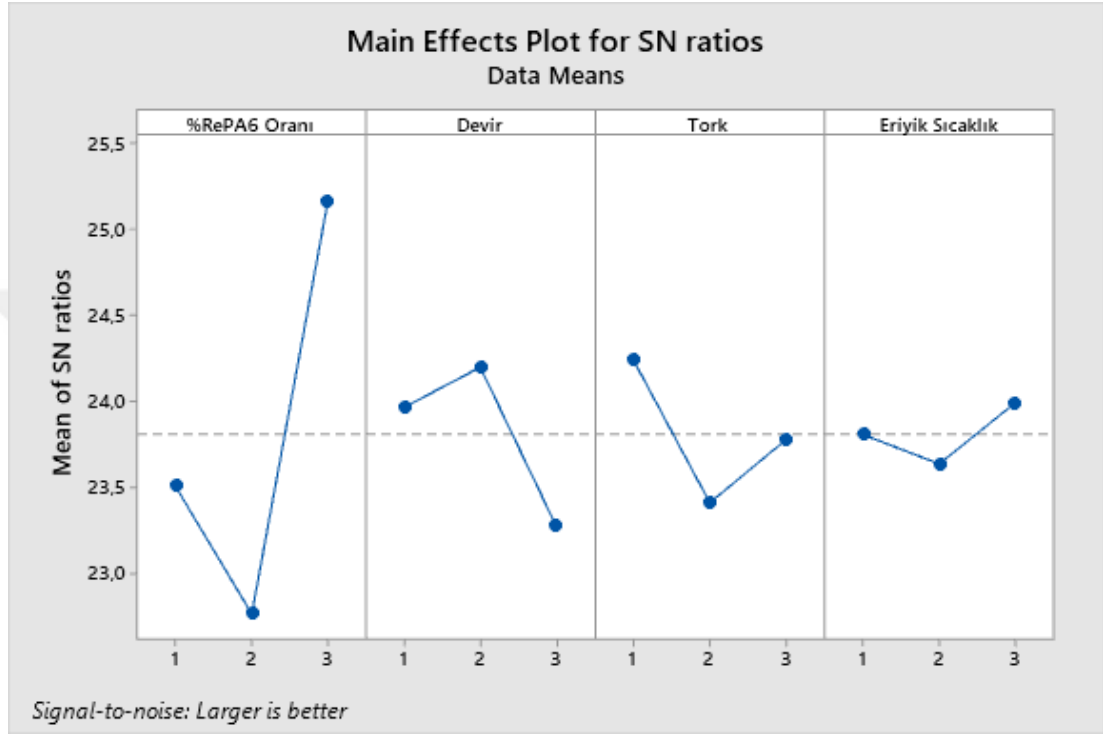
S/N oranlarına göre yapılan analizlerde en büyük en iyi modeli kullanılmıştır.

Tablo 23: Faktörlerin İzod Çentikli Darbe Dayanımı Çıktısına Ait S/N Oranına Göre Etki Tablosu

Seviye	%RePA6 Oranı	Devir	Tork	Eriyik Sıcaklık
1	23,5	23,96	24,24	23,8
2	22,76	24,19	23,41	23,63
3	25,16	23,27	23,78	23,99
Delta	2,39	0,92	0,83	0,36
Rank	1	2	3	4

Taguchi yönteminde S/N oranları dikkate alındığından dolayı yorumlamalar bu tablolara ilişkin olarak yapılmıştır. Tablo 22'den görüldüğü üzere izod darbe dayanımı değerini en çok etkileyen faktör %RePA6 oranı, ikinci faktör devir, üçüncü faktör tork ve dördüncü faktör eriyik sıcaklık değeridir.

Şekil 9: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Çıktısına Ait S/N Oranına Göre Etkiler Grafiği



Şekil 9 incelendiğinde izod çentikli darbe dayanımı değerinin herhangi bir faktör ile doğrusal ya da ters bir ilişkisinin olmadığı görülmektedir.

Yüksek izod çentikli darbe dayanımı değeri amaçlandığında tork faktörü birinci seviye, devir için ikinci seviye, eriyik sıcaklık ve %RePA6 oranı üçüncü seviye seçimi doğru olacaktır. İzod çentikli darbe dayanımı değerini maksimuma getireceğini düşündüğümüz Tablo 24'teki parametreler doğrulama deneyi için öngörülmüştür.

Tablo 24: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Doğrulama Deney Düzeni

İzod Çentikli Darbe Dayanımı			
%RePA6 Oranı	Tork (Nm)	Devir (RPM)	Sıcaklık (° C)
69	75	600	265

3.3.6. Doğrulama Deneyleri

Taguchi deney tasarımı L9 ortogonal dizilimi ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları doğrultusunda maksimum çekme dayanımı karakteristiği için Tablo 10 da yer alan proses parametrelerinin optimal proses parametreleri olacağı sonucuna varılmıştır.

Tablo 25: Maksimum Çekme Dayanımı Doğrulama Deneyi Tablosu

Maksimum Çekme Dayanımı					
Doğrulama Deney No	%RePA6 Oranı	Tork (Nm)	Devir (RPM)	Sıcaklık (° C)	Deney Sonucu
1	0	80	650	255	181
2	0	85	650	255	182

Tablo 25'te yer alan seviyelerde deneyler gerçekleştirilmiş olup maksimum çekme dayanımı değeri tork seviyesi 85 Nm tutulan deneyde ortalama 182 MPa ve tork seviyesi 80 Nm tutulan deney şartlarında ortalama 181 MPa olarak ölçülmüştür. Deneylerden elde edilen değerlerin gözlenen maksimum değerler olduğunu söylemek oldukça zor. Çünkü 3. deney ortalamasının 181 MPa olduğu da göz önünde bulundurursak bu kadar az bir farkın çeşitli hatalardan kaynaklı olabileceği ihtimali de bulunmaktadır.

İzod çentikli darbe dayanımı karakteristiği için ön görülen optimal proses parametreleri aşağıdaki tablo 26'da gösterildiği gibidir.

Tablo 26: İzod Çentikli Darbe Dayanımı Doğrulama Deneyi Tablosu

İzod Çentikli Darbe Dayanımı				
%RePA6 Oranı	Tork (Nm)	Devir (RPM)	Sıcaklık (° C)	Deney Sonucu (kJ/ m ²)
69	75	600	265	22

İzod çentikli darbe doğrulama deneyi sonucuna baktığımızda değer 22 kJ/m² olarak ölçülmüştür. Bu noktada Taguchi deney tasarımı ile elde edilen öngörülen optimum şartların doğrulandığını söyleyebiliriz.

3.3.7. Deney Sonuçları

L9 Ortogonal dizilimi göre yapılan deney sonuçlarını incelediğimizde elde ettiğimiz sonuçlar şu şekilde olmuştur:

Maksimum çekme dayanımı için Taguchi analiz sonuçlarına baktığımızda ise: En büyük en iyi modeline göre S/N oranları incelendiğinde çekme dayanımı değerini en çok etkileyen faktörün %RePA6 oranı, ikinci faktörün ise tork değeri olduğunu görmekteyiz.

Yüksek çekme dayanımı için optimal proses parametrelerini tayin etmek üzere aşağıdaki iki seçenek öngörülmüştür:

Seçenek 1: Tork 3. seviye, devir 3. seviye, eriyik sıcaklık 2. seviye, %RePA6 oranı 1. seviye. Seçenek 2: Tork 2. seviye, devir 3. seviye, eriyik sıcaklık 2. seviye, %RePA6 oranı 1. Seviye olacak şekilde Tablo 19'daki gibi düzenlenmiştir. Her iki seçenek de uygulanmış ve doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deneyleri sonucunda her iki seçeneğin en yüksek maksimum çekme dayanımını verdiğini ancak 3. nolu deney değerlerine de yakın olduğu gözlenmiştir.

En büyük en iyi modeline göre S/N oranlarını incelediğimizde izod çentikli darbe değerini en çok etkileyen faktörün %RePA6 olduğunu, ikinci etkileyen faktörün ise devir olduğu gözlemlendi.

Deney sonuçlarına göre optimal parametrelerin şu şekilde olacağı sonucuna varıldı:

Tork 1. seviye, devir 2. seviye, eriyik sıcaklık ve %RePA6 oranı 3. seviye olacak şekilde düzenlenmiştir.

Öngörülen optimal proses parametrelerinde üretim gerçekleştirilmiş olup testleri yapılmış ve sonuçta en yüksek darbe dayanımı gözlenmiş böylece bu parametrelerin optimal parametreler olduğu doğrulanmıştır.

SONUÇ ve YORUMLAR

Sonuçları incelendiğinde çekme dayanımı için doğrulama deneylerinden elde edilen sonuçlar ile taguchi deney tasarımıyla yer alan 3 nolu deneyde elde ettiğimiz sonuçlar birbirine çok yakındır. Taguchi deney tasarımı 2 ve 3 nolu deneyler ile doğrulama deneyleri için belirlenen 1 ve 2 nolu seçeneklere ait sonuçlar karşılaştırıldığında şıkş sonuca varılmaktadır. Birincisi; eriyik sıcaklığı 255⁰ C, tork değeri 80 Nm ve reçete içeriğine geri dönüşüm malzeme dahil edilmemiş ürün çalışmasında devrin 600 RPM den 650 RPM'e çıkarılmasının çekme dayanımı üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturduğudur. İkinci tespit ise; yine reçete içeriğine geri dönüşüm malzeme dahil edilmeden 650 RPM devir ve 85 Nm tork ile gerçekleştirilen üründe sıcaklığın 255⁰ C den 265⁰ C' ye çıkarılması çekme dayanımı değeri üzerinde anlamlı bir farklılık yaratmamıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarını değerlendirirken burada amaçlanan iki husus göz önüne alınmalıdır. Bu noktada en yüksek çekme dayanımını gerçekleştirecek proses parametrelerine odaklanmışken aynı zamanda reçete maliyetini düşürme amaçlandığı unutulmamalıdır. Tüm çalışma içerisinde 2 nolu doğrulama deneyi, hem maksimum çekme dayanımı değeri verdiği hem de 3 nolu deney ile aralarındaki sıcaklık farkından dolayı nispeten daha düşük maliyete sahip olması nedeniyle bu çalışma için optimum değerlerdir olduğu söylenebilir.

Çalışma S/N değeri en iyi en büyük modeline göre uygulandığı için maksimum çekme dayanımı değeri için reçetede geri dönüşüm poliamid 6' ya yer verilemedi. Ancak bu konuda aynı özelliklere sahip, yakın lokasyonda, benzer çalışma yapacak olanlar ve kalite karakteristiği için maksimum değere yakın değerleri hedefleyenler; minimum %10 RePA6 ve minimum 600 RPM devir hızından başlayacak şekilde deney tasarım çalışması yapabilirler.

İzod çentikli darbe kalite karakteristiği doğrulama deneylerinden elde edilen sonuç amaca uygun olarak en yüksek değeri vermiştir. Ancak %69 oranında RePA6 kullanımı rengi etkileyeceği için bu ürünün natürel renkteki parçalar için kullanımı uygun olmayacaktır. Natürel ürünlerde kullanılmak üzere daha düşük oranda %RaPA6 oranı ile deney tasarımı oluşturulmalı ancak bu oranın izod çentikli darbe dayanımı değerinin başka bir katkı kullanılmaması durumunda düşüreceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Genel anlamda faktörler arası etkileşimi yok sayan Taguchi deney tasarımı yöntemi ile plastik kompozit üretimi prosesinde gerçekleştirilen uygulama sonucunda

istenilen hedefe ulaşıldığı gözlenmiştir. Ancak bu alanda yapılacak çalışmalarda mümkün olduğunca deney sayısını arttırmak daha verimli sonuçlar almak açısından önemlidir. Bu çalışma plastik kompozit üretimi sektöründe, reçete ve proses optimizasyonu için Taguchi deney tasarımının kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Ancak üretimin çevresel etmenlerden oldukça fazla etkilendiği ve çalışmadan elde edilen sonuçların üretim gerçekleştirildiği lokasyona göre değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Ek olarak proses parametreleri için belirlenmiş olan özellikle maksimum seviyelerin yine üretim makinesinin özelliklerine göre değişiklik gösterebileceği atlanmaması gereken bir diğer konudur. Bu alanda çalışma yapacak araştırmaların bu anlamda çevresel koşulların özellikleri ile makine kapasitesi ve özelliklerine ait bilgileri elde edip değerlendirmesi önemlidir.



KAYNAKÇA

Aksu, B. (2010). *Shainin ve Taguchi Yöntemleri ve Bir Uygulama Üzerinde Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Andaç, A. (1996). *Kalite Güvencesi Sistemi Standardının Yorumu ve Uygulama Örnekleri*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi.

Antony, J. (2003). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*. Amsterdam: Elsevier Ltd.

Antony, J. ve Antony F. J. (2001). Teaching The Taguchi Method to Industrial Engineers. *Work Study*. 50(4):141-149.

Awotwe-Otoo, D., Agarabi, C., Wu G. K., Casey, E., Read, E., Lute, S., Brorson, K. A., Khan, M. A., Shah, B. K. (2012). Quality by Design: Impact of Formulation Variables and Their Interactions on Quality Attributes of A Lyophilized Monoclonal Antibody. *International Journal of Pharmaceutics*. 438(1-2): 167-175.

Aydın, Z. B. ve Kargı, A. S. V. (2018). İstatistiksel Kalite Kontrol Teknikleri ile Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi Araştırma Dergisi*. 16(1): 46.

Baynal, K. (2003). *Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama*. (Doktora Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Bisgaards, S. (1992). Industrial Use of Statistically Designed Experiments: Case Study References and Some Historical Anecdotes. *Quality Engineering*. 4(4): 547-562.

Box, G. E. P. ve Behnken, D. W. (1960). Some New Three Level Designs for The Study of Quantitative Variables. *Technometrics*. 2(4): 455-475.

Carter, C. W. (1979). Protein Crystallization Using Incomplete Factorial Experiments. *The Journal of Biological Chemistry*. 254(23): 12219-12223.

Çelik, C. (1993). *Kalite Geliştirmede Tasarım Eniyileme Problemine Taguchi Yöntemlerinin Uygulanmasında Sistemik Bir Yaklaşım*. (Doktora Tezi). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demir, L. (2004). *İstatistiksel Deney Tasarımı Yöntemi ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulanması*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demir, Ö., Aksu, B. ve Özsoy, Y. (2017). İlaç Formülasyonu Geliştirilmesinde Deney Tasarımı (DoE) Seçimi ve Kullanımı. *Marmara Pharmaceutical Journal*. 21(2): 216-227.

Doğan, İ. ve Doğan, N. (2005). Kuzularda Doğum Ağırlığının Kalite Göstergesi Olarak Kullanılması ve Bunu Etkileyen Faktörlerin Taguchi Yaklaşımı ile İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*. 24(1): 53-58

DSM Engineering Plastics, Technical Datasheet: Akulon® N22D, [https://www.channelpa.com/download-product-pdf/index.php?id=158396&name=Akulon %C2 % AE%20N22D](https://www.channelpa.com/download-product-pdf/index.php?id=158396&name=Akulon%20N22D) (05.06.2019 17:21)

Efil, İ. (1996). *Toplam Kalite Yönetimi ve Toplam Kaliteye Ulaşmada Önemli Bir Araç ISO 9001 Kalite Güvence Sistemi*. Bursa: Alfa Aktüel Yayınları.

Gencer, İ. (2007). *Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Günay, M., Kaçal, A. ve Turgut, Y. (2011). Optimization of Machining Parameters in Milling Of Ti-6Al-4V Alloy Using Taguchi Method. *E-Journal of New World Sciences Academy*. 6(1): 428-440.

Goodman, J. ve Wyld, D. (2001). The hunt for the Red X: A Case Study In The Use of Shainin Design of Experiment (DOE) In An Industrial Honing Operation. *Management Research News*. 24(8/9): 1-17.

Goswami, A. ve Kumar, J. (2014). Investigation of Surface Integrity, Material Removal Rate and Wire Wear Ratio for WEDM of Nimonic 80A Alloy Using GRA and Taguchi Method. *Engineering Science and Technology,an International Journal*. 17(4): 173-184.

Gottipati, R. ve Mishra, S. (2010). Process Optimization of Adsorption of Cr(VI) on Activated Carbons Prepared From Plant Precursors by A Two-Level Full Factorial Design. *Chemical Engineering Journal*. 160(1): 99-107.

Gökçe, B. ve Taşgetiren, S. (2009). Kalite İçin Deney Tasarımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 6(1): 71-83.

Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2001). Kalite Maliyetlerine Genel Bir Bakış: Taguchi Kayıp Fonksiyonu. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 7(2): 287-293.

Jin, S- J., Yoo, Y-H., Kim, M- S., Kim, J- S., Park, J- S. ve Hwang, S- J. (2008). Paroxetine Hydrochloride Controlled Release POLYOX Matrix Tablets: Screening Of Formulation Variables Using Plackett-Burman Screening Design. *Archives of Pharmacal Research*. 31(3): 399-405.

Jung, Y. C., Bharat, B. (2007). Wetting Transition of Water Droplets on Superhydrophobic Patterned Surfaces. *Scripta Materialia*. 57(12): 1057-1060.

Kaya, A. (2005). Kalite Geliştirmede Deney Tasarımı ve Taguchi Yöntemi. *Gıda*. 30(1): 26.

Khan, M. A., Sastry, S. V., Vaithiyalingam, S., Agarwal, V., Nazzal, S. ve Reddy, I. K. (2000). Captopril Gastrointestinal Therapeutic System Coated with Cellulose Acetate Pseudolatex: Evaluation of Main Effects of Several Formulation Variables. *International Journal of Pharmaceutics*. 193(2): 147-156.

Khavkar, R., Vasudevan, H. ve Deshpande. G. (2018). Application of Shainin Methodology To Reduce Rejections In Spur Gear Manufacturing. *Materialstoday: Proceedings*. 5(5/2): 12003-12008.

Kompozit Sanayiciler Derneği. (29.04.2017). Türk Kompozit Sektörü 2015 Yılı Değerlendirmesi ve 2016 Yılı Beklentileri. Composites Turkey. <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/03/Composites-Turkey-12.pdf>, (22.04.2019).

Kompozit Sanayiciler Derneği. (18.07.2018). Türkiye Kompozit İhracatı. Composites Turkey. <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2018/07/COMPOSITES-SAYI-19.pdf>. (22.04.2019).

Kovancı, A. (2001). *Toplam Kalite Yönetimi Fakat Nasıl?* İstanbul: Sistem Yayınları.

Küçük, O. (2016). *Toplam Kalite Yönetimi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Mercan, Ş. (2019). *Deney Tasarımı ve Yapay Zeka Tekniklerinden Yararlanarak Ürün Kalitesinin Geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi) Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir

Montgomery, D. (2005). *Design and Analysis of Experiment*. ABD: John Wiley & Sons, Inc.,

Okumuş, F. (2015). *Taş Yünü Üretim Tesisinde Hata Türü ve Etkileri Analizi İle Taguchi Deney Tasarımının Birlikte Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Özdamar, K. (2009). *Deneyler*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi.

Özdemir, İ. (2018). *Kesirli Faktöriyel Tasarım ve Taguchi Yönteminin Kompozit Malzeme Üretimi Üzerine Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Özensoy, E. (1982). *Teknolojik ve Bilimsel Araştırmalarda Modern Deney Tasarımcılığı ve Optimizasyon Yöntemleri*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları.

Özler, C. (1997). *Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacı ile Kullanılması Üzerine Bir Araştırma*. (Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Öztop, M. (2007). *Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi ile Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kayseri: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

PAGEV. Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2019/6, <https://www.pagev.org> (06.08.2019 21:42)

Plackett, R. L, ve Burman, J. P. (1946). The Design of Optimum Multifactorial Experiments. *Biometrika*. 33 (4): 305-325.

Rahman, Z., Zidan, A., S., Habib, M., J. ve Khan M., A. (2010). Understanding The Quality of Protein Loaded PLGA Nanoparticles Variability by Plackett-Burman Design. *International Journal of Pharmaceutics*. 389(2): 186-194.

Rekap, K., Shaik, M. (2005). *Statistical Design of Experiments with Engineering Applications*. ABD: CRC Pres.

Ross, P. J. (1989). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Co.

Savaşkan, M., Taptık, Y. ve Ürgen, M. (2004). Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu. *İTÜ Mühendislik Dergisi*. 3(6): 117-128.

Shah, M. ve Pathak, K. (2010). Development and Statistical Optimization of Solid Lipid Nanoparticles of Simvastatin by Using 23 Full-Factorial Design. *AAPS PharmSciTech*. 11(2), 2010: 489-496.

Sudeepan, J., Kumar, K., Barman, T. K. ve Sahoo. P. (2014). Study Of Friction And Wear Of ABS/Zno Polymer Composite Using Taguchi Technique. *Procedia Materials Science*. 6(1): 391-400.

Şanyılmaz, M. (2006). *Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şirvancı, M. (1997). *Kalite için Deney Tasarımı*. İstanbul: Literatür Yayınları.

Şişecam A.Ş. Şişecam PA2(D). [http://www.sisecamkimyasallar.com/sites/catalogs/tr/Documents/buss-seg/Cam-Elyaf/kipma/sisecam-PA2\(D\).pdf](http://www.sisecamkimyasallar.com/sites/catalogs/tr/Documents/buss-seg/Cam-Elyaf/kipma/sisecam-PA2(D).pdf) (05.06.2019 18:33)

Taguchi, G., Chowdhury S., Wu Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Tague, N. R. (2005). *Quality Toolbox*. Milwaukee: ASQ Quality Press

Taptık, Y. ve Keleş, Ö. (1998). *Kalite Savaş Araçları*. İstanbul: Kalder Yayınları.

Taylan, D. (2009). *Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması*. (Yüksek Lisans Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tekin, M. (1999). *Toplam Kalite Yönetimi*. Konya: Kuzucular Ofset.

Thamizhmanii, S., Saporudin S. ve Hasan, S. (2007). Analyses of Surface Roughness By Turning Process Using Taguchi Method. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 20(2): 503-506

Topçu, M. R. (2018). *Uygulamalı Bir Laboratuvar Çalışması Üzerinden Yates ve Taguchi Deney Tasarımlarının Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tuğral, N. (2019). *Cnc Makinesinde Gerçek Mermerlerin Kesme Genişliğinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Taguchi Yöntemiyle İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uslu, T. (2007). Faktöriyel Tasarım ve Süreç Optimizasyonu. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 9(1): 534-551.

Uyran B. (2002). Toplam Kalite Yönetimi. *Mevzuat Dergisi*. 5(55): 2-5.

Velibor, M. ve Milos, M. (2011). Optimization of Surface Roughness In Turning Alloy Steel by Using Taguchi Method. *Scientific Research and Essays*. 6(16): 3474-3484.

Yerlikaya, F. (2013). *Paklitaksel Nanopartiküllerinin Kalite Tasarımı İle Geliştirilmesi Ve Değerlendirilmesi*. (Doktora Tezi). Ankara: Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, O. (2010). *Standart Seramik Yapıştırıcılarının Önemli Kalite Göstergelerinin Analizinde Taguchi Yöntemi*. (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zheng, Y., Gu, F., Ren, Y., Hall, P. Ve Miles, N., J. (2017). Improving Mechanical Properties of Recycled Polypropylene-Based Composites Using Taguchi and ANOVA Techniques. *The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering Bildiri Özetleri Kitabı* (ss.287-292). Kanagawa. 8-10 Nisan 2017.

Zidan, S. A., Sammour, O. A., Hammad, M. A., Megrab, N. A., Habib, M. J. ve Khan, M. A. (2007). Quality By Design: Understanding The Formulation Variables of A Cyclosporine A Self-Nanoemulsified Drug Delivery Systems by Box-Behnken Design and Desirability Function. *International Journal of Pharmaceutics*. 332(1-2): 55-63.