

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KESİRLİ FAKTÖRİYEL TASARIM VE TAGUCHİ YÖNTEMİNİN
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ ÜZERİNE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İBRAHİM ÖZDEMİR**

İSTATİSTİK ANABİLİM DALI

**MART 2018
SAMSUN**

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KESİRLİ FAKTÖRİYEL TASARIM VE TAGUCHI YÖNTEMİNİN
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ ÜZERİNE UYGULANMASI**

İBRAHİM ÖZDEMİR

İSTATİSTİK ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2018**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

İbrahim Özdemir tarafından hazırlanan “Kesirli Faktöriyel Tasarım ve Taguchi Yönteminin Kompozit Malzeme Üretimi Üzerine Uygulaması” adlı tez çalışması 09/03/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman Doç. Dr. Pelin KASAP
İstatistik Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Prof. Dr. Vedat SAĞLAM
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İstatistik Anabilim Dalı

Üye Doç. Dr. Pelin KASAP
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İstatistik Anabilim Dalı

Üye Yrd. Doç. Dr. Bilal Barış ALKAN
Sinop Üniversitesi
İstatistik Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım. ... / ... / 20..

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

09.03.2018

İbrahim ÖZDEMİR

Anneme, Babama,

Çağın Kayra Durmuş'a ve Yusuf Maraşlıoğlu'na,

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KESİRLİ FAKTÖRİYEL TASARIM ve TAGUCHI YÖNTEMİNİN KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ ÜZERİNE UYGULAMASI

İbrahim Özdemir

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İstatistik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Pelin Kasap

Klasik deney tasarımı yöntemlerinin endüstri alanında kullanımı bazı durumlarda verimli olamamaktadır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da hızlı bir şekilde artmakta, maliyetler yükselmekte, uygulamalar zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda az sayıda deney ile en uygun sonucun belirlenebileceği Taguchi Deney Tasarımı yönteminin uygulanması daha verimli ve kolay olacaktır. Dr. Taguchi, kendi adıyla anılan bu yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesinde ve değerlendirilmesinde verimliliği artıracak bir çözüm geliştirmiştir. Taguchi'nin deney düzenlemek için geliştirdiği yöntemlerin temelini dikey dizimler oluşturmaktadır. Ayrıca Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları Sinyal/Gürültü (Signal/Noise – S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Taguchi, 70'in üzerinde S/N oranından bahsetmektedir. En çok bilinen üç tanesi; en küçük en iyi, nominal en iyi ve en büyük en iyi S/N oranlarıdır. Problemin amacına göre S/N oranı, kalite değerlerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanabilir.

Yapı endüstrisinde birçok malzeme kullanılmaktadır. Fakat bir yandan yakıt giderlerinin artması bir yandan da ülkemizin deprem kuşağında olması bilim insanlarını ucuz, dayanıklı ve yalıtkan malzeme türleri aramaya zorlamaktadır. Alçı kompozitler, bu amaca yönelik kullanılabilecek malzemelerdir. Tek başına alçı, ısıyı az iletmesi, hafif ve ucuz olması gibi önemli avantajlara sahiptir. Fakat tüm bunların yanı sıra alçı, mekanik dayanımı zayıf bir malzemedir. Bu yüzden olası kullanım alanlarını genişletmek ve sahip olduğu özellikleri geliştirmek için dolgu malzemeleri ile güçlendirilmesi gerekmektedir.

Hem alçının kullanımını artırmak hem de doğada atık olan malzemeleri azaltmak için alçı, kırık atık araba lastiği ve e-camı ile birleştirilerek sağlam bir kompozit malzeme oluşturmak için malzeme mühendisliğinde deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonuçları bu tez çalışmasında kullanılan orijinal verilerdir. Bu çalışmada alçı kompozit malzemenin oluşturulduğu faktörlerin önemi ve faktör seviyelerinin seçimi araştırılmıştır. Ayrıca daha iyi bir kompozit malzeme oluşturmak için faktör seviyelerinin hangi kombinasyonunun kullanılması gerektiği araştırılmış ve elde edilen bulgular tartışılmıştır. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan verilerin analizinde kesirli faktöriyel tasarım ve Taguchi yöntemi kullanılmış olup, faktörlerin hangi seviyelerinin kullanılacağı sonucunu verdiği için Taguchi yönteminin bu amaç için en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Mart 2018, 95 sayfa

Anahtar Kelimeler: Taguchi yöntemi, Faktöriyel tasarım, Kesirli faktöriyel tasarım,

ABSTRACT

Master's Thesis

FRACTIONAL FACTORIAL DESIGN and TAGUCHI METHOD APPLICATION on THE PRODUCTION of COMPOSITE MATERIAL

İbrahim Özdemir

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Statistics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Pelin Kasap

The use of classical experimental design methods in industry is not efficient. As the number of factors affecting the system increases, the number of experiments required increases rapidly, costs rise, and applications get more difficult. In such cases, implementation of the Taguchi Experiment Design method giving the optimal result determined with a small number of experiments, will be more efficient and easier to apply. Dr. Taguchi has brought a solution that increases the efficiency in the realization and evaluation of the experiments with this approach, which is called with his own name. Here, the basis of the methods being developed for experimentation is vertical arrays. In addition, the test results obtained in the Taguchi Experiment Design method are evaluated by converting them into Signal/Noise (S/N) ratio. Taguchi have mentioned about S/N ratio over 70. The three most known are; the lower-the-better, the nominal-the-better, and the higher-the-better S / N ratios. For the purpose of the problem, the S / N ratio can be calculated differently according to the value to which the quality values are targeted.

Many materials are used in the construction industry, but the increase in fuel costs and the fact that our country is on the earthquake are causing researchers to look for cheap, durable and insulating materials. Gypsum composites are materials that can be used for this purpose. The gypsum alone has significant advantages such as low heat transmission, light weight and low cost. But all of this, as well as gypsum, is a poor mechanical strength. Therefore, it needs to be supported with filling materials to expand possible areas of use and develop the features that it possesses.

Gypsum were tested in material by mixing with nick vehicle waste tire and e-glass, in order to increase both the use of gypsum and reduce waste materials in the environment. The results of these experiments are the original ones used in the study of this thesis. In this study, selection of factors' level and the importance of gypsum composite material were investigated. It is also investigated which combination of factor levels should be used to produce a better composite material and the outcomes are discussed. Fractional factorial design and the Taguchi method are used in the analysis of data used in the production of composite materials, then since the results give which factors can be used, Taguchi method was found to be the most suitable method for this purpose.

March 2018, 95 pages

Key Words: Taguchi method, Factorial design, Fractional factorial design

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca her daim yanımda olan, bilgilerini ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Pelin KASAP'a; sadece yol gösterdiği için değil aynı zamanda yol açtığı için, ufkumu genişlettiği için ve en önemlisi bilgi birikimimi daha da çok artırdığı için teşekkür ederim.

Yardımlarını esirgemeyen Selma Gütmen'e ve Samsun'da kaldığım süre boyunca her zaman yanımda olan ve bana desteklerini gösteren arkadaşlarım; Hasan Hasbaş, Esmâ Akdemirci ve Tuba Çelebi'ye teşekkür ederim.

Maddi ve manevi olarak desteklerini her zaman gösteren, bana her anlamda destek olan: Firdevs ve Meriç Durmuş'a; Fikriye ve Celal Maraşlıoğlu'na ve en önemlisi annem Emine ÖZDEMİR'e ve babam Abdurrahman ÖZDEMİR'e emeklerinden ve hoşgörülerinden dolayı teşekkür ederim.

Mart 2018, Samsun

İbrahim Özdemir

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması	3
2. DENEY TASARIMI	7
2.1. Deney Tasarımının Dayandığı Temel İlkeler	8
2.2. Faktöriyel Tasarım.....	12
2.2.1. Kesirli faktöriyel tasarım	16
2.3. Latin Kare Deney Tasarımı	19
2.4. Greko Latin Kare Deney Tasarımı	22
3. TAGUCHİ YÖNTEMİ	25
3.1. Taguchi Yöntemin Uygulama Adımları	26
3.2. Çevrim Dışı ve Çevrim İçi Kalite Kontrolü	28
3.3. Taguchi Yönteminde Kayıp Fonksiyonu.....	31
3.4. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranları	33
3.5. Varyasyon Ölçümü	34
3.6. Taguchi Yöntemi Teknikleri	35
3.6.1. Dikey dizimler	35
3.6.1.1. Dikey dizimlerin oluşturulması.....	38
3.6.2. Doğrusal grafikler	42
3.6.3. Üçgensel çizelgeler	43
3.7. Taguchi Yönteminde ANOVA.....	45
3.8. Taguchi Yöntemi ile Klasik Deney Tasarımı Arasındaki Farklar.....	47
3.9. Taguchi Yöntemine Getirilen Eleştiriler	48
4. UYGULAMA.....	51
4.1. Faktöriyel Tasarım ile Sonuçların Elde Edilmesi.....	52
4.1.1. Kompozit malzemenin basınç dayanımı üzerine faktöriyel tasarım uygulaması	52
4.1.2. Kompozit malzemenin ısı iletim katsayısı üzerine faktöriyel tasarım uygulaması	54
4.1.3. Kompozit malzemenin Brinell sertlik değeri üzerine faktöriyel tasarım uygulaması	57
4.2. Kesirli Faktöriyel Tasarım ile Sonuçların Elde Edilmesi.....	59
4.2.1. Kompozit malzemenin basınç dayanımı üzerine kesirli faktöriyel tasarım uygulaması	60
4.2.2. Kompozit malzemenin ısı iletim katsayısı üzerine kesirli faktöriyel tasarım uygulaması	61
4.2.3. Kompozit malzemenin Brinell sertlik değeri üzerine kesirli faktöriyel tasarım uygulaması	62
4.3. Taguchi Yöntemi ile Sonuçların Elde Edilmesi	64

4.3.1. Kompozit malzemenin basınç dayanımı üzerine Taguchi yöntemi ile uygulaması	64
4.3.2. Kompozit malzemenin ısı iletim katsayısı üzerine Taguchi yöntemi ile uygulaması	71
4.3.3. Kompozit malzemenin Brinell sertlik değeri üzerine Taguchi yöntemi ile uygulaması	78
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

KISALTMALAR

S/N	: Sinyal/Gürültü
ANOVA	: Analysis of Variance
KT	: Kareler Toplamı
KO	: Kareler Ortalaması
SD	: Serbestlik Derecesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Taguchi yöntemi kayıp fonksiyonu.....	32
Şekil 3.2. L_4 standart doğrusal grafiği	43
Şekil 4.1. Basınç dayanımı için S/N oranları ile faktör seviyeleri arasındaki ilişki.....	70
Şekil 4.2. Isı iletim katsayısı için S/N oranları ile faktör seviyeleri arasındaki ilişki	77
Şekil 4.3. Brinell sertlik değeri için S/N oranları ile faktör seviyeleri arasındaki ilişki.....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. 2^2 faktöriyel tasarımın deneme kombinasyonları	14
Çizelge 2.2. 2^2 faktöriyel tasarımda ANOVA çizelgesi.....	15
Çizelge 2.3. 3^3 deney düzeninin yerleşimi	17
Çizelge 2.4. 3^3 faktöriyel tasarımın 3^{3-1} kesirli faktöriyel tasarıma ayrılması	18
Çizelge 2.5. 4×4 'lük Latin kare deneme düzeni.....	20
Çizelge 2.6. Latin kare tasarımı için ANOVA çizelgesi.....	21
Çizelge 3.1. $L_4(2^3)$ dikey dizimi	36
Çizelge 3.2. $L_8(2^7)$ dikey dizimi	37
Çizelge 3.3. Taguchi'nin 2 seviyeli dikey dizimleri	37
Çizelge 3.4. 3×3 boyutlu L_1 ve L_2 Latin kareleri	38
Çizelge 3.5. 3×3 boyutlu Greko Latin karesi	38
Çizelge 3.6. 3×3 boyutlu kodlanmış Greko Latin karesi.....	39
Çizelge 3.7. 3×3 boyutlu L_4 ve L_5 Latin kareleri	40
Çizelge 3.8. 3×3 boyutlu kodlanmış Greko Latin karesi.....	40
Çizelge 3.9. $L_9(3^4)$ dikey dizim çizelgesi	41
Çizelge 3.10. $L_4(2^3)$ dikey dizimi yerleşimi	43
Çizelge 3.11. $L_{27}(3^{13})$ üçgensel çizelgesi.....	44
Çizelge 3.12. $L_{27}(3^{13})$ üçgensel çizelgesi sonucu oluşan $L_{27}(3^{13})$ dikey dizimi	45
Çizelge 3.13. 3 faktörlü ve 3 seviyeli Taguchi yöntemi ANOVA çizelgesi.....	46
Çizelge 4.1. Faktör seviyeleri için basınç dayanımı sonuçları.....	52
Çizelge 4.2. Normallik testi	53
Çizelge 4.3. Faktöriyel tasarım basınç dayanımı ANOVA analizi.....	54
Çizelge 4.4. Faktör seviyeleri için ısı iletim katsayısı sonuçları.....	55
Çizelge 4.5. Normallik testi	55
Çizelge 4.6. Faktöriyel tasarım ısı iletim katsayısı ANOVA analizi.....	56
Çizelge 4.7. Faktör seviyeleri için Brinell sertlik değeri sonuçları.....	57
Çizelge 4.8. Normallik testi	58
Çizelge 4.9. Faktöriyel tasarım Brinell sertlik değeri ANOVA analizi.....	59
Çizelge 4.10. Basınç dayanımının kesirli faktöriyel tasarım ANOVA sonuçları	60
Çizelge 4.11. Isı iletim katsayısının kesirli faktöriyel tasarım ANOVA sonuçları ...	62
Çizelge 4.12. Brinell sertlik değerinin kesirli faktöriyel tasarım ANOVA sonuçları	63

Çizelge 4.13.	Faktörlerin serbestlik dereceleri.....	65
Çizelge 4.14.	Basınç dayanımı deneyi için faktör seviyeleri ve S/N oranı.....	65
Çizelge 4.15.	Basınç dayanımı için Taguchi yöntemi ANOVA çizelgesi	69
Çizelge 4.16.	Faktörlerin serbestlik derecesi	72
Çizelge 4.17.	Isı iletim katsayısı deneyi için faktör seviyeleri ve S/N oranı	72
Çizelge 4.18.	Isı iletim katsayısı için Taguchi yöntemi ANOVA çizelgesi	76
Çizelge 4.19.	Faktörlerin serbestlik derecesi	79
Çizelge 4.20.	Brinell sertlik değeri deneyi için faktör seviyeleri ve S/N oranı	79
Çizelge 4.21.	Brinell sertlik değeri için Taguchi yöntemi ANOVA çizelgesi.....	83

1. GİRİŞ

Birçok deney, iki veya daha fazla faktörün etkilerini incelemeyi içerir. İki ya da ikiden fazla faktörün ana etkilerini ve etkileşim etkilerini aynı anda araştırmak için kullanılan tasarım literatürde faktöriyel tasarım adını alır. Bu tasarım, Fisher (1935) ve Yates (1937) tarafından önerilmiştir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010; Montgomery, 2000). Faktöriyel tasarım, deney tasarımındaki olası faktör-seviye kombinasyonlarının tamamını gerektirir (Mason vd, 2003). Bu tasarım yapısı, teorisi ve uygulamalardaki zenginliği nedeniyle tasarımların en önemli sınıfı olarak kabul edilebilir (Taguchi vd, 2005). Ancak kaynak yeterli olmadığında ya da yüksek dereceli etkileşimlerin önemli olmadığı varsayıldığında faktöriyel tasarım yerine yarı tekrar ($1/2$), dörtte bir tekrar ($1/4$) vb. yapılarak kesirli faktöriyel tasarım uygulanabilir. Böylece kesirli faktöriyel tasarım kullanılarak tüm denemelere ihtiyaç duyulmaksızın denemelerin bir kısmı kullanılmaktadır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Deney tasarımının temel prensipleri Japonya’da geniş bir kullanım alanına sahiptir, bu bağlamda Japon mühendisler tarafından deney tasarımına büyük ilgi gösterilmiş ve bu tasarımın yöntemleri güçlü bir mühendislik aracı haline gelmiştir. Japon bilim insanı Genichi Taguchi, 1940’lı yıllardan itibaren, deney tasarımına yeni bir yaklaşım getirerek kendi adını taşıyan Taguchi yöntemini geliştirmiştir (Saat, 2000). Bu yöntem çevre koşullarından etkilenmeyen, düşük varyasyona sahip, sağlam endüstriyel ürün ve süreç tasarımı sağlamaktadır (Şirvancı, 1997).

Dr. Taguchi, deney tasarımı yöntemine kattığı yeniliklerle ve İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japonya’daki en önemli projelerden birisi olan Japon telefon sisteminin geliştirilmesi projesinde yaptığı çalışmalarındaki başarısıyla adını dünyaya duyurmuştur (Roy, 1990). Taguchi, birçok ürünün geliştirilmesinde sağlam tasarımını kullandığından 1962’de Deming Ödülüne layık görülmüştür (Taylan, 2009).

Üretime yeni bir bakış açısı ve yöntemi kazandıran Dr. Taguchi, kalitenin üretim öncesinde başladığını ve müşteriye ulaşana kadar devam ettiğini belirtmiştir. Bu bağlamda, üretimin başlamasından önce oluşan kalite kontrolüne off-line kalite kontrolü (bu çalışmada çevrim dışı kalite kontrolü kullanılacaktır) demiştir. Üretimden itibaren oluşan kalite kontrolüne (ürünün, müşteri tarafından servise veya

bakıma gönderilmesi de dâhil olmak üzere) ise on-line kalite kontrolü (bu çalışmada çevrim içi kalite kontrolü kullanılacaktır) demiştir. Kayıp fonksiyonu, Taguchi kalite felsefesinin temelinde yer almaktadır. Belirlenmiş bir hedeften sapmalar sonucunda, hedef etrafında aşırı değişkenliğe bağlı olarak kayıplar meydana gelir. Taguchi bu kayıpları karesel kayıp fonksiyonunu ile göstermiştir. Kayıp fonksiyonu üründeki kalitesizlikten dolayı meydana gelen tüketici memnuniyetsizliğinin derecesini belirleyen sürekli bir fonksiyondur.

Taguchi Signal/Noise (S/N) (bu çalışmada Sinyal/Gürültü kullanımı tercih edilmiştir) adını verdiği bir istatistik tanımlamıştır. S/N oranının amacı; kalite karakteristiğinin belirli hedefe bağlı performansını ölçmeye çalışır. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder.

Taguchi teknik olarak ise; dikey dizimleri, doğrusal grafikleri ve üçgensel çizelgeleri kullanmıştır. Taguchi'nin deney düzenlemek için geliştirdiği yöntemlerin temelini dikey dizimler oluşturur. Faktörler ve etkileşimlerin dikey dizimlerin hangi sütununa atanacağını belirlemek için ise doğrusal grafikler ve üçgensel çizelgeler kullanılır.

Son olarak da Taguchi'nin S/N oranına göre geliştirmiş olduğu ANOVA analizi; incelenen faktörlerin, farklı seviyelerinin nasıl bir değişkenliğe yol açtıklarını göstermektedir. Ayrıca elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde deney tasarımının temellerinden ve faktöriyel tasarım, kesirli faktöriyel tasarım, Latin kare tasarımı ve Greko Latin kare tasarımları gibi bazı deney tasarımı modellerinden bahsedilmiştir. Latin kare tasarımı ve Greko Latin kare tasarımları hakkında bilgi verilmesinin nedeni dikey dizim çizelgelerini oluştururken bu iki tasarımın da kullanılacak olmasıdır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise Taguchi yöntemi ele alınmıştır. Taguchi yöntemi hakkında; S/N oranı, dikey dizimler, üçgensel çizelgeler ve doğrusal grafikler gibi Taguchi yöntemiyle alakalı tüm bilgiler ayrıntılarıyla anlatılmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise uygulama yer almaktadır. Uygulama bölümünde malzeme mühendisliğinden alınan orijinal verilerle çalışılmıştır. Burada alçı malzemesinin yapı endüstrisinde daha iyi konumda kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Tek başına alçı yetersiz olduğu için kompozit malzeme elde

edilmiştir. Bu kompozit malzemenin hangi faktörlerinin kullanılması gerektiği ve kullanılan faktörlerin hangi seviyeleri alındığında en uygun sonuca ulaşılacağı araştırılmıştır. Burada faktörlerimiz; su/alçı oranı, kırpık atık araba lastiği (%) ve e-camı miktarı (%) olarak belirlenmiştir. Su/alçı oranının seviyeleri; 0.6, 0.7 ve 0.8'dir. Kırpık atık araba lastiğinin (%) seviyeleri; 1, 2 ve 3'tür. E-camı miktarının (%) seviyeleri; 0.5, 1 ve 2 olarak belirlenmiştir. Eldeki faktörler ve faktör seviyeleri ile basınç dayanımı testi, ısı iletim katsayısı ve Brinell sertlik değeri deneyleri olmak üzere 3 farklı deney yapılmıştır. Deney sonuçları ise faktöriyel tasarım, kesirli faktöriyel tasarım ve Taguchi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Bu üç analiz yöntemi kullanılarak hangi faktörlerin hangi seviyelerinin birleştirileceğine karar verilmeye çalışılmıştır. Analizler esnasında SPSS 20, Minitab ve STATISTICA 13 programları kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar beşinci bölümde tartışılmıştır.

1.1. Literatür Taraması

Roy (1990) çalışmasında Taguchi yönteminin; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı kavramları anlatılmıştır. Ayrıca, Taguchi yönteminin sık kullanılan uygulamaları ve basit analiz teknikleri ayrıntılı bir şekilde Roy (1990) bu çalışmada ele almıştır.

Şirvancı'nın (1997) yazmış olduğu 'Kalite İçin Deney Tasarımı "Taguchi Yaklaşımı"' kitabı ise Taguchi yönteminin uygulaması üzerinedir. Şirvancı (1997), iki seviyeli deneyleri ve bu tür deneyler için uygun olan analiz yöntemlerini ele almıştır.

Taguchi ve Jugulum'un (2002) tarafından yapılan 'The Mahalonobis-Taguchi Strategy' adlı çalışmada Mahalonobis-Taguchi Sistemi (MTS) anlatılmıştır. Bu çalışma Mahalonobis mesafesi ve Gram-Scgmidt dikeyleştirme yöntemi gibi matematiksel ve istatistiksel kavramları Taguchi yöntemi ile entegre ederek çok boyutlu bir ölçüm ölçeği geliştirme yöntemlerini ele almaktadır.

Taguchi vd (2005) tarafından yazılan 'Taguchi's Quality Engineering Handbook' adlı kitapta Taguchi yönteminin teorisi ve uygulaması hakkında bilgiler sunulmaktadır.

Taguchi yöntemi ile ilgili yukarıda tanıtılan kitaplar dışında da birçok kaynak mevcuttur. Bunlardan bazıları; Phillip J. Ross – Taguchi Techniques for Quality Engineering (1988), Khosrow Denhad – Quality control, Robust Design, And The Taguchi Method (1989), Genichi Taguchi ve Yoshiko Yokoyama – Taguchi

Methods: Designs of Experiments (Taguchi Methods Series) (1993), Glen Stuart Peace – Taguchi Methods: A Hands-On Approach (1993), Genichi Taguchi, Subir Chowdhury ve Shin Taguchi – Robust Engineering: Learn How to Boost Quality While Reducing Costs & Time to Market (1999), Ranjit K. Roy - Design of Experiments Using the Taguchi Approach (2001)...

Dervişoğlu ve Muluk (2007) çalışmalarında, Taguchi yöntemiyle daha iyi tahminlerin nasıl elde edildiğini göstermek amacıyla, ilk olarak Taguchi yönteminde kullanılan dikey dizimlerin oluşturulması, doğrusal grafikler ve üçgensel tablolar anlatılmıştır. Uygulama üzerinden Taguchi yönteminin uygulanma aşamaları gösterilmiş ve kesirli faktöriyel tasarım ile karşılaştırılmıştır.

Thamizhmanii vd (2007) yapmış oldukları çalışmada, Taguchi yöntemiyle SCM440 alaşımlı çeliğin döndürülmesinde en düşük yüzey pürüzlülüğü elde etmek için optimum kesme koşullarının analizi üzerine odaklanılmıştır.

Gökçe ve Taşgetiren (2009), çalışmalarında istatistiksel deney tasarımında; faktöriyel tasarım, kesirli faktöriyel tasarım ve Taguchi yöntemini ele almışlardır.

Velibor ve Milos (2011), işlenmiş parçaların yüzey kalitesini araştırmak için çalışma yapmışlardır. TİN kaplı alaşımlı çeliğin tornalamasında yüzey pürüzlülüğünün modelinde ve optimizasyonunda Taguchi yönteminin parametre tasarımını kullanmışlardır. Deneyi ise Taguchi yönteminin L_{27} dikey dizim tablosu üzerine tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir.

Günay vd (2011), çalışmalarında karbür aletlerle Ti-6Al-4V alaşımının yüzey frezelemesinde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki işleme faktörlerinin optimizasyonunu araştırmışlardır. Deneyi Taguchi yöntemiyle belirlemişlerdir. Deney sonucunu ise Sinyal/Gürültü oranı (S/N) analizi kullanılarak elde etmişlerdir.

Goswami ve Kumar (2014), nimonic 80A malzemesinin yüzey bütünlüğünü, malzeme kaldırma oranını ve tel aşınma oranını araştırmışlardır. Deneylerin planlanması ve tasarlanması aşamasında ise Taguchi yöntemini kullanmışlardır.

Sudeepan vd (2014), çalışmalarında polimer kompozit malzemenin tribolojik davranışını incelemişlerdir. Deney, Taguchi yönteminin L_{27} dikey dizim çizelgesine dayandırılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sürtünme katsayısını ve aşınma oranını minimumda tutabilmek için en iyi faktör kombinasyonu da Taguchi yöntemiyle belirlenmiştir.

Lee vd (2014), Taipei Belediyesinin kamu alımlarının denetim kalitesini analiz etmişlerdir. Bu çalışmalarını ise Mahalanobis – Taguchi yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir.

Alişer vd (2015) çalışmalarında, sülfat etkisine maruz kalan cam lif ve mermer tozu takviyeli çimento harçlarının mekanik ve fiziksel özelliklerini deneysel ve istatistiksel olarak araştırmışlardır. Deneylerin sayısını azaltmak amacıyla da $L_{18}(6^1 \times 2^3)$ Taguchi dikey diziminden faydalanmışlardır. Değişkenlerin basınç dayanımı ve boy değişimi üzerine olan istatistiksel etkilerini ise varyans analizi yöntemini kullanarak belirlemişlerdir.

Baynal ve Gencel'in (2015) yapmış olduğu çalışmada deney tasarımını ve Taguchi yöntemini tanıttıktan sonra mayalanma sürecini Taguchi yöntemiyle inceleyerek uygulamaya dökmüştür.

Shankar vd (2017) çalışmalarında, grafit takviyeli alüminyum alaşım metal matris kompozitinin davranışını araştırmışlardır. İstatistiksel araç olarak ise Taguchi yönteminin L_9 dikey diziminden faydalanmışlardır.

MohanDas vd (2017) yapmış oldukları çalışmada Areca ince elyafı takviyeli fenol formaldehit kompozitinin mekanik özelliklerin (çekme ve bükülme mukavemeti) etkilerini araştırmışlardır. Taguchi yöntemini hem kompozit malzemelerin hazırlanması sürecinde hem de kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini analiz etme sürecinde kullanmışlardır.

Zheng vd (2017), yapmış oldukları çalışmada, mekanik performansı iyileştirmek için geri dönüştürülmüş plastik temelli, bileşik kompozitinin optimize edilmesini amaçlamışlardır. Deney için ise Taguchi yönteminden faydalanmışlardır.

2. DENEY TASARIMI

Güncel Türkçe sözlüğüne göre deney; ‘bilimsel bir gerçeği göstermek, bir yasayı doğrulamak, bir varsayımı kanıtlamak amacıyla yapılan işlem, tecrübe’ anlamına gelmektedir.

Deney tasarımı; bir ya da birden fazla bağımsız değişkenin etkisi altındaki olayların bağımlı değişken üzerinde nasıl sonuçlar vereceğini analiz eden tekniktir. Yani, bilginin olabildiği kadar tam ve etkili bir şekilde elde edildiği deneyleri planlama stratejisi olarak da tanımlanır. Farklı faktörler ile onların etkilediği işlem ve işlem çıktıları arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan yapısal ve organize bir yöntemdir (Demir vd, 2015). Deney tasarımında ilgilenilen durumlar faktör veya etken olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada faktör kullanımı tercih edilmiştir. Faktörler iki ya da daha fazla seviyeye sahip olabilirler. Deney tasarımı teknikleri, yeni bir süreç geliştirmede ve performans artırma amacıyla, mevcut süreci düzeltme çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda deney tasarımı teknikleri; sadece istatistiksel bir yaklaşım değil, tüm araştırma geliştirme faaliyetlerinde kullanılabilecek, kaliteyi artıran, maliyetleri düşüren ve sonuçların güvenilirliğini sağlamlaştıran, tüm diğer teknikleri destekleyen ve tamamlayan tekniklerdir (Uygur, 2009).

Deney Tasarımının, İskoçyalı Doktor James Lind’in 1747 yılında, iskorbüt (C vitamini eksikliği) hastaları üzerinde yaptığı deney ile ortaya çıktığı düşünülebilir. Lind, 12 gemi yolculuğu yaptıktan sonra iskorbüt hastalığından etkilenen 12 denizci üzerinde deney yapmıştır ve denekleri ikiye ayrılmış altı gruba bölmüştür. Grupların her birine farklı bir beslenme türü uygulamıştır. Deneyin tamamlanmasının ardından, hastalar üzerinde yaptığı gözlemler sonucunda narenciye ürünleriyle beslenen hastalardaki iyileşmenin daha hızlı ve belirgin olduğunu tespit etmiştir (Karadaş, 2010; Sümbüloğlu ve Akdağ, 2010).

1920’li yıllarda ise istatistikçi Ronald Aymler Fisher, zirai çalışmalara yönelik deney tasarımı uygulamalarını kullanmıştır. Günümüzde de sıkça kullanılan varyans analizini (ANOVA) deney tasarımına kazandıran ve deney tasarımına en büyük katkıyı sağlayan kişidir. Fisher, 1935 yılında yaptığı çalışmayla tarımsal ürünlerin kalite ve miktarsal artışına sebep olacak, farklı ölçütler geliştirmiştir. Toprak, su miktarı ve sulama çeşitleri, gübre çeşitleri ve kullanım oranları gibi birçok

parametrenin tarımsal çıktı üzerine etkilerini ortaya koymuştur. Verilen örneklerle birlikte, karşılaştırma, rastgeleleştirme, tekrarlanabilirlik, bloklama, dikeyleştirme, faktöriyel deneyler konusunda bu yeni yaklaşımları ortaya koymuştur (Çiftçi Aytekin, 2010).

Deney tasarımı, sürecin ilgilenilen kalite karakteristiğine etki eden kontrol edilebilir değişkenlerin değerlerini sistematik olarak değiştirerek süreç performansını etkileyecek değişken değerlerini belirlemede kullanılan bir tekniktir. İşletmelerde bir sorunun kaynağını bulmak için sorunun olduğu durumlar, girdiler değiştirilerek yakalanmaya çalışılmakta ve deneyler sırasında girdilerin değişik durumlarının çıktı üzerindeki etkisi incelenmektedir.

Deney tasarımı tekniklerinin özellikle imalat endüstrisinde son yıllarda çok yaygın olarak kullanılmasının en önemli sebeplerinden bir tanesi de, Dr. Genichi Taguchi'nin geliştirmiş olduğu Taguchi yöntemi olmuştur. Deney tasarımı Japonya'da Dr. Genichi Taguchi liderliğinde, imalat sektöründe kalitenin geliştirilmesi için çok etkin bir biçimde uygulanmıştır. Bugün dünyanın hemen her ülkesinde deney tasarımı eğitimleri verilmekte ve Taguchi yöntemi üretimde uygulanmaktadır (Baynal ve Gencel, 2015).

2.1. Deney Tasarımının Dayandığı Temel İlkeler

Denemelerin deney birimlerine etkili bir şekilde uygulanabilmesi için, deneyin planlamasında bilimsel bir yaklaşım tarzı kullanılmalıdır. Denemelerin istatistiksel tasarımı, deneme planlama işlemini gerçekleştirmek içindir. Böylece istatistiksel yöntemlerle analiz edilebilecek uygun veri toplanıp, geçerli ve nesnel sonuçlar sağlanır. Verilerden anlamlı sonuçlar çıkarmak için, deneysel tasarımlarda istatistiksel yaklaşım gereklidir. Deney tasarımının dayandığı temel prensipler, İngiliz bilim adamı Ronald A. Fisher (1935) tarafından geliştirilmiştir. Bu prensipler “Tekrarlama”, “Rastgeleleştirme” ve “Bloklama”dır.

Rastgeleleştirme: Çevresel gelişmelerin belli bir kurala ve düzene bağlı olmadan tesadüfi olarak oluşmasıdır. Deney tasarımına rastgelelik kavramını getiren ve rastgeleliğin deney tasarımı için ne kadar önemli olduğunu anlatan kişi, aynı zamanda deney tasarımının kurucusu olarak da kabul edebilen Ronald A. Fisher olmuştur. Deney tasarımı için rastgeleleştirmenin en önemli yolu bağımsız değişkenlerin seviyelerinin her bir deney için rastgele olarak atanmasıdır.

Denemelerin çok sayıda bağımsız değişken seviyelerine atanması durumunda, atanma sırası rastgele olarak seçilmelidir. Rastgeleleştirme aynı zamanda deneysel verilerin toplanması sırasında da uygulanmalıdır. Rastgeleleştirme, deney sonuçlarını analiz etmede kullanılacak istatistiksel yöntemler için de gereklidir ve önyargının giderilmesine yardımcı olur. Bunlardan da anlaşılacağı gibi rastgeleleştirme deney tasarımında istatistiğin kullanılması için gerekli temellerden birisidir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Tekrarlama: Deneylerin birden fazla sayıda yapılması demektir. Tekrarlama deney hatasının ölçümünü sağlamak için gereklidir. Hata, tesadüflere ve değişkenliğe katkıda bulunan diğer faktörler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu faktörler denemenin içine katılmayan aynı zamanda da kontrol edilemeyen faktörlerdir. İki veya daha fazla deney parçası aynı teste tabi tutulduğu zaman o deney tekrarlanmış olmaktadır. Tekrarlama, hata sonuçlarında olası dış etmenlerin etkisinin fark edilmesi için gereklidir. Tekrarlama olmadan yapılan deneyler için her şeyden önce değişkenliğin belirlenmesi söz konusu olamaz. Tekrarlamanın iki önemli özelliğinden birincisi, araştırmacıya deneysel hataların giderilmesi fırsatını vermesidir. İkincisi ise, eğer örnek kümenin ortalaması, deneydeki herhangi bir faktörün etkisini tahmin etmek için kullanılıyorsa gözlemciye daha kesin sonuçlar sunmasıdır. Belirli bir anlamlılık seviyesinde gerçekleştirilen istatistiksel anlamlılık testinin kesinliği artırılmak isteniyorsa deneydeki tekrarlama sayısının artırılması gerekir. Bir deneysel araştırmanın uygun kesinlik derecesine sahip olunması önemlidir. İki deney arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmasını sağlayan tekrarlama sayısından fazlasını gerçekleştirmek maliyeti artıracığından gereksizdir. Diğer taraftan istatistiksel olarak anlamlılık derecesini sağlamayacak kadar deney yapmak da yanlışır. Bu yüzden en uygun tekrarlama sayısını bulmak şarttır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010; Çiftçi Aytekin, 2010).

Bloklama: Bloklama, gözlemcinin doğrudan ilgili olmadığı, fakat deneysel tepkilerde etkili olabilecek “ilgisiz faktörlerden” geçebilecek değişkenliği azaltmak ya da elemek için kullanılır. Bloklamada amaç daha homojen gruplarla denemelerin yapılmasıdır. Böylece deneysel hatanın küçülmesi sağlanır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010). Bloklamada temel düşünce, benzer deney birimlerinin gruplara ayrılmasıdır. Bu şekilde yapılmış olan deneylerin sonuçlarındaki değişkenlik, her bir blok içindeki faktör ve seviyelerinin etkilerinin farklılığını ortaya koymaktadır. Çünkü kontrol edilemeyen diğer değişkenlerin etkisi minimize edilmiştir. Faktör ve seviyeleri her

bloktaki birimlere rastgele olarak atanır. Bloklar arasındaki değişkenlik deneysel hatadan arındırılarak deneyin hassasiyeti artırılır. Bloklar aynı birimleri içerdikinden, aynı koşullar altındaki faktör ve seviyelerinin karşılaştırılmasını sağlar (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Deney tasarımı, tasarım ya da geliştirme çalışmalarında birçok alanda yararlı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Ancak her aşamada tek bir faktör değiştirilerek ya da olası bütün kombinasyonların denenmesi yoluyla gerçekleştirilen klasik deney tasarımı çalışmalarının yüksek maliyetli olması, uzun zaman gerektirmesi ve uygulama zorlukları nedeniyle, özellikle faktör ve seviye sayısının fazla olduğu durumlarda kullanılması oldukça zor olmaktadır. Taguchi yöntemi sayılan bu olumsuz yanları bulundurmaması nedeniyle sıklıkla kullanılan bir deney tasarımı yöntemidir (Baynal, 2005).

Yapılan deneysel çalışmalarda, hatalar kontrol altına alınmaz ise deney sonuçlarının güvenilirliği ve tutarlılığı azalır. Parametrenin gerçek değeri ile aynı parametre için tahmin edilen değerin farklılaşmasına yol açan hataya deneysel hata adı verilir. Deneysel hatanın azaltılması için deneysel çalışmalarda bazı kurallara uyulması gerekir. Uyulması gereken belli başlı kurallar aşağıda verilmiştir:

Deney koşulları, ölçüm şekilleri, işlem sırası, bazı durumlarda karışım/homojenlik oranları sağlam bir deney disiplini ile takip edilmeli ve değerlendirilmelidir. Değerlendirmede kontrol edilemeyen faktörler mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Bağıl nem, atmosferik koşullar, mevsim ve iklim gibi kontrol edilmesi imkânsız olan koşullar, deneysel yaklaşımın başarılı bir şekilde gerçekleşmesini tehlikeye atabilir. Deneysel hatalar ya sistematik ya da rastlantısal (tesadüfi veya rastgele) olabilir. Sistematik hatalar; bilinçli veya bilinçsizce kullanılan yöntemle ilgili bir aksama nedeni ile ortaya çıkan, sonuçta elde edilen bilginin gerçek değerlerden ciddi olarak sapmasına neden olan hatalardır. Sistematik hatalar genellikle aşağıdaki koşullarda oluşabilir (Karadaş, 2010);

- Faktörlerin seçilmesi aşamasında,
- Deney aşamasında,
- Ölçüm aşamasında,
- Değerlendirme aşamasında,
- Yorumlama aşamasında.

Rastgele hatalar; bilinçsiz rastlantılara bağlı olarak ortaya çıkan, saçılımı artıran, sonuçta gerçeği merkezde dengeli ama belirsizliği artıran hatalardır. Bir başka deyişle; rastgele hata kaynakları, birimden birime artı (+) ve eksi (-) yönde dengelenebilen ve kasıt olmaksızın ortaya çıkan hatalardır. Rastgele hatalar aşağıdaki koşullarda oluşabilir:

- Deneyin sayısal yetersizliği,
- Ölçüm yöntemi ve ölçüm değerleri,
- Yanlış faktör seçimi.

Bazı deneylerde, deney ortamının elverişli olmaması, ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini azaltmaktadır. Örneğin, kapalı devre ürünlerin giriş çıkış değerlerinden dolayı ölçümler veya fırın içi sıcaklığının ölçümü gibi varyansı yüksek değerlendirmeler rastgele hataların artmasına sebep olabilmektedir. Bu tür durumlarda, ölçme sayısını artırmak ve ölçme yöntemine dikkat etmek gerekmektedir.

Deneyisel hatayı en aza indirmek amacıyla deney düzenlerken bazı önlemler almak gerekir. Bu önlemlerden en önemlileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Koşulların Eşitlenmesi ya da Sabit Tutulması: N birim denemeye alındığında deneme için koşulların tüm birimler için sabit tutulması gerekir. Örneğin; basınç, sıcaklık, ısı, ışık, frekans, zaman gibi deney sonucunu değiştirebilecek unsurların eşit koşullarda deneye katılması sağlanmalıdır.

Faktörün Perdelenmesi: Eğer deney ortamında olağan dışı uygulamalar olacak ise bu olağan dışı durumu rutin bir uygulama biçimine dönüştürmek gerekir. Örneğin; ortamda çalışan diğer makinaların çalışması ile deney yapılan düzeneğin elektriksel değerlerinin ve dolayısı ile deney sonucu bazı deneylerde farklılaşacak ise; bu yapılan çalışma sonrasında doğru sonuca gidilmesini engeller. Bu tarz durumlarda, değişkenlik oluşturacak bileşen, ilave bir düzenek ile sabit hale getirilmeli, yani kontrol altına alınmalıdır.

Ortak Değişkenlerin Ölçülmesi: Kendileri bir faktör değişken olmamakla beraber bağımlı değişken ile ortak değişim içinde olan değişkenler (covariate) olabilir. Ortak değişkenlerin de ölçülerek modele katılması ve analizde yer alması gerekebilir. Ortak değişkene göre düzeltilmiş bağımlı değişkenlerin faktör değişkenlerden etkilenme biçimleri istatistiksel olarak ortaya konabilir. Örneğin, test edilen düzenekte hızın artması, parçanın sıcaklığının artmasına, genişlemesine ve

sürtünmenin artmasına ve uygulanan kuvvete ilave bir direnç oluşmasına sebep olabilir.

Farklı Koşullarda Denemelerin Tekrarlanması: Eğer koşullardan bazıları eşitlenemiyor ya da kontrol altına alınamıyorsa denemenin farklı koşullarda tekrarlanması gerekir. Örneğin, farklı iklim koşullarında aynı performansı elde edilmesi istenen bir tasarımı, olası koşullarda deneye tabi tutarak etkileşim ve değişkenlik değerleri değerlendirilebilir.

Deneyde değiştirilmesi mümkün olmayan bazı faktörler, mevcut koşullar göz önüne alınarak ölçülür ve deneye katılması sağlanır. Bu şekilde sistematik hata kaynaklarının etkisi en aza indirgenmiş veya yok edilmiş olur (Karadaş, 2010).

2.2. Faktöriyel Tasarım

Faktöriyel tasarım, iki ya da ikiden fazla faktörün ana etkilerini ve etkileşim etkilerini aynı anda araştırmak için kullanılan bir tasarımıdır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010). Deneylerde birden çok faktörün etkileri aynı anda incelenir. Tercihler, farklı faktörlerin bütün kombinasyonlarını içerir. Ana etki, bir faktörün diğer faktörlerden bağımsız olarak ortaya koyduğu sonuçlar iken, etkileşim etkisi 2-den n faktöre kadar herhangi sayıda kombinasyonunun etkileşimlerinin sonuçlarıdır. Faktöriyel tasarım, her bir faktör seviyesinin tüm mümkün kombinasyonlarının deneye katılmasıdır (Uslu, 2007). En az iki veya daha fazla faktör ve bu faktörlere ait en az iki veya daha fazla seviyelerin bulunduğu deneylerde seviyelerin birbirleri ile çarpımları ile oluşan kombinasyondur (Gökçe, 2009). Bu, faktörlerin bir arada değiştiği, birbirlerinden etkilendiği ve bu değişimlerin ayrı ayrı ortaya konduğu bir tasarımıdır. Yani, faktöriyel tasarımda faktörler arasındaki etkileşimin de belirlenebilmesinden dolayı bu tasarım tercih edilmektedir (Kolay, 2011). Bu tasarımın en önemli özelliği faktörlerin yanıt değişkeni üzerindeki etkisi hesaplanırken bütün gözlemlerin kullanılması ve etkileşimler hakkında da bilgi elde edilebilmesidir. Birden fazla faktörün yanıt değişkeni üzerindeki etkisinin, faktör seviyelerinin olası tüm kombinasyonlarının denenerek araştırıldığı faktöriyel deneyler, özellikle endüstri ve mühendislik alanında uzun zamandır yaygın olarak kullanılmaktadır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009).

Faktöriyel tasarımıda denemeler, faktör kombinasyonlarını ifade eder. Örneğin, A ve B faktörleri sırasıyla 2 ve 3 seviyeye sahip olsun ve bu seviyeler (a_1 ve a_2) ve (b_1, b_2 ve b_3) olsun. Böyle bir deneyde,

$$\begin{array}{ccc} a_1b_1 & a_1b_2 & a_1b_3 \\ a_2b_1 & a_2b_2 & a_2b_3 \end{array}$$

olarak ifade edilen toplam $2 \times 3 = 6$ tane deneme vardır.

Faktöriyel tasarım, faktör sayısının birden fazla olduğu durumlarda, bu faktörlerin ve tüm etkileşimlerinin incelenmesi durumunda kullanılan ve deney sonucunu etkileyebilecek bir yaklaşımdır.

Bu tasarım, en az iki faktörün, yine en az iki seviyede incelendiği deneylerdir. Faktörler arası etkileşim, deney sonucunu etkileyecek önemli bir durumdur. Seçilen herhangi bir faktörün etkisi, diğer faktörlerden biri veya birkaçının seviye değerine bağımlı ise bu faktörler arasında etkileşim olduğu ifade edilir.

Faktöriyel tasarımın en önemli avantajı, tüm faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisi ve faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri en kolay ölçülebilen deney tasarımı yöntemi olmasıdır.

Herhangi iki faktör olan A ve B'nin seviyeleri sırasıyla a ve b olsun. Bu durumda $a \times b$ faktöriyel tasarımın matematiksel modeli;

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \tau\gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \quad i=1,2,\dots,a; \quad j=1,2,\dots,b \quad \text{ve} \quad k=1,2,\dots,n \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

y_{ijk} ; A faktörünün i'nci seviyesinin ve B faktörünün j'nci seviyesinin k'ncı gözlem değeridir.

μ ; genel ortalamadır. τ_i ; A faktörünün i'nci seviyesinin etkisidir. γ_j ; B faktörünün j'inci seviyesinin etkisidir. $\tau\gamma_{ij}$; A ve B faktörlerinin etkileşim etkileridir. ε_{ijk} ; rastgele hata terimleridir.

Benzer şekilde faktör sayısı 3 olduğunda da (A, B, C) bu tasarım $a \times b \times c$ faktöriyel tasarım adını alır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

2^k faktöriyel tasarımı, faktöriyel tasarımların uygulamada yaygın olarak kullanılan faktöriyel tasarımın bazı özel hallerinden birisidir. Burada 2; seviye sayısını, k; faktör sayısını gösterir. 2^k faktöriyel tasarım, özellikle süreç geliştirme problemlerinde bir sonraki araştırmanın yönünün belirlenmesi için bir ön çalışma niteliği taşır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Her biri iki seviyeye sahip A ve B gibi iki faktör olduğunda, 2^k faktöriyel tasarım, 2^2 faktöriyel tasarım adını alır. 2^2 faktöriyel tasarımın matematiksel modeli;

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \tau\gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \quad i=1, 2 \quad j=1, 2 \quad k=1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir.

2^2 faktöriyel tasarımda, her faktörün düşük ve yüksek olmak üzere iki seviyesi vardır. Bu tasarımda 4 farklı deneme kombinasyonu vardır. Bu deneme kombinasyonları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. 2^2 faktöriyel tasarımın deneme kombinasyonları

A	B	Deneme kombinasyonları
Düşük	Düşük	(1)
Yüksek	Düşük	a
Düşük	Yüksek	b
Yüksek	Yüksek	ab

(1): A ve B faktörünün her ikisi de düşük seviyede; a: A faktörü yüksek ve B faktörü düşük seviyede; b: A faktörü düşük ve B faktörü yüksek seviyede; ab: A ve B faktörünün her ikisinin de yüksek seviyede olduğunu gösterir.

Denklemler 2.2’de, A ve B faktörlerinin ana etkileri ile AB etkileşim etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilir. Her bir durum için hipotezler;

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 \quad (H_0 : A \text{ ana etkisi anlamlı değildir.}) \quad (2.3)$$

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

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 \quad (H_0 : B \text{ ana etkisi anlamlı değildir.}) \quad (2.4)$$

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

$$H_0 : \tau\gamma_{11} = \tau\gamma_{12} = \tau\gamma_{21} = \tau\gamma_{22} \quad (H_0 : AB \text{ etkileşimi anlamlı değildir.}) \quad (2.5)$$

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

Denklemler ve hipotezler kurulduktan sonra ANOVA çizelgesi oluşturulur. 2^2 faktöriyel tasarım için ANOVA çizelgesi Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. 2^2 faktöriyel tasarımda ANOVA çizelgesi

Kaynak	SD	KT	KO	F
A	1	KT_A	KO_A	F_A
B	1	KT_B	KO_B	F_B
AB	1	KT_{AB}	KO_{AB}	F_{AB}
Hata	$2^2(n-1)$	KT_{Hata}	KO_{Hata}	
Genel	N-1	KT_{Toplam}		

Çizelge 2.2.’de N değeri ‘ 2^2n ’ değerine eşittir. Ayrıca yine Çizelge 2.2.’de yer alan KT, KO ve F sütunlarında bulunan ifadelerin formülleri ise aşağıdaki gibidir:

$$KT_A = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2 = 2n \sum_{i=1}^2 (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2 \quad (2.6)$$

$$KT_B = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2 = 2n \sum_{j=1}^2 (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2 \quad (2.7)$$

$$KT_{AB} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n (\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{...})^2 \quad (2.8)$$

$$KT_{Hata} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y}_{ij.})^2 \quad (2.9)$$

$$KT_{Toplam} = KT_A + KT_B + KT_{AB} + KT_{Hata} \quad (2.10)$$

Denklem (2.6), (2.7), (2.8) ve (2.9)’da kullanılan ifadelerden $\bar{y}_{i..}$, $\bar{y}_{.j.}$ ve $\bar{y}_{ij.}$ formülleri ise şöyledir;

$$\bar{y}_{i..} = \frac{y_{i..}}{2n} \text{ ve } y_{i..} = \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}, \quad i=1, 2 \quad (2.11)$$

$$\bar{y}_{.j.} = \frac{y_{.j.}}{2n} \text{ ve } y_{.j.} = \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}, \quad j=1, 2 \quad (2.12)$$

$$\bar{y}_{ij.} = \frac{y_{ij.}}{n} \text{ ve } y_{ij.} = \sum_{k=1}^n y_{ijk}, \quad i=1, 2 \text{ ve } j=1, 2 \quad (2.13)$$

KO sütununda yer alan ifadeler ise, KT değerlerinin kendilerine karşılık gelen serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur. Yani;

$$KO_A = KT_A/1, \quad KO_B = KT_B/1$$

$$KO_{AB} = KT_{AB}/1, \quad KO_{Hata} = KT_{Hata}/(2^2(n-1)) \quad (2.14)$$

şeklinde hesaplanırlar. F sütununda bulunan ifadelerin hesaplanma şekli ise aşağıdaki şekildedir;

$$F_A = \frac{KO_A}{KO_{Hata}}, \quad F_B = \frac{KO_B}{KO_{Hata}} \text{ ve } F_{AB} = \frac{KO_{AB}}{KO_{Hata}} \quad (2.15)$$

şeklinde hesaplanırlar. Oluşturulan hipotezlerden ve ANOVA çizelgesinden sonra karar verme aşamasına geçilir. Bulunan ‘F’ değerleri, F tablosu yardımıyla bulunan

F_{Tablo} değerleri ile karşılaştırılır ve karar verilir. 2^2 faktöriyel tasarımıda α anlam seviyesinde F_{Tablo} değerleri;

A faktörü için; $F_{Tablo} = F_{\alpha; 1; 2^2(n-1)}$

B faktörü için; $F_{Tablo} = F_{\alpha; 1; 2^2(n-1)}$ ve

AB etkileşimi için; $F_{Tablo} = F_{\alpha; 1; 2^2(n-1)}$ ’dir.

Eğer hesaplanan F değeri F_{Tablo} değerinden küçük ise H_0 red edilemez. Fakat hesaplanan F değeri F_{Tablo} değerinden büyük ise H_0 red edilir.

Bilindiği gibi F_A , F_B ve F_{AB} test istatistikleri en küçük kareler tahmin edicilerine dayalıdır ve bunun bir sonucu olarak normallik varsayımı altında en güçlü test istatistikleridir (şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

2.2.1. Kesirli faktöriyel tasarım

Tam faktöriyel deney tasarımıda faktörlerin bütün seviyelerinin kombinasyonları tek tek denendiğinden deney maliyetini artırmakta ve çok zaman almaktadır. Yani tam faktöriyel deney tasarımıda maksimum zaman ve maliyet söz konusudur. Tasarım yaparken deneyden elde edilecek veriler ile harcanan maliyet ve zaman arasındaki bağıntı çok önemlidir. Maliyetten ve zamandan kazanmak için deney sayısı orantılı olarak azaltılarak kesirli faktöriyel deney tasarımı elde edilir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009).

Kaynak yeterli olmadığında ya da yüksek dereceli etkileşimlerin önemli olmadığı varsayıldığında faktöriyel tasarım yerine yarı tekrar (1/2), dörtte bir tekrar (1/4) vb. yapılarak kesirli faktöriyel tasarım uygulanabilir. Böylelikle, ana faktörler ile düşük dereceli etkileşimler hakkında bilgi elde etmenin yanı sıra, deneyde kullanılan deney birim sayısı, dolayısı ile de harcanan para ve zamandan da tasarruf edilmiş olur (şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Deney sayısı, kullanım koşulları ve etkileşime göre değişebildiği gibi faktör ve seviye sayısına göre de değişebilmektedir. Deney süresinin ve bütçesinin kısıtlı olduğu durumlarda, faktöriyel tasarım da deneylerin sayısının, başarımı fazla etkilemeden azaltılması gerekebilir. Bu tür durumlarda, kesirli faktöriyel deney tasarımı tercih edilir (şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Kesirli faktöriyel tasarımlarda etki tahminleri birbirlerinden ayırt edilemeyen etkilere “eşdeş” denir. Eşdeş yapısı, her bir etkinin 2 modülünde tanımlayıcı bağıntı alt grubu ile çarpılmasıyla elde edilir. Her bir etki 2^{p-1} eşdeşe sahiptir. Yüksek

dereceden etkileşimlerin önemsiz olduğu varsayımı, eşdeş yapısını daha basit hale getirir. Hiçbir blok etkisi, ana etki ve ikili etkileşimlerle karışmayan ana etkilere, ‘yalın ana etki’; hiçbir ana etki ve blok etkisi ile karışmayan etkilere, ‘uygun’ etki denir. Eğer uygun bir ikili etkileşim diğer ikili etkileşimlerle karışmıyorsa bunlara ‘yalın ikili etkileşim’ denir (Kolay, 2011).

Faktör sayısı 6 (A, B, C, D, E, F), seviye sayısı 2 olan bir deney tasarımı, faktöriyel tasarım uygulanmak istendiğinde, deney tekrar sayısının bir olduğu durumda, $2^6 = 64$ adet deney yapılması gerekir. Aslında bu deneylerin arasında deney sayısından bir eksik 63 adet etki vardır. Bunların, 6 tanesi ana etki, diğerleri etkileşim etkisidir. Kesirli faktöriyel tasarım, deney sayısını 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 gibi orantılarla azaltmak mümkündür. Deney sayısını faktör sayısından bir eksiğine kadar indirmek mümkündür (Şirvancı, 1997).

Faktöriyel tasarımda kullanılan bir diğer tasarım şekli de 3^k faktöriyel tasarımıdır. Burada k tane faktör ve her bir faktörün düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 düzeyi mevcuttur.

Her biri 3 seviyeli olan 3 faktörün tek tekrarlı deney sayısı 27’dir. Faktörlerin en düşük seviyeleri 0, orta seviyeleri 1 ve en yüksek seviyeleri 2 olarak kodlanır ve Çizelge 2.3’teki gibi bir çizelge oluşturulur. 3 seviyeli 3 faktörün serbestlik dereceleri toplamı 26’dır. Faktörlerin her birinin serbestlik derecesi 2 (toplam 6), faktörlerin ikili etkileşimlerinin (AB, AC ve BC) her birinin serbestlik derecesi 4 (toplam 12) ve faktörlerin üçerli etkileşiminin (ABC) serbestlik derecesi 8’dir.

Çizelge 2.3. 3^3 deney düzeninin yerleşimi

B Faktörü Seviyeleri	C Faktörü Seviyeleri	A Faktörü Seviyeleri		
		A ₁	A ₂	A ₃
B ₁	C ₁	000	100	200
	C ₂	001	101	201
	C ₃	002	102	202
B ₂	C ₁	010	110	210
	C ₂	011	111	211
	C ₃	012	112	212
B ₃	C ₁	020	120	220
	C ₂	021	121	221
	C ₃	022	122	222

Böyle bir 3^3 faktöriyel tasarımıda 3^{3-1} kesirli faktöriyel tasarımı oluşturmak için ABC etkileşiminin herhangi bir bileşeni yani ABC, AB^2C , ABC^2 veya AB^2C^2 'den biri seçilebilir. AB^2C^2 'nin seçimi varsayımı altında oluşacak olan kombinasyon;

$$x_1 + 2x_2 + 2x_3 = u \pmod{3} \quad (2.16)$$

biçimindedir. Burada $u = 0, 1$ veya 2 'dir. Çizelge 2.3'teki yerleşimlerde bulunan değerleri denklem (2.16)'da yerine yazıldığında çıkan sonuçların mod 3'ü alınır ve 3^{3-1} kesirli faktöriyel tasarımın elemanları ayrı ayrı oluşturulur. Çizelge 2.3'teki birinci sütun değerleri denklem (2.16)'da yerine yazılırsa;

$$000 \text{ için; } 1.0 + 2.0 + 2.0 = 0 \equiv 0 \pmod{3}$$

$$001 \text{ için; } 1.0 + 2.0 + 2.1 = 2 \equiv 2 \pmod{3}$$

$$002 \text{ için; } 1.0 + 2.0 + 2.2 = 4 \equiv 1 \pmod{3}$$

$$010 \text{ için; } 1.0 + 2.1 + 2.0 = 2 \equiv 2 \pmod{3}$$

$$011 \text{ için; } 1.0 + 2.1 + 2.1 = 4 \equiv 1 \pmod{3}$$

$$012 \text{ için; } 1.0 + 2.1 + 2.2 = 6 \equiv 0 \pmod{3}$$

$$020 \text{ için; } 1.0 + 2.2 + 2.0 = 4 \equiv 1 \pmod{3}$$

$$021 \text{ için; } 1.0 + 2.2 + 2.1 = 6 \equiv 0 \pmod{3}$$

$$022 \text{ için; } 1.0 + 2.2 + 2.2 = 8 \equiv 2 \pmod{3}$$

elde edilir. İkinci ve üçüncü sütunlar için de aynı işlemlerin uygulanmasıyla Çizelge 2.4 oluşturulur.

Çizelge 2.4. 3^3 faktöriyel tasarımının 3^{3-1} kesirli faktöriyel tasarıma ayrılması

$u=0 \pmod{3}$	$u=1 \pmod{3}$	$u=2 \pmod{3}$
000	100	200
012	112	212
101	201	001
202	002	102
021	121	221
110	210	010
122	222	022
211	011	111
220	020	120

$I = AB^2C^2$ seçimini yaptıktan sonra eşdeşler bulunur:

$$A = A (AB^2C^2) = A^2B^2C^2 = ABC$$

$$A = A (AB^2C^2)^2 = A^3B^4C^4 = BC$$

$$B = B (AB^2C^2) = AB^3C^2 = AC^2$$

$$B = B (AB^2C^2)^2 = A^2B^5C^4 = ABC^2$$

$$C = C (AB^2C^2) = AB^2C^3 = AB^2$$

$$C = C (AB^2C^2)^2 = A^2B^4C^5 = AB^2C$$

$$AB = AB (AB^2C^2) = A^2B^3C^2 = AC$$

$$AB = AB (AB^2C^2)^2 = A^3B^5C^4 = BC^2$$

Yukarıda görüldüğü gibi eşdeşler, faktörler ve etkileşimin I ve I^2 ile çarpılması sonucu bulunur (Montgomery, 2000).

2.3. Latin Kare Deney Tasarımı

Latin kare deney tasarımı, 1925 yılında Ronald A. Fisher tarafından geliştirilmiştir (Derici Yıldırım ve Taşdelen, 2012). Bu tasarım bloklama ilkesine dayanmaktadır. Bloklama, deney birimleri arasındaki sistematik farklılıkların etkisini gidermek amacıyla yapılır. Denemelerin her biri, belirli bir gruptaki tüm deney birimlerine uygulanıyor ise bu durumda deney düzeni için Latin kare yapısı uygun olacaktır (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Latin kare tasarımlar genelde iki blok etkisini ortadan kaldırmak için kullanılan tasarımlardır. Deney birimleri arasındaki heterojenlik bir tane bloklama değişkeni kullanılarak giderilemeyecek kadar fazla ise iki farklı bloklama değişkeni kullanılarak homojenlik sağlanmaya çalışılır. Bu durumda deneysel hata azaltılmış olur (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Deneyde kullanılacak materyal iki yönden farklılık gösterdiğinde, denemeleri bu farklılıkları giderilmiş ünitelerle deneyebilmek için Latin kare düzeni kullanılır. Bu tip tasarımlarda satır (1. bloklama değişkeni) sayısı, sütun (2. bloklama değişkeni) sayısı ve deneme sayısı birbirine eşittir. Yani $r \times r$ ($r \geq 2$) Latin Kare tasarımı r satır ve r sütundan oluşan bir karedir. Latin kareler orijinal olarak matematiksel merak olarak görünür fakat istatistiksel uygulamalarda deneysel tasarımlar olarak 20. yüzyılın ilk zamanlarında kullanılmıştır (Akdeniz, 2013). Böyle bir düzende her deneme, her satır ve her sütunda bir kere gözlenir. Bu sebeple toplam gözlem sayısı, satır sayısının (veya sütun sayısının) karesi kadar olur (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

Çizelge 2.5’te örnek bir Latin kare düzeni verilmiştir. Burada satır sayısı, sütun sayısı ve gözlem sayısı birbirine eşittir ve bu değer de 4’tür. O zaman gözlem sayısı $4^2=16$ tanedir.

Çizelge 2.5. 4x4’lük Latin kare deneme düzeni

Sütun Satır	1	2	3	4
	1	2	3	4
1	A	B	C	D
2	B	C	D	A
3	C	D	A	B
4	D	A	B	C

Çizelge 2.5’te de görüldüğü gibi ilk satır ve ilk sütun alfabetik sıraya göre dizilmiştir. Bu şekilde dizilen Latin kare tasarımına ‘indirgenmiş Latin kare’ denilmektedir. Karenin her bir satır ve sütunu, üç denemenin tam bir tekrarını verir. Böyle bir düzen ancak her iki kısıtlamanın seviyelerinin sayısı, deneme seviyelerinin sayısına eşit olduğunda mümkündür.

Latin kare deney tasarımı için oluşturulan matematiksel model şöyledir;

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \delta_k + \varepsilon_{ijk}, \quad i, j, k = 1, 2, \dots, r \quad (2.17)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

y_{ijk} = j. satır ve k. sütunda yer alan i. denemeye ait gözlem değerini; μ = genel ortalamayı; τ_i = i. denemenin etkisi; γ_j = j. satırın etkisi; δ_k = k. sütunun etkisi; ε_{ijk} = 0 ortalamalı σ^2 varyanslı normal dağılıma sahip rastgele hata terimi şeklinde ifade edilir. Bu model doğrultusunda oluşturulacak olan hipotez testlerinde ise deneme, satır ve sütunun etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı kontrol edilir. Oluşturulacak olan hipotezler;

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_r = 0 \quad (H_0: \text{denemeler arasında farklılık yoktur}) \quad (2.18)$$

$$H_1: \tau_1 \neq \tau_2 \neq \dots \neq \tau_r \neq 0 \quad (H_1: \text{denemeler arasında farklılık vardır})$$

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_r = 0 \quad (H_0: \text{satırlar arasında farklılık yoktur}) \quad (2.19)$$

$$H_1: \gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \dots \neq \gamma_r \neq 0 \quad (H_1: \text{satırlar arasında farklılık vardır})$$

$$H_0: \delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_r = 0 \quad (H_0: \text{sütunlar arasında farklılık yoktur}) \quad (2.20)$$

$$H_1: \delta_1 \neq \delta_2 \neq \dots \neq \delta_r \neq 0 \quad (H_1: \text{sütunlar arasında farklılık vardır})$$

şeklindedir. Denklem ve hipotezler kurulduktan sonra ANOVA çizelgesi oluşturulur. Çizelge 2.6'da Latin kare tasarımı için oluşturulan ANOVA çizelgesi verilmiştir.

Çizelge 2.6. Latin kare tasarımı için ANOVA çizelgesi

Kaynak	S.D.	KT	KO	F
Deneme	r-1	KT _{Deneme}	KO _{Deneme}	F _{Deneme}
Satır	r-1	KT _{Satır}	KO _{Satır}	F _{Satır}
Sütun	r-1	KT _{Sütun}	KO _{Sütun}	F _{Sütun}
Hata	(r-1)(r-2)	KT _{Hata}	KO _{Hata}	
Genel	N-1	KT _{Toplam}		

Oluşturulan Latin kare tasarımı ANOVA çizelgesi içerisindeki ifadelerin bulunma yöntemi ise şöyledir;

$$KT_{\text{Toplam}} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^r (y_{ijk} - \bar{y}_{...})^2 \quad (2.21)$$

$$KT_{\text{Deneme}} = r \cdot \sum_{i=1}^r (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2 \quad (2.22)$$

$$KT_{\text{Satır}} = r \cdot \sum_{j=1}^r (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2 \quad (2.23)$$

$$KT_{\text{Sütun}} = r \cdot \sum_{k=1}^r (\bar{y}_{..k} - \bar{y}_{...})^2 \quad (2.24)$$

$$KT_{\text{Hata}} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^r (y_{ijk} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{..k} + 2\bar{y}_{...})^2 \quad (2.25)$$

Yukarıdaki denklemlerde bulunan ifadelerin bulunma yöntemleri ise şöyledir;

$$\bar{y}_{i..} = \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^r y_{ijk}/r, \quad \bar{y}_{.j.} = \sum_{i=1}^r \sum_{k=1}^r y_{ijk}/r, \quad \bar{y}_{..k} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r y_{ijk}/r$$

$$\bar{y}_{...} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^r y_{ijk}/N \quad (2.26)$$

Burada i, j ve $k = 1, 2, \dots, r$ 'dir. Kareler ortalaması değerleri ise kareler toplamının serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur. F değerlerini bulmak için ise;

$$F_{\text{Deneme}} = \frac{KT_{\text{Deneme}}/(r-1)}{KT_{\text{Hata}}/[(r-1)(r-2)]} = \frac{KO_{\text{Deneme}}}{KO_{\text{Hata}}} \quad (2.27)$$

$$F_{\text{Satır}} = \frac{KT_{\text{Satır}}/(r-1)}{KT_{\text{Hata}}/[(r-1)(r-2)]} = \frac{KO_{\text{Satır}}}{KO_{\text{Hata}}} \quad (2.28)$$

$$F_{\text{Sütun}} = \frac{KT_{\text{Sütun}}/(r-1)}{KT_{\text{Hata}}/[(r-1)(r-2)]} = \frac{KO_{\text{Sütun}}}{KO_{\text{Hata}}} \quad (2.29)$$

$F_{\text{Deneme}}, F_{\text{Satır}}$ ve $F_{\text{Sütun}}$ değerleri ile bunlara karşılık gelen F_{Tablo} değerleri karşılaştırılır. F_{Tablo} değeri ise α anlam seviyesinde serbestlik derecesi $(r-1)$ ve $(r-1).(r-2)$ değerlerinin karşılığıdır. Yani $F_{\text{Tablo}} = F_{\alpha;(r-1);(r-1)(r-2)}$ 'dir. Eğer;

$F_{\text{Deneme}} > F_{\text{Tablo}}$ ise denklem 2.17'deki H_0 hipotezi reddedilir ve 'denemeler arasında anlamlı bir farklılık vardır' şeklinde yorumlanır.

$F_{\text{Satır}} > F_{\text{Tablo}}$ ise denklem 2.18'deki H_0 hipotezi reddedilir ve 'satırlar arasında anlamlı bir farklılık vardır' şeklinde yorumlanır.

$F_{\text{Sütun}} > F_{\text{Tablo}}$ ise denklem 2.19'daki H_0 hipotezi reddedilir ve 'sütunlar arasında anlamlı bir farklılık vardır' şeklinde yorumlanır.

2.4. Greko Latin Kare Deney Tasarımı

Greko Latin karesi ismini, tasarımda kullanılan Yunan ve Latin harflerinden alır. Bu tasarımda satır, sütun ve Yunan harfleri olarak adlandırılan üç farklı bloklama değişkeni ile birincil derecede öneme sahip bir tane faktör vardır. Greko Latin kare deney tasarımının kısıtları şöyledir:

- Bloklama değişkenleri ile faktöre ait seviye sayısı birbirine eşit olmalıdır.
- Faktör seviyelerini gösteren Latin harflerinin (A, B, C, ...) her satır, her sütun ve her Yunan harfinde yalnız bir kez denenmelidir (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010).

4x4'lük bir Greko Latin kare deney tasarımının oluşturulabileceği durumlarından biri şöyledir:

A, α	B, δ	C, β	D, γ
C, δ	D, α	A, γ	B, β
D, β	C, γ	B, α	A, δ
B, γ	A, β	D, δ	C, α

Burada dikkat edilmesi gereken durum, Latin harflerinin ve Yunan harflerinin ayrı ayrı yazılması durumunda da yine birer Latin kare olma özelliği taşımalarıdır. Bu durum aşağıdaki gibi parçalanarak görülebilir.

A	B	C	D	α	δ	β	γ
C	D	A	B	δ	α	γ	β
D	C	B	A	β	γ	α	δ
B	A	D	C	γ	β	δ	α

Parçalanmış hallerinde birer Latin kare olduğu görülmektedir. Bu iki Latin karede de seviyelerin hiçbir kombinasyonu birlikte birden fazla bulunamaz. Bu özelliği sağlayan Latin kareler dik olarak adlandırılır. Bu ifade dolayısıyla Greko Latin kare deney tasarımı, dik Latin karelerin birleşimi olarak da ifade edilebilir. (Greko Latin kare deney tasarımı hakkında ayrıntılı bilgi için bkz. Şenoğlu ve Acıtaş (2010).)

3. TAGUCHI YÖNTEMİ

1 Ocak 1924'te Japonya'da doğan Genichi TAGUCHI, 1940'lı yıllardan itibaren, deney tasarımı kendi adını taşıyan Taguchi yöntemini geliştirmiştir (Doğan ve Doğan, 2005). Dr. Taguchi, ürün ve süreçlerde sürekli kalite iyileştirmesi için bir felsefe ve yöntem geliştiren ve tanıtan bir Japon kalite yönetim danışmanıdır (Antony ve Antony, 2001). Kalite teknolojisi ve bilimindeki gelişme sürecinin önemli kilometre taşlarından biri olan Taguchi, kalite tanımına değişik bir bakış açısı getirmiştir. Toplam Kalite Kontrolünün uygulanmasını desteklemek amacıyla geliştirilmiş olan Taguchi yöntemi, özellikli bir amaca ulaşmak için en iyi kalite karakteristiği değerlerini elde etmede deneysel tasarım tekniklerinin kullanıldığı bir yaklaşımdır (Doğan ve Doğan, 2005). Taguchi yönteminde, kalite için istatistik teknikleri, ileri matematik uygulamaları ve mühendislik bilgileri birlikte kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak 'Kalite Mühendisliği' kavramı geliştirilmiştir (Aytaç vd, 2008). Taguchi, Ronald Fisher'in (1935) geliştirdiği deney tasarımı yöntemine kattığı yeniliklerle, İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japonya'daki en önemli projelerden birisi olan Japon telefon sisteminin geliştirilmesi projesinde yaptığı çalışmalarda başarıyla adını dünyaya duyurmuştur (Doğan ve Doğan, 2005). Bu projenin amacı, ABD'deki AT&T Bell telefon şirketinin laboratuvarlarında kullanılan iletişim sisteminin aynısını Japonya'ya kurmaktır. Ancak Nippon telefon ve telgraf araştırma merkezinin büyüklüğü AT&T'nin %2' si kadar olduğundan projenin bitirilmesinin yaklaşık 20 yıl süreceği tahmin ediliyordu. Taguchi, proje süresini kısaltmak amacıyla, tüm araştırma personeli için yöntemlerin standardize edilmesini ve faktöriyel tasarımların kullanılmasını önerdi. Japon Nippon Telefon ve Telgraf Araştırma Merkezi tarafından kabul edilen öneri sayesinde proje 4 yılda bitirilmiş ve Taguchi böylece tanınmıştır.

1980'li yıllardan itibaren Taguchi'nin kalite ve kalite geliştirmeye ilişkin görüşleri Batı Endüstrisinde büyük ilgi çekmektedir. Bazen Taguchi'yi Japonya'nın kalite alanındaki başarılarının arkasındaki kişilerden biri olarak da görmektedirler. 1984 yılında da Ford Otomotiv Şirketi Taguchi'nin yöntemlerinin tartışıldığı bir seri seminer ve konferans düzenlemiştir. Bu tarihten itibaren Taguchi yöntemlerine olan ilgi ve tartışmalar artmış ve bu konuyla ilgili birçok yeni fikir de makalelerle dergilerde yayımlanmıştır. Sağlam tasarımı geliştiren ve birçok ürünün

geliştirilmesinde bu tasarımı kullanan Taguchi 1962’de kalite alanındaki en önemli ödüllerden biri olarak kabul edilen Deming ödülüne layık görülmüştür (Şirvancı, 1997).

Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği artıracak bir çözüm getirmiştir. Böylece deney öncesi yapılan çalışmalar sonucunda deney sayılarında önemli derecede azalma gözlenmiştir. Taguchi yöntemi, çözümün en az sayıda deneyle elde edilmesinin yanında yüksek kalitede ürün ve süreç geliştirilmesini de her açıdan desteklemektedir.

Taguchi yönteminin esas amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasıdır. Temeli deney tasarıma dayanmaktadır. Bu yöntem, kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemine, sağlam tasarım ve dikey dizimler gibi kavramları eklemektedir. Faktöriyel tasarım bir deneydeki olası tüm faktörleri ve onların kombinasyonlarını bütünüyle tanımlayan ve soruşturan bir tekniktir. Kesirli faktöriyel tasarımda ise kombinasyonların sadece bir kısmı hesaba katılsa da geleneksel faktöriyel tasarımlar zaman tüketen ve maliyetli işlemlerdir ve uygulanmaları ciddi matematiksel donanımlar gerektirir. Taguchi yöntemi, kesirli faktöriyel tasarımı basitleştirip standartlaştırarak bu sorunların üstesinden gelmiştir.

Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları Sinyal/Gürültü (S/N) oranına çevrilerak değerlendirilmektedir. Sinyal/Gürültü oranı, kalite değerlerinin hedeflediği değere göre; değeri küçük olan değer iyi, değeri büyük olan değer iyi ve nominal değer iyi olacak şekilde farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir. Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirebilmesini sağlaması ve bunun için de tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için test edilen her şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi’nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur.

3.1. Taguchi Yönteminin Uygulama Adımları

Taguchi yöntemini bir ürün veya süreçte başarılı bir şekilde uygulayabilmek için sistematik bir yaklaşım izlemek, hem deneysel tasarımın anlaşılabilmesi hem de en doğru sonuçların daha kolay bir şekilde alınabilmesi için gereklidir (Şanyılmaz, 2006). Taguchi yönteminde yapılan tüm uygulamaların belirli bir sırası ve yöntem

bilimi bulunmakta olup, uygulamalar sırasında bu sıra takip edilmektedir. Taguchi yönteminin uygulama adımları aşağıda verilmiştir:

1. Faktörlerin seçimi ve aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi (beyin fırtınası, akış diyagramı, sebep sonuç diyagramı gibi yöntemler kullanılarak).
2. Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi,
3. Doğru dengeli tasarımın seçimi,
4. Faktörlerin ve/veya aralarındaki etkileşimlerin dengeli deney düzenindeki sütunlarla eşleştirilmesi,
5. Deneylerin daha önceki adımlarda planlanan şekilde gerçekleştirilmesi, yani testlerin yapılması,
6. Sonuçların analizi,
7. Doğrulama deneyinin veya deneylerinin yapılması.

Bu adımların izlenmesi sonucunda süreç veya ürün için en iyi performansın elde edileceği faktörler belirlenecek, deneyde ele alınan faktörlerin kalite değeri üzerindeki etkisi tahmin edilebilecek ve en iyi faktörler sonucunda elde edilebilecek kalite değeri öngörülebilecektir (Savaşkan vd, 2004).

Değerlendirilecek Faktör ve/veya Etkileşimlerin Seçilmesi: Deneye başlamadan önce neyin araştırılacağını belirlemek gerekmektedir. Daha sonra kontrol edilebilir ve kritik süreç değişkenleri belirlenerek, yapılan işlemin, kullanılan yöntemin ürün veya sürece etkisi mevcut durum dikkate alınarak net ve anlaşılır bir biçimde belirlenmelidir.

Kalite göstergesi, ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli performansı sağlayacak özelliklerde olmalıdır. Buna göre, problemin amacına yönelik olarak bir ya da birden fazla ölçülebilir kalite göstergesi seçilebilir (Şirvancı, 1997).

Faktör Seviyelerinin Seçilmesi: Faktörlerin seviyeleri, en az iki ve daha fazla olabilmektedir. İki seviye belirlendiğinde, bunlar bir düşük bir yüksek seviye olurken, ikiden fazla olduğunda farklı kademelerde değerler de verilebilmektedir. Seviye sayısı arttıkça, deney tasarımındaki gözlem sayısının arttığı ve gözlemler yapılırken rastgele etkilerin oluşabileceği unutulmamalıdır.

Uygun Dikey Dizimin Seçilmesi: Bu aşamada, dikkat edilmesi gereken konu örnek büyüklüğünün, deneylerin yapılış sırasının ve tekrarlama sayısının deneylerin maliyetinin de göz önüne alınarak belirlenmesidir.

Faktör ve/veya Etkileşimlerin Sütunlara Atanması: Bu aşamada, kalite göstergesi için belirlenen faktörlerin, seçilen tasarım yardımıyla, seviyelerine göre atamaları yapılmaktadır.

Testlerin Yapılması: Sütunlara atanan faktör ve değerlerine göre gereken koşulları sağlayarak deneylerin gerçekleştirilmesi aşamasıdır.

Sonuçların analiz edilmesi: Verilerin analizinde, ilgilenilen kalite göstergesine etkisi olan faktör veya etkileşimler belirlenerek, kritik olanlar seçilmektedir. İlgilenilen ürün performansına etkisi olan faktörler ve uygun seviyeler belirlendikten sonra, sadece kritik olan faktör veya etkileşimler yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve istatistiksel olarak analizi yapılır. Analiz, yapılan çalışmanın duyarlılığı için gereklidir. Analizde, kurulan model temelinde deney faktörleri için elde edilmiş verilere ilişkin grafikler de oluşturulmaktadır.

Doğrulama deneyinin yapılması: Deney tasarımı sonucunda belirlenen kritik faktör veya etkileşimlerin ürün performansını etkileyip etkilemediğine bakılarak, faktörler için uygun seviyeler belirlenmekte ve deneyler yapılmaktadır (Pınar ve Güllü, 2010).

3.2. Çevrim Dışı ve Çevrim İçi Kalite Kontrolü

Taguchi'ye göre kalite, ürün ve süreçteki değişkenliğin azaltılarak hedef değere yaklaştırılması ve buna bağlı olarak tüketici gereksinimlerinin optimum seviyede karşılanmasıdır. Taguchi, kalite kontrolünün sadece üretim esnasında değil, aynı zamanda üretim öncesinde de önemini vurgulayarak, deney tasarımı ve analiz tekniklerini daha da geliştirmiştir. Taguchi'nin üretim kalite sisteminde, kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler; Çevrim Dışı Kalite Kontrol ve Çevrim İçi Kalite Kontrolüdür. Taguchi'nin kalite sisteminde, deney tasarımı, Çevrim Dışı Kalite Kontrol içinde yer almaktadır (Şirvancı, 1997).

Çevrim içi kalite kontrol, üretime başlanan ürünün, muayene yöntemleri ile kalitesinin sağlanmaya çalışılması aşamasıdır. Bu kontrol çalışmaları sırasında istenilen spesifikasyon değerleri dışında kalan ürünlerin ayıklanarak, ıskartaya ayrılması veya düzeltme işlemlerine tabi tutulması aşamasıdır. Aynı zamanda müşteriye iletdikten sonra kusurlu olarak geri gelen ürünün servis ve bakım aşamasıdır (Şirvancı, 1997).

Çevrim dışı kalite kontrol, pazar araştırması ile ürün ve üretim sürecinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarındır. Taguchi, çevrim dışı kalite kontrolü; ürün tasarımı ve süreç tasarımı olarak ikiye ayırmaktadır (Aksu, 2010). Kalite sağlama aşaması olarak, hem ürün tasarımı için hem de süreç tasarımı için, üç kalite aşaması tanımlanmıştır. Bunlar;

1. Sistem Tasarımı
2. Parametre Tasarımı
3. Tolerans Tasarımı (Şirvancı, 1997).

Sistem tasarımı çevrim dışı kalite kontrolün ilk adımıdır. Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denebilir (Aydın, 1994). Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilir, aynı zamanda mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu adımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımı ve maksimum müşteri memnuniyetidir.

Taguchi'ye göre, ürünün kalite iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de süreç tasarımı için, parametre tasarımıdır. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek varyasyonu asgariye indirerek, ürünün hem imalat hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009).

Tolerans tasarımı, parametre belirleme çalışmaları sonucu istenilen hedefe ulaşamadığı durumda yapılan ilave çalışmalardan ibarettir. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılır. Süreç parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat süreç parametreleri için optimal seviye ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır. Süreç parametre tasarımında ve tolerans tasarımında amaç, üründe ve süreçte, varyasyon yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek, ürün ve süreçteki varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına sağlam tasarım demektedir (Baynal ve Terzi, 2005).

Taguchi yönteminde veriler dikey dizimler kullanılarak elde edilmektedir. Dikey dizimler daha az sayıda ve daha ucuza mal olan deneyler yapılmasına, böylece

deney tasarımı uygulamalarının yaygınlaşmasına imkân sağlamaktadır. Taguchi yöntemi sinyal gürültü oranı (S/N) kullanarak yanıt değişkenin hem ortalaması hem de varyansı ile ilgili bilgilere yoğunlaşmaktadır. Bu yöntem kullanılarak elde edilen en iyi faktör/seviye kombinasyonu, yanıt ortalamasını hedef değerine taşıırken; bir yandan da değişkenliğinin azaltılmasını sağlar (Baynal ve Terzi, 2005).

Taguchi'nin tam ve bütünleşik sistemi, dünyada üretim süreci spesifikasyonlarını belirlemekte, bu spesifikasyonlara göre tasarım geliştirmekte ve ürünün ya da üretim sürecinin bu spesifikasyonlara göre gerçekleştirilmesinde yardımcı olmaktadır. Ayrıca Taguchi'ye göre ürün kalitesi ya da kalitesizliği ürünün müşteriye teslim edilmesinden sonra oluşan toplumsal kayıptır. Taguchi felsefesi ürün kaybını önlemeye yönelik çalışmalar doğrultusunda şekillenmektedir. Ürün, üretim sürecinde karşılaşılabilecek kontrol edilemeyen çevresel faktörlerden etkilenmeyecek kadar sağlam olmalıdır.

Klasik deney tasarım yöntemlerinin kullanımı endüstriyel şartlar altında verimli olamayabilir. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da hızlı bir şekilde artmakta, maliyetler yükselmekte, uygulamalar zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda bir kesirli faktöriyel tasarım olan Taguchi yönteminin uygulanması daha verimli ve kolay olabilir. Taguchi yönteminin esas amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasıdır. Temeli deney tasarıma dayanmaktadır. Bu yöntem, kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemine, sağlam tasarım ve dikey dizimler gibi kavramları eklemektedir (Hamzaçebi ve Kutay, 2001).

Taguchi yöntemini anlamak için ilk olarak Taguchi'nin oluşturduğu kalite anlayışının temellerini oluşturan yedi temel fikri anlamak gerekmektedir. Bu fikirler, aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Üretilen bir ürünün kalitesi o ürünün kullanımı sırasında toplumda meydana getirdiği kayıpla ölçülür.
- Bir işletmenin pazarda kalabilmesi için sürekli olarak kaliteyi geliştirip maliyeti azaltması gerekmektedir.
- Kalite geliştirme programı sürekli olarak ürün performans karakteristiklerinin hedef değerlerinden olan sapmalarını azaltmayı amaçlamalıdır.
- Bir ürünün performansındaki sapmanın, tüketici üzerinde meydana getirdiği kayıp, söz konusu performans karakteristiğinin hedef değerden sapma miktarının karesi ile doğru orantılıdır.

- Ürün kalitesi, büyük ölçüde ürün tasarımı ve üretim sürecince belirlenebilmektedir.
- Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için, ürünün performans karakteristiğinin üzerinde etkili olan parametrelerin etkilerini kontrol altına almak gerekir.
- Ürün karakteristiklerindeki değişimi azaltan parametre kombinasyonları tanımlamak amacıyla deneysel tasarım yaklaşımı kullanılabilir (Saat, 2000; Çiftçi Aytekin, 2010).

3.3. Taguchi Yönteminde Kayıp Fonksiyonu

Taguchi yöntemi, çözümün sadece en az sayıda deneyle elde edilmesini sağlamakla kalmaz, yüksek kalitede süreç ve ürün geliştirilmesini her açıdan destekler. Buna, sürecin veya ürünün üretim şartlarına ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı minimum hassasiyeti göstermesi, gerekli toleransların en düşük maliyetle sağlanması ve Taguchi kayıp fonksiyonu sayesinde ürünün toplumda yol açtığı kaybı en aza indirerek yeni bir kalite maliyeti anlayışı çerçevesinde değerlendirilmesi de dâhildir (Meral vd, 2011).

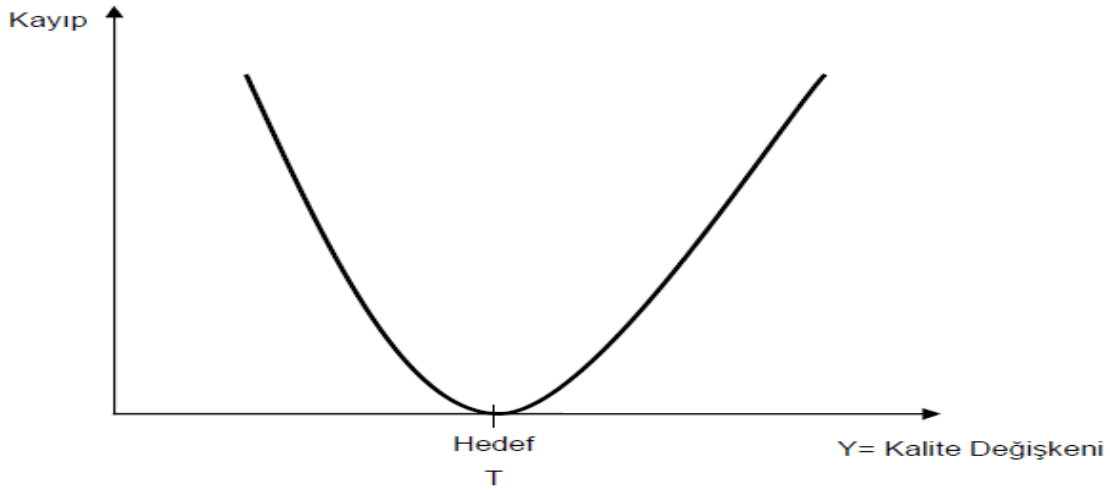
Taguchi kalite felsefesinin temelinde, kayıp fonksiyon kavramının önemli bir yeri vardır. Bir ürün veya süreç karakteristiği ile ilgili olarak belirlenmiş bir hedeften sapmalar sonucunda, hedef etrafında aşırı değişkenliğe yani büyük varyansa bağlı olarak kayıplar meydana gelecektir. Taguchi sözü geçen bu kayıpları temsil edebilmek için karesel kayıp fonksiyonunu önermiştir (Taguchi vd, 2005).

Taguchi'nin kayıp fonksiyonu, hedeflenen değerden sapmanın maliyetini değerlendirme fırsatını sağlamaktadır. Geleneksel kalite kontrolde parçalar, hedef değerden sapmalarına bakılmaksızın, spesifikasyon sınırları içinde olup olmadıklarına göre değerlendirilir. Parçanın değeri sınırın dışındaysa parça yeniden işleme veya hurdaya sevk edilir; sınırın içindeyse kabul edilir. Firma açısından kayıp ya tamdır, ya sıfırdır. Taguchi, bu geleneksel görüşün gerçeği aksettirmediğini düşünerek karesel kayıp fonksiyonu denilen kayıp fonksiyonunu geliştirmiştir. Bu şekilde, yatay eksen hedeften sapmanın miktarını, dikey eksen parasal kaybı temsil eder. Kayıp, ürünün fabrika çıkışından sonra oluşan tüm kaybın toplamıdır. Buna, iadeler, garanti talepleri, müşterinin tamir masrafları gibi maliyetler dâhildir. Hedef değerden sapma arttıkça, sapmanın karesi oranında kayıp artmaktadır.

Kayıp fonksiyonunun denklemi aşağıda verilmektedir:

$$\text{Kayıp} = k(Y - T)^2 \quad (3.1)$$

Denklemden, T = Hedef değeri, Y = değişkenin ölçülen değeri ve k ise sapmayı para birimine çeviren bir katsayıdır. Şekil 3.1’de kayıp fonksiyonunun grafiksel gösterimi verilmiştir (Şirvancı, 1997).



Şekil 3.1. Taguchi yöntemi kayıp fonksiyonu

Amaç yalnızca spesifikasyonları karşılamak değil, hedeften sapmaları minimum yaparak varyansı azaltmaktır. Taguchi kayıp fonksiyonu “bir ürünün kalite özellikleri hedefte olduğu zaman kayıp sıfır olmaktadır” şeklinde özetlenebilir (Taguchi vd, 2005).

Kayıp fonksiyonu bize, kaybın azaltılması için değişkenliğin azaltılması gerektiğini söylemektedir. Taguchi, kayıp fonksiyonu ile ilgili olarak aşağıdakileri belirtmektedir:

- Kalite kayıp fonksiyonu, sürekli bir fonksiyondur ve hedeften sapmanın bir ölçüsüdür.
- Kalite kayıpları, ürün performans karakteristikleri ile ilgilidir ve kalitenin ürüne göre tasarlanması ile en iyi şekilde minimize edilir. Düşük kalitenin önlenmesi, yeniden işleme maliyetlerine göre daha ucuzdur.
- Kalite kayıpları, müşteri memnuniyetsizliğine sebep olmaktadır.
- Kalite kayıpları, finansal ve sosyal kayıplardır.

- Kalite kayıplarının minimizasyonu, bugünün rekabet ortamında rekabet edebilmenin ve hayatta kalabilmenin tek yoludur (Hamzaçebi ve Kutay, 2001).

Taguchi felsefesinde, sapma kareler ortalaması kavramı önem kazanmıştır. Bu kavram, süreç varyansı ve sapma terimlerinden oluşmaktadır. Süreç varyansı veya sapmanın azaltılması ile ortalama kare sapmanın küçültülebileceği bilinen bir gerçektir. Taguchi, süreç varyansını ve ortalamasını aynı anda tek bir istatistik altında ölçmeyi uygun bulmaktadır. Bu tip istatistiklere ‘sinyal-gürültü’ oranları adı verilir (Taguchi vd, 2005).

3.4. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranları

Taguchi, yanıt değişken değerlerini kullanarak sinyal-gürültü oranı adı verilen bir istatistik tanımlar ve kalite karakteristiğinin belirli hedefe bağlı performansını ölçmeye çalışır. Kalite karakteristikleri, ürünlerin veya süreçlerin bazı ölçülebilir kalite özelliklerini gösteren bağımlı değişkenlerdir. Bu değişkenlere kalite değişkenleri adı da verilmektedir (Roy, 1990).

Taguchi ürün ve süreç üzerinde etkili olan faktörleri kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak iki gruba ayırmış, ürün ya da süreçlerin fonksiyonel özelliklerinde farklılık (varyasyon) yaratan ve kontrol edilemeyen faktörleri gürültü faktörleri olarak adlandırmıştır. Kontrol edilebilen faktörler tasarım parametrelerimizdir. Bunlar, tasarımcı tarafından serbest bir şekilde belirlenebilmektedir. Tasarım faktörlerinin optimum seviyelerinin seçilmesi tasarımcının sorumluluğundadır. Kontrol edilemeyen faktörler ise gürültü faktörleri dediğimiz, ürünün fonksiyonel karakteristiklerinde farklılık yaratan ve süreçte kontrol etmenin oldukça zor ve maliyetli olduğu faktörlerdir.

Gürültü faktörleri üç gruba ayrılmaktadır;

1. Dışsal Gürültü (external noise): Isı, nem oranı, voltaj ve toz gibi kontrol edilemeyen çevresel koşullardaki değişikliklerdir.
2. İçsel Gürültü (internal noise): Yıpranma, zaman ve kullanım sonucu oluşan ürün aşınması gibi değişikliklerdir.
3. Birimler Arası Gürültü (unit to unit noise): Aynı özelliklere göre imal edilmiş olunmasına rağmen, birimden birime görülen hammadde, üretim süreci ya da farklı varyyalardan kaynaklanan değişkenliklerdir.

Sinyal/Gürültü oranı, kontrol edilen faktörler üzerinde gürültü faktörlerinin etkilerini ölçerek, kalite özelliğindeki değişimin duyarlılığını göstermektedir. Sinyal/Gürültü oranına göre, deney düzeninden en iyi koşul belirlenebilmektedir. Bu amaçla, herhangi bir deney düzenindeki sonuçlardan en yüksek Sinyal/Gürültü oranı seçilmelidir. Taguchi'ye göre ürün düzeninde en yüksek Sinyal/Gürültü oranlı sonuçlar daima en küçük varyanslı ve en kaliteli ürünü belirleyecektir (Şirvancı, 1997).

Bu aşamada, her bir yanıt için sinyal gürültü oranı hesaplanır. Taguchi yetmişden fazla sinyal-gürültü oranı geliştirmiştir. Bunlardan geniş ölçüde uygulanan üç tane Sinyal/Gürültü oranı aşağıda verilmiştir (Saat, 2000; İç ve Yıldırım, 2012).

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right), \quad \text{en küçük en iyi yanıt için} \quad (3.2)$$

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right), \quad \text{en büyük en iyi yanıt için} \quad (3.3)$$

$$S/N = 10 \log \left(\bar{Y}^2 / S^2 \right), \quad \text{nominal en iyi yanıt için} \quad (3.4)$$

En küçük en iyi yanıt için kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sıfırdır. En büyük en iyi yanıt için kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sonsuzdur. Nominal en iyi yanıt, Y için belli bir hedef değer verilmiştir.

Her üç tip problemde de amaç Sinyal/Gürültü oranını maksimize etmektir. Sinyal/Gürültü oranının maksimize edilmesi Taguchi'ye göre, hem sinyali artırmak, hem de varyasyonu azaltmaktır (Saat, 2000).

3.5. Varyasyon Ölçümü

Varyasyon, hedef değerden sapma olarak tanımlanabilir (Şirvancı, 1997). Taguchi kalitenin geliştirilmesi için öncelikle varyasyonun azaltılması, daha sonra süreç nominal en iyi tipinde yanıtlar içeriyorsa, ayar faktörleri kullanılarak hedefe doğru yönlendirilmesi yolunu önermektedir.

Varyasyonu ölçmek için, örneklem aralığı (R) ve örneklem standart sapması (S) kullanılır. Belli bir örneklem için aralık;

$$R = \text{En Büyük Gözlem Değeri} - \text{En Küçük Gözlem değeri}$$

olarak tanımlanır. R, aşırı büyük ve aşırı küçük değerlerden çok fazla etkilenir.

Varyasyon ölçüsü olarak R'nin yerine hesaplanması biraz daha zor olması rağmen, standart sapma 'S' tavsiye edilir (Şirvancı, 1997).

Standart sapma S , örneklem varyansı S^2 'nin pozitif kareköküdür. Y_i = Gözlem Değeri, $\bar{Y}$ = Gözlem Değeri Ortalaması ve n = Gözlem Sayısı olmak üzere varyans (S^2) formülü

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (3.5)$$

olarak hesaplanır.

Kaliteli ürün üretebilme yeteneği süreç varyasyonunun bir fonksiyonu olarak ifade edilen süreç yetenek indeksi (C_p) ile hesaplanır.

Süreç Yetenek İndeksi;

$$C_p = \frac{\bar{ÜSS} - ASS}{6\sigma} \quad (3.6)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada;

ASS: Alt spesifikasyon sınırı

ÜSS: Üst spesifikasyon sınırı

σ : Standart sapma

ifade etmektedir (Şirvancı, 1997).

3.6. Taguchi Yöntemi Teknikleri

Taguchi, 1956 yılında faktöriyel tasarım ve kesirli faktöriyel tasarım deneyleri düzenlemek için; dikey dizim çizelgelerinden oluşan bir katalog ve 1959 yılında, bu çizelgelere grafiksel destek sağlayan Doğrusal Grafikler yöntemini geliştirmiştir. Taguchi, deney düzenlerini oluşturmak için;

1. Dikey Dizimler kataloğundan, uygun bir Dikey Dizim seçer,
2. Deneyde tahmin edilmek istenen faktör ve etkileşimleri, Dikey Dizimlerin sütunlarına atamak için, Doğrusal Grafikler yönteminden ve etkileşim ya da Üçgensel Çizelgelerden yararlanır.

3.6.1. Dikey dizimler

Taguchi küçük deneyler ile en iyi durumun belirlenebileceğini görmüş ve kesirli tekrarlı tasarımlara dayanan bir teknikle deneylerin hazırlanmasını önermiştir. Taguchi'nin deney düzenlemek için geliştirdiği yöntemlerin temelini, dikey dizimler oluşturur (Köksoy, 2001). Taguchi'nin kataloğunda, 18 dikey dizim çizelgesi yer alır ve bir dikey dizim için $L_N(s^k)$ ya da L_N gösterimi kullanılır. $L_N(s^k)$; s tane farklı

elemana sahip, her bir sütun çiftinde; bütün olası s^2 elemanlar çiftinin aynı sıklıkta görüldüğü, $N \times k$ boyutlu bir matristir. Burada N; Dikey Dizim de yer alan satır sayısı ve k; sütun sayısıdır (Taguchi vd, 2005).

Dikey dizimler, sütunların faktör ve etkileşimlere, sütunlardaki elemanların faktör seviyelerine ve satırların da denemelere karşılık geldiği, tam faktöriyel deney tasarımı düzenleri olarak değerlendirilebilirler. Dikey dizimlerin önemli bir özelliği; bazı sütunların silinmesiyle oluşan bir alt matrisin ya da satır ve sütunların yer değiştirmesiyle oluşan matrisin, yine bir Dikey Dizim olmasıdır. İki seviyeli dikey dizimdeki elemanlar için (1,2), (-,+), ya da (0,1) gösterimi tercih edilebilir (Şirvancı, 1997). L_4 dikey dizimi Çizelge 3.1’de verilmiştir ve dikey dizim elemanları (1,2) şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. $L_4(2^3)$ dikey dizimi

Sütun	1	2	3
Satır			
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere sütunlarda bulunan 1 ve 2 rakamları eşit sayıda görülmektedir. Ayrıca sütunlara 1-2, 1-3 ve 2-3 şeklinde ikili gruplar halinde bakılırsa (1,1), (1,2) (2,1) ve (2,2) elemanları her koşulda aynı sıklıkta görülmektedir. Bu durumlar sonucunda dikeylik koşulunun sağlandığı söylenebilir.

2 seviyeli dikey dizim çizelgelerinden $L_8(2^7)$ dikey dizimi Çizelge 3.2’de verilmiştir ve (-,+) şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. $L_8(2^7)$ dikey dizimi

Sütun \ Satır	1	2	3	4	5	6	7
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	+	+	+	+
3	-	+	+	-	-	+	+
4	-	+	+	+	+	-	-
5	+	-	+	-	+	-	+
6	+	-	+	+	-	+	-
7	+	+	-	-	+	+	-
8	+	+	-	+	-	-	+

Taguchi felsefesinde, dikey dizimlerin sütunlarına, bir deneyde tahmin edilmek istenen faktör ve etkileşimler atanmaktadır. Çizelge 3.2’de $L_8(2^7)$ dikey dizimi 7 sütun içerdiğinden, bu dikey dizimden en fazla 7 faktör içeren ve 8 denemede gerçekleştirilen bir deney düzeni oluşturulabilir. Taguchi’nin kataloğunda yer alan 2 seviyeli dikey dizimler ile içerdikleri deneme, faktör ve etkileşim sayıları Çizelge 3.3’te verildiği gibidir:

Çizelge 3.3. Taguchi’nin 2 seviyeli dikey dizimleri

Dikey dizimler	Satır sayısı	Sütun sayısı
$L_4(2^3)$	4	3
$L_8(2^7)$	8	7
$L_{12}(2^{11})$	12	11
$L_{16}(2^{15})$	16	15
$L_{32}(2^{31})$	32	31
$L_{64}(2^{63})$	64	63

2 seviyeli dikey dizimlerde her bir sütun 1 serbestlik derecesine sahiptir ve bir dikey dizimin satır sayısı en az deneyin serbestlik derecesi kadar olmalıdır. Deney yapmak pahalı ve yorucu olduğundan, deneyin gerçekleştirilebileceği en küçük dikey dizim seçilir. Bu seçimin yapılabilmesi için, deneydeki faktör sayısının ve tahmin edilmek istenen etkileşimlerin bilinmesi gerekir. Örneğin; her biri 2 seviyeli 7 faktörden oluşan bir deneyde yalnızca ana etkiler tahmin edilmek istendiğinde,

deneydeki toplam serbestlik derecesi 8'dir. Bunlardan biri ortalama ve 7'si, 2 seviyeli 7 faktör içindir. Bu nedenle kullanılabilecek en küçük dikey dizim 8 satır ve 7 sütundan oluşan $L_8(2^7)$ 'dir. Deneydeki 7 faktörün her biri, L_8 dikey dizimindeki 7 sütundan birine atanacaktır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009).

3.6.1.1. Dikey dizimlerin oluşturulması

Taguchi, dikey dizimleri oluştururken Latin karelerden faydalanmıştır. L_1 ve L_2 gibi rxr boyutlu iki Latin Kare üst üste konulduğunda oluşan eleman çiftleri birbirlerinden farklıysa L_1 ve L_2 için birbirine dik denir. Greko Latin kare deney tasarımının da dik Latin karelerin birleşimi olarak tanımlanabileceği Bölüm 2.4.'te ifade edilmiştir.

Taguchi, $L_1, L_2, \dots, L_{r-1}$ ile gösterilen rxr boyutlu Latin karelerden, r^a ($a=2, 3, \dots$) büyüklüğünde, $(r^a - 1)/(r - 1)$ sütunlu bir dikey dizim oluşturulabileceğini belirtmiştir (Danacıoğlu, 1998). Çizelge 3.4'te, 3×3 boyutlu iki Latin kare (L_1 ve L_2) verilmiştir.

Çizelge 3.4. 3×3 boyutlu L_1 ve L_2 Latin kareleri

L_1				L_2			
	1	2	3		1	2	3
1	1	2	3	1	1	3	2
2	2	3	1	2	2	1	3
3	3	1	2	3	3	2	1

Bu iki Latin kare birleştirilerek 3×3 boyutlu bir Greko Latin kare Çizelge 3.5'teki gibi elde edilir. L_3 şeklinde ifade edilen bu Greko Latin karede $3^2 = 9$ tane eleman çifti yalnızca bir kez görülmektedir.

Çizelge 3.5. 3×3 boyutlu Greko Latin karesi

L_3			
	1	2	3
1	11	23	32
2	22	31	13
3	33	12	21

Taguchi, dikey dizim çizelgeleri çeşitli yöntemlerle oluşturulabilir. Danacıoğlu (1998) ile Dervişoğlu ve Muluk (2007) farklı yöntemler kullanarak L_9 dikey dizimini oluşturmuşlardır. Danacıoğlu (1998), L_9 dikey dizimini oluştururken Çizelge 3.5'te birinci satır ve birinci sütundan başlamıştır. Daha sonra birinci sütun ve ikinci satırdan devam etmiş ve son olarak üçüncü satır üçüncü sütunla bitirmiştir. L_9 dikey diziminin birinci satırını oluştururken birinci sütuna L_3 'ün sütun numarası olan 1 değerini, ikinci sütuna L_3 'ün satır numarası olan 1 değerini, L_3 'ün kodu olan 11'in değeri olan 11'i ise ilk 1 üçüncü sütuna ikinci 1 de dördüncü sütuna gelecek şekilde yazmıştır. L_9 dikey diziminin ikinci satırını oluştururken ise birinci sütuna L_3 'ün sütun numarası olan 1 değerini, ikinci sütuna L_3 'ün satır numarası olan 2 değerini, L_3 'ün kodu olan 12'in değeri olan 22'yi ise ilk 2 üçüncü sütuna ikinci 2 de dördüncü sütuna gelecek şekilde yazmıştır. Bu işlemler üçüncü satır ve birinci sütun alınarak devam edilmiş ve aynı işlemler uygulanarak en son üçüncü satır ve üçüncü sütun alınmıştır. Oluşturduğu çizelge ise Çizelge 3.9'da verilmiştir. Dervişoğlu ve Muluk (2007) ise Çizelge 3.5'i, Çizelge 3.6'daki gibi kodlayarak L_9 dikey dizim çizelgesini elde etmeye çalışmıştır.

Çizelge 3.6. 3x3 boyutlu kodlanmış Greko Latin karesi

	L_3		
	1	2	3
1	$X_{11} = 11$	$X_{21} = 23$	$X_{31} = 32$
2	$X_{12} = 22$	$X_{22} = 31$	$X_{32} = 13$
3	$X_{13} = 33$	$X_{23} = 12$	$X_{33} = 21$

Dervişoğlu ve Muluk (2007), L_9 dikey diziminin satırlarını oluşturmak için Çizelge 3.6'daki indisler ve indislerin karşısındaki değerler ele alınmıştır. Örneğin; birinci satır için: X_{11} 'in indisleri olan "1 – 1" ilk satırın ilk iki sütununa yazılır. Daha sonra karşısındaki değer olan 1-1 de ayrı ayrı üçüncü ve dördüncü sütuna yazılır. Oluşturulacak olan ikinci satır ise L_3 'ün birinci satır ve birinci sütunundan sonra ikinci satır ve birinci sütunu alınır. Yani işlem yukarıdan aşağıya doğru yapılmalıdır. Aynı işlem L_9 dikey diziminin 5. satırı için de yapılırsa; X_{22} 'nin indisleri olan 2 ve 2 beşinci satırın birinci ve ikinci sütununa yazılır. Karşısındaki değer olan 3 ve 1 ise beşinci satırın üçüncü ve dördüncü sütununa yazılır. Tüm satırlara aynı işlem uygulanarak Çizelge 3.9'daki L_9 dikey dizim çizelgesi elde edilir.

Bu tez çalışmasında ise üçüncü bir deneme çalışmasına yer verilmiştir. Çizelge 3.7’de Çizelge 3.4’ten farklı olarak Latin kare denemeleri oluşturulmuştur.

Çizelge 3.7. 3x3 boyutlu L_4 ve L_5 Latin kareleri

L_4				L_5			
	1	2	3		1	2	3
1	1	2	3	1	1	2	3
2	2	3	1	2	3	1	2
3	3	1	2	3	2	3	1

Oluşturulan bu iki Latin kare Çizelge 3.8’de görüldüğü gibi kodlanmış Greko Latin kare tasarımına dönüştürülmüştür.

Çizelge 3.8. 3x3 boyutlu kodlanmış Greko Latin karesi

L_6			
	1	2	3
1	$X_{11} = 11$	$X_{12} = 22$	$X_{13} = 33$
2	$X_{21} = 23$	$X_{22} = 31$	$X_{23} = 12$
3	$X_{31} = 32$	$X_{32} = 13$	$X_{33} = 21$

L_9 dikey dizimini oluştururken öncelikle birinci sütundan başlanmaktadır. Birinci sütunu oluştururken X’lerin satır indisleri olan birinci indisleri kullanılır. Çizelge 3.8’de birinci satırda yer alan X_{11} , X_{12} ve X_{13} ’ün sadece satır numarası olan 1’ler alınır ve dikey dizimin birinci sütununun ilk üç satırına yazılır. İkinci satırda yer alan X_{21} , X_{22} ve X_{23} ’ün satır numarası olan 2’ler alınır ve dikey dizimin birinci sütununun dördüncü, beşinci ve altıncı satırına yazılır. Üçüncü satırda yer alan X_{31} , X_{32} ve X_{33} ’ün satır numarası olan 3’ler dikey dizimin son üç satırını oluşturur. Böylece Çizelge 3.9’da verilen L_9 dikey dizim çizelgesinin birinci sütunu elde edilmiş olunur.

L_9 dikey dizim çizelgesinin ikinci sütunu için Çizelge 3.8’de bu sefer sütun numaraları alınır. İşlem yine birinci satırdan başlamaktadır. Birinci, ikinci ve üçüncü satırın sütun indisleri sırasıyla; 1, 2 ve 3’tür. Bu değerler dikey dizimin ikinci sütununa sırasıyla - birinci satır indis değerleri, ikinci satır indis değerleri ve üçüncü

satır indis değerleri - yazılır. Böylece Çizelge 3.9'da verilen L_9 dikey dizim çizelgesinin ikinci sütunu elde edilmiş olunur.

L_9 dikey dizim çizelgesinin üçüncü sütunu için Çizelge 3.8'de indislere karşılık gelen değerler alınır. İlk satır; 11, 22 ve 33'tür. Bu ikili değerlerin sadece ilki alınarak dikey dizimin üçüncü sütununun ilk üç satırı olan 1,2 ve 3'ü oluşturur. İkinci satır; 23, 31 ve 12'dir. Aynı şekilde bu ikili değerlerin ilki alınarak dördüncü, beşinci ve altıncı satırları olan 2,3 ve 1'i oluşturur. Dikey dizimin üçüncü sütununun son üç satırı ise Çizelge 3.8'de yer alan üçüncü satır ikilileri olan 32, 13 ve 21'den elde edilen 3,1 ve 2'den oluşur.

Son olarak L_9 dikey dizim çizelgesinin son sütunu kalmıştır. Bu sütunu oluşturmak için Çizelge 3.8'de, indis karşılığı olan ikililer kullanılır. Birinci satır; 11, 22 ve 33 ikililerinden ikinci değerleri olan 1, 2 ve 3 alınır ve L_9 dikey dizimin dördüncü sütununun ilk üç satırını oluşturur. İkinci satır; 23, 31 ve 12 ikililerin ikinci değerleri olan 3, 1 ve 2 alınır ve L_9 dikey dizimin dördüncü sütununun sırasıyla dördüncü, beşinci ve altıncı satırına yazılır. Son olarak üçüncü satır; 32, 13 ve 21 ikililerinin ikinci değerleri olan 2, 3 ve 1 alınır ve L_9 dikey dizimin dördüncü sütunun son üç satırına yazılır.

Yapılan tüm bu işlemler sonucunda $L_9(3^4)$ dikey dizim çizelgesi Çizelge 3.9'da görüldüğü gibi oluşturulur.

Çizelge 3.9. $L_9(3^4)$ dikey dizim çizelgesi

	1	2	3	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

Latin kare deney tasarımı kullanılarak oluşturulabilecek 3 seviyeli tek dikey dizim çizelgesi $L_9(3^4)$ 'tür. $L_{27}(3^{13})$, $L_{81}(3^{40})$ ve $L_{243}(3^{121})$ dikey dizimleri de 3 seviyelidir fakat Latin kare ile elde edilemezler. Taguchi bu durumu şöyle ifade etmiştir: Oluşturulacak $L_{27}(3^{13})$ dikey dizimi için $L_9(3^4)$ dikey dizimi 3 defa genişletilerek elde edilir. Böylece satır sayısı 27 olur. Yani $L_9(3^4)$ dikey dizimindeki

birinci sütun: satır 1'den 10'a kadar 1, 10'dan 19'a kadar 2 ve 19'dan 27'e kadar (27 dâhil) 3 olacaktır. İkinci sütunda sayılar tek tek gittiği için her bir sayı üçer defa yazılarak çizelge doldurulur. Aynı şekilde diğer sütunlar da genişletilir. Sütun sayısı da çizelge 3.11'de verilen $L_{27}(3^{13})$ üçgensel çizelgesine göre yerleştirilir.

3.6.2. Doğrusal grafikler

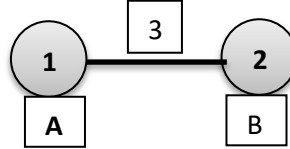
Faktörler arasındaki etkileşimlerin dikey dizimlere rastgele yerleştirilmesi, doğru olmayan analizlere ve hatalı sonuçlara yol açabilir. Taguchi bu tip hataları önlemek için faktörleri ve faktörler arasındaki etkileşimleri dikey dizimlerin uygun sütunlarına yerleştirilmesi için grafikler tasarlamış ve faktörlerin sistematik bir şekilde sütunlara atanmasını sağlamıştır. Bu grafiklere doğrusal grafikler denir (Kağınıcıoğlu, 1998). Doğrusal grafikler birbirine bağlı çemberlerden oluşur. Her çember, dikey dizimdeki temel faktörleri, bu çemberleri birbirine bağlayan çizgiler ise iki faktör arasındaki etkileşim faktörünü ifade eder.

Taguchi'nin doğrusal grafikler yöntemini kullanarak faktör ve faktör etkileşimlerini uygun sütunlara atama yaklaşımı 5 adımdan oluşur:

1. Deneyde tahmin edilecek etkilerin listesine göre, bu etkilerin tahmin edilebileceği en küçük dikey dizim seçilir. Taguchi bu listeyi, ihtiyaçlar kümesi olarak adlandırmıştır. Daha sonra deneyin serbestlik derecesi hesaplanır ve dikey dizimin serbestlik derecesi ile karşılaştırılır.
2. İhtiyaçlar kümesine göre; ana etkilerin tepeler ve etkileşimlerin tepeleri birleştiren doğrularla gösterildiği, doğrusal grafiklere benzeyen bir grafik çizilir. Taguchi bu grafiğe, ihtiyaçlar doğrusal grafiği demiştir.
3. Adım 1'de belirlenen dikey dizime göre, ihtiyaçlar doğrusal grafiğine en çok benzeyen bir standart doğrusal grafik seçilir.
4. Faktör ve etkileşimlerin dikey dizimdeki sütunlara atanması için; seçilen standart doğrusal grafik kullanılır. İhtiyaçlar doğrusal grafiği ile standart doğrusal grafik izomorfik ise; aralarındaki bire bir eşlemeden yararlanarak, atamalar kolaylıkla yapılabilir. Ancak ihtiyaçlar doğrusal grafiği, ihtiyaçlar kümesine göre değişeceğinden, atamaların bu şekilde yapılması her zaman mümkün değildir.

5. Deneyde, seviyelerini değiştirmenin zor olduğu faktörler varsa; doğrusal grafiğin izomorfik grafikleri incelenerek, olası sütun atamaları karşılaştırılabilir (Danacıoğlu, 1998).

şekil 3.2’deki grafikten yararlanarak, dikey dizimdeki sütun yerleşmesi şöyledir; 1. sütun da A faktörü, 2. sütun da B faktörü ve 3. sütun da ise A faktörü ile B faktörünün etkileşimi olacaktır.



şekil 3.2. L_4 standart doğrusal grafiği

Yukarıda verilen açıklamanın çizelge şekli ise Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. $L_4(2^3)$ dikey dizimi yerleşimi

Sütun Satır	1 (A)	2 (B)	3 (A*B)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

3.6.3. Üçgensel çizelgeler

Etkileşim faktörlerinin dikey dizimlere atanmasında kullanılan diğer bir yöntem de üçgensel çizelgelerdir. Taguchi, dikey dizimlerde birbiri ile etkileşimli sütunlar hakkında bilgi veren üçgensel çizelgeleri geliştirmiştir. Üçgensel çizelgeler, faktörlerin ve etkileşimlerin dikey dizimlere atanmasında yardımcı araçlardan bir tanesidir. Üçgensel çizelgeler, faktörler arasındaki tüm olası etkileşimleri içerir. Bu çizelgeler içerisinde yer alan sayılar, etkileşimlerin hangi sütunda yer alacağını gösterir. İlk ve ikinci faktörün hangi sütuna atanacağı bağımsızdır. Bu iki sütuna atanan faktörün etkisi ile daha sonra atanacak sütun numaraları bağımlıdır. Üçgensel çizelgelerin özellikleri şunlardır;

1. Bütün üçgensel çizelgelerde bulunan sayılar, dikey dizimlerin sütunlarını gösterir.
 2. Bir dikey dizimin iki sütununa atanan A ve B faktörlerinin AB etkileşimi ile BA etkileşimi aynı anlama geldiğinden, üçgensel çizelgeler simetrik matristir ve Çizelge 3.11’de görüldüğü gibi matriste daima köşegenin üst tarafı verilir.
 3. Bir faktörün kendisi ile olan etkileşimi yine kendisi olduğu için, esas köşegen elemanları parantez içerisinde kesiştiği satır ve sütun numarasıdır.
 4. Daha büyük üçgensel çizelge, daha küçük üçgensel çizelgeyi daima içerir.
- Çizelge 3.11’de oluşturulan $L_{27}(3^{13})$ üçgensel çizelgesinden sonra oluşturulacak $L_{27}(3^{13})$ dikey dizim tablosu Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. $L_{27}(3^{13})$ üçgensel çizelgesi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	(1)	3	2	2	6	5	5	9	8	8	12	11	11
		4	4	3	7	7	6	10	10	9	13	13	12
2		(2)	1	1	8	9	10	5	6	7	5	6	7
			4	3	11	12	13	11	12	13	8	9	10
3			(3)	1	9	10	8	7	5	6	6	7	5
				2	13	11	12	12	13	11	10	8	9
4				(4)	10	8	9	6	7	5	7	5	6
					12	13	11	13	11	12	9	10	8
5					(5)	1	1	2	3	4	2	4	3
						7	6	11	13	12	8	10	9
6						(6)	1	4	2	3	3	2	4
							5	13	12	11	10	9	8
7							(7)	3	4	2	4	3	2
								12	11	13	9	8	10
8								(8)	1	1	2	3	4
									10	9	5	7	6
9									(9)	1	4	2	3
										8	7	6	5
10										(10)	3	4	2
											6	5	7
11											(11)	1	1
												13	12
12												(12)	1
													11

Çizelge 3.12. $L_{27}(3^{13})$ üçgensel çizelgesi sonucu oluşan $L_{27}(3^{13})$ dikey dizimi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

3.7. Taguchi Yönteminde ANOVA

Varyans analizinde hedeflenen, incelenen faktörlerin kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerini ne ölçüde etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtıklarını ortaya koyabilmektir. Bunun yanı sıra elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir. Sinyal/gürültü oranının toplam değişkenliğini belirten SS_T değeri (toplam kareler toplamı) hesaplanır.

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (\eta_i - \eta_m)^2 \quad (3.7)$$

Burada;

η_i = Ölçülen değer üzerinden hesaplanan S/N oranını; η_m = Ölçülen değer üzerinden hesaplanan S/N oranlarının ortalamasını; n = Toplam deney sayısını gösterir. A faktörü için kareler toplamı;

$$SS_A = \sum_{i=1}^{k_A} \left[n_{A_i} * (\eta_{A_i} - \eta_m)^2 \right] \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

k_A = A faktörünün seviye sayısı; n_{A_i} = A faktörünün i seviyesindeki deney sayısı; η_{A_i} = A faktörünün i seviyesindeki S/N oranı; η_m = Ortalama S/N oranıdır.

Bir sonraki adımda ise her faktörün deney sonuçlarını ne ölçüde etkilediğini gösterebilmek için F-Testi adı verilen hesaplama yapılır. F-Testinde toplam karelerin toplamındaki her bileşen için karelerin toplamı değeri o faktörün serbestlik derecesine bölünür ve karelerin ortalaması değeri belirlenir. F değeri kareler ortalaması değerinin hata kareler ortalamasına bölünmesi ile bulunur (İç, 2012). Hem S/N oranları hem de varyans analizleri, süreç parametrelerinin optimum seviyelerinin tahmini için kullanılmaktadır (Kasman, 2009).

Bulunan değerler Taguchi yönteminin ANOVA çizelgesine yerleştirilir. Çizelge 3.13 3 faktörlü (A, B ve C) ve her bir faktör 3 seviyeli durumuna göre oluşturulmuştur.

Çizelge 3.13. 3 faktörlü ve 3 seviyeli Taguchi yöntemi ANOVA çizelgesi

	SD	Ortalama S/N oranları			Kareler toplamı	Kareler ortalaması	Faktör etkisi (%)	F
		1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye				
A	n-1	S/N_{A_1}	S/N_{A_2}	S/N_{A_3}	KT_A	KT_A/SD_A	$\frac{KT_A}{KT_T}$	$\frac{KO_A}{KO_H}$
B	n-1	S/N_{B_1}	S/N_{B_2}	S/N_{B_3}	KT_B	KT_B/SD_B	$\frac{KT_B}{KT_T}$	$\frac{KO_B}{KO_H}$
C	n-1	S/N_{C_1}	S/N_{C_2}	S/N_{C_3}	KT_C	KT_C/SD_C	$\frac{KT_C}{KT_T}$	$\frac{KO_C}{KO_H}$
Hata	N-3n-2				KT_H	KT_H/SD_H	$\frac{KT_H}{KT_T}$	
Toplam	N-1				KT_T			

Tahmini S/N için ise;

$$\hat{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m) \quad (3.9)$$

formülü kullanılır. 3.9 formülünde;

$\hat{\eta}$ = tahmin edilen S/N oranı, η_m = elde edilen S/N oranlarının ortalaması ve η_i = her bir faktörün içerisinde bulunan S/N oranının en iyi sonucudur.

η_i değerinin nasıl seçildiğine dair örnek vererek bir açıklama yapalım. Herhangi bir analizde S/N oranının ‘en büyük en iyi’ formülünü kullanarak sonuçları elde etmeye çalıştığımızı varsayalım. Bu durumda oluşturulan Taguchi yöntemi ANOVA analizinde Çizelge 3.13 doldurulur. Tahmini S/N oranını bulmak için ise formül (3.9) kullanılır. Burada η_i değerimiz, A faktörünün içerisinde bulunan seviyelerden en büyüğüdür. Aynı şekilde diğer faktörler için de bu durum geçerlidir. Fakat S/N için ‘en küçük en iyi’ formülü kullanılıyorsa o zaman η_i değerleri de faktör içerisinde bulunan seviyelerden en küçüğüdür.

Tahmini S/N oranını yani $\hat{\eta}$ değerini bulduktan sonra da tahmini Y değeri bulunur. Tahmini ‘Y’ değerini bulmak için ise yine S/N oranı formüllerinden faydalanılır. Araştırılan konuya göre belirlenen S/N oranı formülünün aynısı kullanılarak tahmin edilen $\hat{\eta}$ değerine eşitlenir. Denklem (3.2), (3.3) ve (3.4) için oluşturulacak olan tahmini ‘Y’ değeri için formüller şöyledir;

$$\hat{\eta} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i^2 \right), \quad \text{en küçük en iyi yanıtı için tahmini Y} \quad (3.10)$$

$$\hat{\eta} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{Y}_i^2} \right), \quad \text{en büyük en iyi yanıtı için tahmini Y} \quad (3.11)$$

$$\hat{\eta} = 10 \log \left(\frac{\hat{\bar{Y}}^2}{S^2} \right), \quad \text{nominal en iyi yanıtı için tahmini Y} \quad (3.12)$$

şeklinde olur (Roy, 1990).

3.8. Taguchi Yöntemi ile Klasik Deney Tasarımı Arasındaki Farklar

Deney tasarımı, deneylerin etkinliklerini geliştirmek için kullanılan istatistiksel yöntemler bütünüdür. Deney tasarımı yöntemlerinde amaç istatistik üzerine olup, istatistiksel ilkelere tam bir bağlılık vardır.

Taguchi yöntemi ise, kaliteyi müşteri gibi algılayarak geliştirme amacına yönelik kullanılan istatistiksel ve istatistiksel olmayan yöntemler bütünüdür. Amaç

gelişmeyi olabildiğince etkin ve verimli olarak başarmak üzerine olup, istatistiksel ilkelere tam bir bağlılık söz konusu değildir.

Deney tasarımı ve Taguchi yöntemi arasındaki diğer farklılıklar şöyledir;

Klasik yöntemlerde performans karakteristiğinin sadece ortalaması ile ilgilenilir ve sadece ortalama, hedef değere getirilmeye çalışılır. Taguchi yönteminde ise S/N oranı kullanılarak hem ortalama hem de değişkenlik en iyi değere getirilmektedir. Taguchi yönteminde dikey dizimler kullanılarak diğer klasik yöntemlere göre (özellikle tam faktöriyel dizimlere göre) çok daha az deney ile daha fazla bilgi elde edilebilmektedir. Bunun yanı sıra özellikle maliyetlerde çok büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, Taguchi yönteminde gürültü faktör matrisi kullanılarak, dış faktörlerin kontrol edilmesi yerine, dış faktörlerden etkilenmeyen kontrol faktörlerinin değerleri bulunabilmektedir. Klasik yöntemde ise duyarlılık analizi, varyans analizi gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Taguchi yöntemi, diğer klasik deney tasarım yöntemlerine göre uygulama yönünden daha basit ve anlaşılırdır. İstatistik uzmanı ya da uzman olmayan kişiler için de Taguchi yönteminde izlenecek yollar açıktır. Taguchi yönteminin diğer bir avantajı da laboratuvar ortamında elde edilen en iyi kontrol faktörleri kombinasyonunun üretim ortamında da aynı başarılı sonucu vermesidir.

Taguchi yönteminin uygulanmasındaki odak nokta müşteridir. Müşterinin istediği kalite, aranan kalitedir ve bu kaliteden kaynaklanan değişkenlikler sadece müşteriler için değil, aynı zamanda işletme ve toplum için de büyük kayıptır. Hedef değerdeki her bir birim değişkenliğin bir bedeli vardır. Bu nedenle deney tasarımında değişkenliğin en aza indirilmesi temel hedeflerden biridir. Buna ulaşılırken maliyetler de göz ardı edilmemelidir (Danacıoğlu, 1998).

3.9. Taguchi Yöntemine Getirilen Eleştiriler

Taguchi yönteminin en büyük avantajı; karışık istatistiksel yöntemler ve bilgisayar programları olmadan, mühendislerin Faktöriyel Tasarım ve Kesirli Faktöriyel Tasarım deney düzenlerinin oluşturulmasını sağlamasıdır. Ayrıca doğrusal grafikler yöntemi, deney düzenlemeye görsel açıdan verdiği destek nedeniyle özellikle tercih edilmektedir.

Taguchi yönteminin en büyük dezavantajı ise; bu yöntemlerle oluşturulan düzenlerin eşdeğer yapısı ve çözümleriyle ilgili bilgi elde edilememesidir. Bisgaard'ın

(1996), Taguchi yöntemiyle ilgili eleştirilerinden birisi şöyledir; doğrusal grafikler yönteminin ihtiyaç olandan daha düşük çözümler vermesidir (Danacıoğlu, 1998).

Taguchi'nin sağlam parametre tasarımı yaklaşımıyla ilgili beş önemli eleştiri bulunmaktadır. Bunlar;

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

Çaprazlanmış dizim veya çarpım dizimi, biri gürültü faktörleri, diğeri kontrol faktörleri için olmak üzere, iki deney tasarımı ile kurulur. Bu iki tasarımın her ikisi de doyurulmuş ya da yaklaşık doyurulmuş olduğu için genellikle ekonomiktir. Bununla beraber iki tasarımın çarpımı, çoğu kez ekonomik bir tasarım türetmeyebilir.

Taguchi yöntemi iyi bir süreç iyileştirme yöntemi olsa da bazı yazarlar tarafından eleştirilmiştir. Bunlardan bazıları; Box (1988) ve Nair'dır (1992). Bu yazarların ana eleştirilerinden bazıları;

- Standart veri dönüşüm yöntemlerinin, Taguchi yönteminin S/N oranlarından daha etkin olabileceği
- Taguchi'nin sağlam tasarım yaklaşımında ardışık araştırmaların yetersizliği
- S/N oranı ve kayıp fonksiyonu gibi yöntemlerin yararlılığı tartışılmaktadır (Gencel, 2007; Dean vd, 2015).

4. UYGULAMA

Yapı endüstrisinde birçok malzeme türü kullanılmaktadır. Fakat bir yandan yakıt giderlerinin artması bir yandan da ülkemizin deprem kuşağında olması araştırmacıları ucuz, dayanıklı ve yalıtkan malzeme türleri aramaya zorlamaktadır. Alçı kompozitler bu amaca yönelik kullanılabilecek malzemelerdir. Tek başına alçı, ısıyı az iletmesi, hafif ve ucuz olması gibi önemli avantajlara sahiptir. Fakat tüm bunların yanında alçı, mekanik dayanımı zayıf bir malzemedir. Bu yüzden olası kullanım alanlarını genişletmek ve sahip olduğu özellikleri geliştirmek için dolgu malzemeleri ile güçlendirilmesi gerekmektedir (Dumlu, 2013).

Kompozit, aralarında belirgin bir ara yüze sahip olan iki veya daha fazla materyalin birleşimidir. Böylelikle elde edilen materyalin özellikleri bireysel unsurlardan daha üstündür (Shankar vd, 2017).

Alçı ülkemizde rezervi bol olan bir malzemedir. Fakat sağlam bir yapı olmaması sebebiyle yapı endüstrisinde kullanım alanı kısıtlıdır. Bu çalışmada amaç alçı malzemesinin daha dayanıklı hale getirilerek, kullanım alanlarının genişletilmesidir. Bu amaçla alçı malzemesi kırık atık araba lastiği ve e-camı ile birleştirilmiştir. Burada kırık atık araba lastiği, eski lastiklerden elde edilen atık malzemedir. E-camı ise cam elyafı yüksek elektriksel yalıtım özellikleri, neme karşı direnç ve yüksek mekanik özellikleri sayesinde, kompozit malzemeler içinde kullanılır. Böylelikle atıl olan bu malzemelerin de geri dönüşümü sağlanmış olmaktadır.

Bu çalışmada alçı malzemesini daha dayanıklı hale getirebilmek için Su/Alçı oranı (A), e-camı miktarı (B) ve kırık atık araba lastiği (C) faktörleri kullanılmıştır. Bu faktörlerin seviyeleri aşağıda verildiği gibidir:

Su/alçı Oranı seviyeleri (A): 0,6 (A₁), 0,7 (A₂) ve 0,8 (A₃)'tür.

E-camı miktarı (%) seviyeleri (B): 1 (B₁), 2 (B₂) ve 3 (B₃)'tür.

Kırık atık araba lastiği (%) seviyeleri (C): 0,5 (C₁), 1 (C₂) ve 2 (C₃)'tür.

Görüldüğü gibi çalışmada 3 faktör vardır ve her bir faktörün düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 seviyesi mevcuttur. Çalışmada bu faktörler kullanılarak basınç dayanımı, ısı iletim katsayısı ve Brinell sertlik deney sonuçları malzeme mühendisliği bölümünden alınmıştır (Dumlu, 2013). Bu deney sonuçlarının her biri

için faktöriyel tasarım, kesirli faktöriyel tasarım ve Taguchi yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir.

Bu veriler Ondokuz Mayıs Üniversitesi laboratuvarlarında yapılan ölçümler sonucu elde edilmiştir. Veriler orijinal veriler olup bu çalışma dışında hiçbir istatistiksel çalışmada kullanılmamıştır.

4.1. Faktöriyel Tasarım ile Sonuçların Elde Edilmesi

Faktöriyel tasarım eldeki faktörlerin ve her faktörün seviyelerinin tamamının kullanılmasıyla sonuçların elde edildiği bir tasarımdır. Bu çalışmadaki deneyde 3 faktör (su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiği) ve her faktörün üçer seviyesi bulunmaktadır. Faktöriyel tasarım analizleri SPSS 20 programı kullanılarak elde edilmiştir.

4.1.1. Kompozit malzemenin basınç dayanımı üzerine faktöriyel tasarım uygulaması

Basınç dayanımı testi ile malzemelerin hem ezilme yükleri altındaki davranışları belirlenir hem de mekanik özellikleri tespit edilebilir. Kullanılacak olan kompozit malzemede üç faktör vardır. Bu durumda oluşacak deney sayısı faktöriyel tasarım ile $3^3 = 27$ adettir. Bu deney sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Faktör seviyeleri için basınç dayanımı sonuçları

		C		
		0,5 (C ₁)	1 (C ₂)	2 (C ₃)
0,6 (A ₁)	1 (B ₁)	8,32	8,04	7,85
	2 (B ₂)	8,87	8,28	8,02
	3 (B ₃)	9,75	9,37	9,05
0,7 (A ₂)	1 (B ₁)	6,28	5,95	5,47
	2 (B ₂)	6,55	6,14	5,93
	3 (B ₃)	7,26	6,94	6,41
0,8 (A ₃)	1 (B ₁)	3,92	3,43	3,2
	2 (B ₂)	4,05	3,51	3,37
	3 (B ₃)	4,97	4,35	4,01

Faktöriyel tasarım analizi yapmadan önce ilk olarak ‘Normallik testi’ yapılmalıdır. Normallik testi için hipotez aşağıdaki şekilde kurulur;

H_0 : Veriler normal dağılıma sahiptir

H_1 : Veriler normal dağılıma sahip değildir

SPSS programı sonucu elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Normallik testi

Normallik testi						
Sonuçlar	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	sd	p	İstatistik	sd	p
Sonuçlar	,121	27	,200 [*]	,941	27	,130

$p = 0,130$ değeri, $0,05$ ’ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez ve verilerin normal dağılıma sahip olduğu söylenebilir.

Veriler normal dağılım varsayımını sağladığı için faktöriyel tasarım uygulanabilir. İlk olarak hipotezler oluşturulmalıdır. Bu bağlamda ortaya çıkan hipotezler şu şekildedir;

H_{01} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{11} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{02} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{12} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{03} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{13} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{04} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{14} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlıdır.

H_{05} : Su/alçı oranı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{15} : Su/alçı oranı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlıdır.

H_{06} : E-camı miktarı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{16} : E-camı miktarı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlıdır.

Hipotezler oluşturulduktan sonra analiz yapılabilir. SPSS 20 programı kullanılarak faktöriyel tasarım yöntemiyle elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Faktöriyel tasarım basınç dayanımı ANOVA analizi

Bağımlı değişken: sonuçlar					
Kaynak	Tip III kareler	sd	Kareler	F	p
	toplamı		toplamı		
Düzeltilmiş model	109,943 ^a	18	6,108	880,246	,000
Sabit	1061,448	1	1061,448	152970,932	,000
su_alçı	101,525	2	50,763	7315,683	,000
e_camı	5,661	2	2,830	407,906	,000
kırpık_atık	2,494	2	1,247	179,683	,000
su_alçı * e_camı	,174	4	,043	6,258	,014
su_alçı * kırpık_atık	,044	4	,011	1,601	,264
e_camı * kırpık_atık	,045	4	,011	1,611	,262
Hata	,056	8	,007		
Toplam	1171,446	27			
Düzeltilmiş toplam	109,998	26			

a. R kare = ,999 (Düzeltilmiş R kare = ,998)

Çizelge 4.3'te verilen ANOVA tablosuna bakıldığında su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiğinin p değeri 0,000'dır ve bu değer, 0,05'ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Yani; su/alçı oranları, e-camı miktarları ve kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık vardır. Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşiminin p değeri de 0,014'tür ve bu değer de 0,05'ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Yani; su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimi anlamlıdır.

Su/alçı oranı ile kırpık atık araba lastiği etkileşiminin p değeri 0,264'tür. Bu değer 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Yani; su/alçı oranı ile kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir. Bir diğer etkileşim olan e-camı miktarı ile kırpık atık araba lastiği etkileşiminin p değeri 0,264'tür. Ve bu değer de 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Yani e-camı miktarı ile kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir.

4.1.2. Kompozit malzemenin ısı iletim katsayısı üzerine faktöriyel tasarım uygulaması

Dışarıdaki havanın binanın içerisine etki etmemesi için çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Isı iletim katsayısı ise bunlardan birisidir. Yapılacak olan deneyde deney sayısı faktöriyel tasarım ile $3^3 = 27$ adettir. Bu deney sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Faktör seviyeleri için ısı iletim katsayısı sonuçları

		C		
		0,5 (C ₁)	1 (C ₂)	2 (C ₃)
0,6 (A ₁)	1 (B ₁)	0,278	0,242	0,235
	2 (B ₂)	0,281	0,236	0,182
	3 (B ₃)	0,295	0,252	0,243
0,7 (A ₂)	1 (B ₁)	0,205	0,156	0,128
	2 (B ₂)	0,219	0,164	0,136
	3 (B ₃)	0,217	0,173	0,149
0,8 (A ₃)	1 (B ₁)	0,211	0,145	0,107
	2 (B ₂)	0,227	0,184	0,09
	3 (B ₃)	0,219	0,175	0,112

Faktöriyel tasarım analizi yapmadan önce ilk olarak ‘Normallik testi’ yapılmalıdır. Normallik testi için hipotez aşağıdaki şekilde kurulur;

H_0 : Veriler normal dağılıma sahiptir

H_1 : Veriler normal dağılıma sahip değildir

Normallik testi için SPSS programında değerler girildikten sonra elde edilen sonuç Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Normallik testi

Normallik testi						
Kolmogorov-Smirnov ^a				Shapiro-Wilk		
	İstatistik	sd	p	İstatistik	sd	p
Sonuçlar	,099	27	,200*	,976	27	,768

$p = 0,768$ değeri 0,05’ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez ve verilerin normal dağılıma sahip olduğu söylenebilir.

Veriler normal dağılım varsayımını sağladığı için faktöriyel tasarım uygulanabilir. İlk olarak hipotezler oluşturulmalıdır. Bu bağlamda ortaya çıkan hipotezler şu şekildedir;

H_{01} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{11} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{02} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{12} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{03} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{13} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{04} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{14} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlıdır.

H_{05} : Su/alçı oranı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{15} : Su/alçı oranı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlıdır.

H_{06} : E-camı miktarı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{16} : E-camı miktarı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlıdır.

Hipotezler oluşturulduktan sonra analiz yapılabilir. SPSS 20 programı kullanılarak faktöriyel tasarım yöntemi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Faktöriyel tasarım ısı iletim katsayısı ANOVA analizi

Bağımlı değişken: sonuçlar					
Kaynak	Tip III kareler	sd	Kareler toplamı	F	p
	toplamı				
Düzeltilmiş model	,080 ^a	18	,004	51,270	,000
Sabit	1,025	1	1,025	11891,781	,000
su_alçı	,040	2	,020	234,332	,000
e_camı	,001	2	,001	6,441	,022
kırpık_atık	,033	2	,017	191,740	,000
su_alçı * e_camı	,001	4	,000	3,147	,079
su_alçı * kırpık_atık	,003	4	,001	7,483	,008
e_camı * kırpık_atık	,001	4	,000	3,829	,050289
Hata	,001	8	8,620E-005		
Toplam	1,105	27			
Düzeltilmiş toplam	,080	26			

a. R kare = ,991 (Düzeltilmiş R kare = ,972)

Çizelge 4.6’da verilen ANOVA tablosuna bakıldığında su/alçı oranı ve kırpık atık araba lastiğinin p değeri 0,000’dır ve bu değer, 0,05’ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Yani; su/alçı oranları ve kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık vardır. E-camı miktarının p değeri 0,022’dir ve bu değer de 0,05’ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Yani; e-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık vardır. Su/alçı oranı ile kırpık atık araba lastiği etkileşiminin p değeri de 0,008’dir ve bu değer de 0,05’ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir.

Yani; su/alçı oranı ile kırpık atık araba lastiği etkileşimi anlamlıdır. Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşiminin p değeri 0,079'tur. Bu değer, 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilmez. Yani; su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir. Bir diğer etkileşim olan e-camı miktarı ile kırpık atık araba lastiği etkileşiminin p değeri 0,050289'dur. Ve bu değer de 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Bu durumda e-camı miktarı ile kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir.

4.1.3. Kompozit malzemenin Brinell sertlik değeri üzerine faktöriyel tasarım uygulaması

Oluşturulan kompozit malzemenin yapı endüstrisinde kullanılabilmesi için sağlamlığı ve basınca dayanımı da oldukça önemlidir. Sertlik göreceli bir ölçü olup aşınmaya, çizilmeye, kesmeye ve delinmeye karşı gösterdiği dirence denir. Sertlik deneyleri malzemenin kökeni hakkında bilgi verir. Örneğin, sertlik malzemenin işlenebilme özelliğini gösterebilir. Brinell sertlik değeri ise sertlik değerini ölçme yöntemlerinden birisidir (Dumlu, 2013). Deneyde kullanılan faktörler ile seviyelerinin oluşturacağı deney sayısı $3^3 = 27$ adettir. Bu deney sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Faktör seviyeleri için Brinell sertlik değerleri sonuçları

		C		
		0,5 (C ₁)	1 (C ₂)	2 (C ₃)
0,6 (A ₁)	1 (B ₁)	84,13	79,12	76,68
	2 (B ₂)	118,23	102,05	88,12
	3 (B ₃)	121,12	107,25	92,17
0,7 (A ₂)	1 (B ₁)	73,80	70,91	64,32
	2 (B ₂)	76,21	72,08	70,05
	3 (B ₃)	98,15	79,12	65,74
0,8 (A ₃)	1 (B ₁)	40,18	37,39	35,17
	2 (B ₂)	43,91	38,17	35,21
	3 (B ₃)	54,62	50,16	42,18

Faktöriyel tasarım analizi yapmadan önce ilk olarak ‘Normallik testi’ yapılmalıdır. Normallik testi için hipotez aşağıdaki şekilde kurulur;

H_0 : Veriler normal dağılıma sahiptir

H_1 : Veriler normal dağılıma sahip değildir

Verilere SPSS 20 programı yardımıyla normallik testi yapılmıştır ve sonuç Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Normallik testi

Normallik testi						
Sonuçlar	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	sd	P	İstatistik	sd	p
Sonuçlar	,115	27	,200*	,949	27	,200

$p = 0,200$ değeri, $0,05$ ’ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez ve verilerin normal dağılıma sahip olduğu söylenebilir.

Veriler normal dağılım varsayımını sağladığı için faktöriyel tasarım uygulanabilir. İlk olarak hipotezler oluşturulmalıdır. Bu bağlamda ortaya çıkan hipotezler şu şekildedir;

H_{01} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{11} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{02} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{12} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{03} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{13} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{04} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{14} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlıdır.

H_{05} : Su/alçı oranı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{15} : Su/alçı oranı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlıdır.

H_{06} : E-camı miktarı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{16} : E-camı miktarı ile Kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlıdır.

Hipotezler oluşturulduktan sonra analiz yapılabilir. SPSS 20 programı kullanılarak elde edilen faktöriyel tasarım sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Faktöriyel tasarım Brinell sertlik değeri ANOVA analizi

Bağımlı değişken: sonuçlar

Kaynak	Tip III kareler toplamı	sd	Kareler toplamı	F	p
Düzeltilmiş model	16767,844 ^a	18	931,547	44,800	,000
Sabit	135999,101	1	135999,101	6540,444	,000
su_alçı	13608,219	2	6804,109	327,222	,000
e_camı	1234,898	2	617,449	29,694	,000
kırpık_atık	1101,000	2	550,500	26,475	,000
su_alçı * e_camı	460,151	4	115,038	5,532	,020
su_alçı * kırpık_atık	136,671	4	34,168	1,643	,255
e_camı * kırpık_atık	226,906	4	56,726	2,728	,106
Hata	166,348	8	20,794		
Toplam	152933,294	27			
Düzeltilmiş toplam	16934,193	26			

a. R kare = ,990 (Düzeltilmiş R kare = ,968)

Çizelge 4.9'daki ANOVA tablosuna bakıldığında su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiğinin p değeri 0,000'dır ve bu değer, 0,05'ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Yani; su/alçı oranları, e-camı miktarları ve kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık vardır. Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşiminin p değeri de 0,02'dir ve bu değer de 0,05'ten küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Yani; su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimi anlamlıdır.

Su/alçı oranı ile kırpık atık araba lastiği etkileşiminin p değeri 0,255'dir. Bu değer, 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Yani; su/alçı oranı ile kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir. Bir diğer etkileşim olan e-camı miktarı ile kırpık atık araba lastiği etkileşiminin p değeri 0,106'dır. Ve bu değer de 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Yani; e-camı miktarı ile kırpık atık araba lastiği etkileşimleri anlamlı değildir.

4.2. Kesirli Faktöriyel Tasarım ile Sonuçların Elde Edilmesi

Bu çalışmada kesirli faktöriyel tasarımın 3^{3-1} durumu kullanılmıştır. 27 deneyin tamamını yapmak yerine 9 deneyle aynı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Kesirli faktöriyel tasarımın uygulama sonuçları STATISTICA 13 programı ile elde edilmiştir. Deneyde kullanılan faktörler ve faktörlerin seviyeleri bölümün başında, sayfa 48'de verilmiştir.

4.2.1. Kompozit malzemenin basınç dayanımı üzerine kesirli faktöriyel tasarım uygulaması

Basınç dayanımı testi ile malzemelerin hem ezilme yükleri altındaki davranışları belirlenir hem de mekanik özellikleri tespit edilebilir. Toplamda 27 deney yapılması gerekmektedir. Bu 27 deneyin sonucu ise Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ama bu bölümdeki çalışmada kesirli faktöriyel tasarım uygulanacağı için sadece 9 deney sonucu çalışma için yeterli olacaktır.

İlk olarak kesirli faktöriyel tasarım için hipotez oluşturulmalıdır. Bu hipotezler ise şöyledir;

H_{01} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{11} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{02} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{12} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{03} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{13} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{04} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{14} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlıdır.

STATISTICA 13 programı yardımıyla elde edilen ANOVA tablosu Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Basınç dayanımının kesirli faktöriyel tasarım ANOVA sonuçları

Faktör	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	p
A	33,71760	2	16,85880	3122,000	0,012654
B	2,06460	2	1,03230	191,167	0,051075
C	0,75638	2	0,37819	70,035	0,084194
A*B	0,02420	1	0,02420	4,481	0,280944
Hata	0,00540	1	0,00540		
Toplam KT	36,59920	8			

Çizelge 4.10’a bakıldığında sadece A faktörünün yani su/alçı oranının p değeri (0,012654), 0,05’ten küçüktür. Bu durumda H_0 hipotezi reddedilir. Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık vardır denebilir. E-camı miktarının ‘p’ değeri

0,051075'tir ve bu değer 0,05'ten büyüktür. Bu durumda H_0 hipotezi reddedilemez. E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık yoktur denebilir. Bir diğer faktör ise kırpık atık araba lastiğidir. Bu faktörün 'p' değeri 0,084194'tür. Bu değer de 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur denebilir. Son olarak su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşiminin 'p' değeri sonucu 0,280944'tür. Bu değer de 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir denebilir.

4.2.2. Kompozit malzemenin ısı iletim katsayısı üzerine kesirli faktöriyel tasarım uygulaması

Basınç dayanımı testi ile malzemelerin hem ezilme yükleri altındaki davranışları belirlenir hem de mekanik özellikleri tespit edilebilir. Buna göre su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiği olmak üzere 3 faktör vardır. Oluşacak deney sayısı faktöriyel tasarım ile $3^3 = 27$ adettir. Bu 27 deneyin sonucu Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ama bu bölümdeki çalışmada kesirli faktöriyel tasarım uygulanacağı için sadece 9 deney sonucu çalışmada yeterli olacaktır.

İlk olarak kesirli faktöriyel tasarım için hipotez oluşturulmalıdır. Bu hipotezler ise şöyledir;

H_{01} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{11} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{02} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{12} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{03} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{13} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{04} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{14} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlıdır.

STATISTICA 13 programı yardımıyla oluşturulan ANOVA tablosu Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Isı iletim katsayısının kesirli faktöriyel tasarım ANOVA sonuçları

Faktör	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	p
A	0,010424	2	0,005212	7,87923	0,244277
B	0,000161	2	0,000080	0,12161	0,896863
C	0,015117	2	0,007559	11,42658	0,204752
A*B	0,000103	1	0,000103	0,15529	0,761026
Hata	0,000661	1	0,000661		
Toplam KT	0,026376	8			

Çizelge 4.11'e bakıldığında hiçbir değer $\%5$ yanılma payından küçük olmadığı görülmektedir. A faktörünün yani su/alçı oranının p değeri (0,244277), 0,05'ten büyüktür. Bu durumda H_0 hipotezi reddedilemez. Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık yoktur denebilir. E-camı miktarının 'p' değeri 0,896863'tür ve bu değer 0,05'ten büyüktür. Bu durumda H_0 hipotezi reddedilemez. E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık yoktur denebilir. Bir diğer faktör ise kırpık atık araba lastiğidir. Bu faktörün 'p' değeri 0,204752'dir. Bu değer de 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur denebilir. Son olarak su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşiminin karşılaştırılmasıdır. Bu etkileşimin 'p' değeri sonucu 0,761026'dır. Bu değer de 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir denilebilir.

4.2.3 Kompozit malzemenin Brinell sertlik değeri üzerine kesirli faktöriyel tasarım uygulaması

Basınç dayanımı testi ile malzemelerin hem ezilme yükleri altındaki davranışları belirlenir hem de mekanik özellikleri tespit edilebilir. Buna göre su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiği olmak üzere üç faktör vardır. Üç faktörün (A, B ve C) üç seviyesi mevcuttur. Bu durumda oluşacak deney sayısı faktöriyel tasarım ile $3^3 = 27$ adettir. Bu 27 deneyin sonucu Çizelge 4.7'de verilmiştir. Ama bu bölümdeki çalışmada kesirli faktöriyel tasarım uygulanacağı için sadece 9 deney sonucu çalışmada yeterli olacaktır.

İlk olarak kesirli faktöriyel tasarım için hipotez oluşturulmalıdır. Bu hipotezler ise şöyledir;

H_{01} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{11} : Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{02} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{12} : E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık vardır.

H_{03} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{13} : Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur.

H_{04} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir.

H_{14} : Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlıdır.

STATISTICA 13 programı yardımıyla oluşturulan ANOVA tablosu Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Brinell sertlik değerinin kesirli faktöriyel tasarım ANOVA sonuçları

Faktör	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	p
A	4299,921	2	2149,960	192,7858	0,050861
B	670,585	2	335,292	30,0655	0,127900
C	190,663	2	95,331	8,5483	0,235072
A*B	99,687	1	99,687	8,9389	0,205484
Hata	11,152	1	11,152		
Toplam KT	5256,318	8			

Çizelge 4.12’ye bakıldığında hiçbir değer α %5 yanlışma payından küçük olmadığı görülmektedir. A faktörünün yani su/alçı oranının ‘p’ değeri (0,050861), 0,05’ten büyüktür. Bu durumda H_0 hipotezi reddedilemez. Su/alçı oranları arasında anlamlı bir farklılık yoktur denebilir. E-camı miktarının ‘p’ değeri 0,127900’dır ve bu değer 0,05’ten büyüktür. Bu durumda H_0 hipotezi reddedilemez. E-camı miktarları arasında anlamlı bir farklılık yoktur denebilir. Bir diğer faktör ise kırpık atık araba lastiğidir. Bu faktörün ‘p’ değeri 0,235072’dir. Bu değer de 0,05’ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Kırpık atık araba lastikleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur denebilir. Son olarak su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşiminin karşılaştırılmasıdır. Bu etkileşimin ‘p’ değeri sonucu 0,205484’tür. Bu

değer de 0,05'ten büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Su/alçı oranı ile e-camı miktarı etkileşimleri anlamlı değildir denebilir.

4.3. Taguchi Yöntemi ile Sonuçların Elde Edilmesi

Taguchi yöntemi deney sayısını azaltmak ve kısa deney ile sonuca ulaşmak için geliştirilen bir yöntemdir. Bölüm 3'te anlatılan Taguchi yöntemi bu bölümde analizde kullanılarak orijinal veri üzerindeki uygulaması gösterilmiştir.

Bu çalışmada su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırık atık araba lastiği olmak üzere üç faktör vardır. Üç faktörün (A, B ve C) 3 seviyesi mevcuttur. Bu durumda oluşacak deney sayısı faktöriyel tasarım ile $3^3 = 27$ adettir. Faktöriyel tasarım ile yapılacak bu deney tekrarlı olduğu zaman daha fazla deney sayısı olacağı anlamına gelmektedir. Fakat bu durum hem maliyeti hem de iş yükünü artıracığından dolayı deney sayısı kısıtlı olmalıdır. Bu duruma karşın tekrarsız şekilde 27 deney yapılmıştır. Bu sonuçların tamamına gerek duyulmadan da Taguchi yöntemi ile doğru sonuca ulaşılabilir mi? Gerçekten daha az deney ile hem maliyeti hem de iş yükünü azaltmak mümkün müdür?

Yapılan deney tekrarlı olmadığı için 27 deneyin de yapılmasında bir sorun görünmeyebilir. Fakat tekrarlı deney yapılması durumunda en az 54 deney yapılması gerekmektedir.

4.3.1. Kompozit malzemenin basınç dayanımı üzerine Taguchi yöntemi ile uygulaması

Basınç dayanımı testi ile malzemelerin hem ezilme yükleri altındaki davranışları belirlenir hem de mekanik özellikleri tespit edilebilir. Taguchi yönteminde uygun deney sayısını belirleyebilmek için hesaplanan serbestlik dereceleri Çizelge 4.13'teki gibi bulunmuştur. Basınç dayanımı deneyinin tüm sonuçları ise Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Faktörlerin serbestlik dereceleri

Faktörler	Serbestlik derecesi
A	3-1=2
B	3-1=2
C	3-1=2
Toplam	6

Yukarıdaki çizelgeye göre serbestlik derecesinin toplam değeri 6'dır. Taguchi yönteminde serbestlik derecesi 6'dan büyük en küçük dikey dizim çizelgesi $L_9(3^4)$ 'tür. Yani 27 deney yapmak yerine Taguchi yöntemi ile 9 deney yapmak yeterli olacaktır.

$L_9(3^4)$ dikey dizim çizelgesine göre basınç dayanımının sonuçları ve elde edilen S/N oranı sonuçları Çizelge 4.14'te verilmiştir. Basınç dayanımı ile malzemelerin ezilme yükleri altındaki davranışları belirlenir ve milimetrekareye düşen kuvvet değerinin yüksek olması istenir. Basınç dayanımının yüksek olması istendiğinden dolayı S/N oranı, en büyük en iyi formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. Basınç dayanımı deneyi için faktör seviyeleri ve S/N oranı

Deney no	Faktörler ve seviyeleri				S/N oranı
	A	B	C	Basınç dayanımı (N/mm ²)	
	Su/alçı oranı	E-camı miktarı (%)	Kırpık atık araba lastiği (%)		
1	0,6	1	0,5	8,32	18,4025
2	0,6	2	1	8,28	18,3606
3	0,6	3	2	9,05	19,1330
4	0,7	1	1	5,95	15,4903
5	0,7	2	2	5,93	15,4611
6	0,7	3	0,5	7,26	17,2187
7	0,8	1	2	3,2	10,1030
8	0,8	2	0,5	4,05	12,1491
9	0,8	3	1	4,35	12,7698

Basınç dayanımı testi sonucu elde edilen değerler ‘Y’ değeridir. Bu durumda Taguchi yönteminde S/N oranının en büyük en iyi formülü denklem 3.3’teki gibi kullanılarak Çizelge 4.15’te oluşturulan S/N Oranı sütunundaki değerlerin hesaplanması tek tek gösterilmiştir. Deney tekrarlı deney olmadığından dolayı ‘n’ değeri 1 olarak alınmıştır.

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

Yukarıdaki formül kullanılarak elde edilen sonuçlar şöyledir;

$$S/N_{A_1 B_1 C_1} = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{8,32^2} \right) = 18,4025$$

$$S/N_{A_1 B_2 C_2} = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{8,28^2} \right) = 18,3606$$

$$S/N_{A_1 B_3 C_3} = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{9,05^2} \right) = 19,1330$$

$$S/N_{A_2 B_1 C_2} = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{5,95^2} \right) = 15,4903$$

$$S/N_{A_2 B_2 C_3} = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{5,93^2} \right) = 15,4611$$

$$S/N_{A_2 B_3 C_1} = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{7,26^2} \right) = 17,2187$$

$$S/N_{A_3 B_1 C_3} = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{3,20^2} \right) = 10,1030$$

$$S/N_{A_3 B_2 C_1} = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{4,05^2} \right) = 12,1491$$

$$S/N_{A_3 B_3 C_2} = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{4,35^2} \right) = 12,7698$$

Bulunan değerler ANOVA çizelgesi oluşturulması sırasında kullanılacaktır. Her bir faktörün tüm seviyeleri için ayrı ayrı S/N oranının ortalaması bulunur. ANOVA çizelgesinde kullanılacak olan değerler S/N oranının genel ortalaması ve her bir faktörün her bir seviyesinin ayrı ayrı ortalamasıdır. Örneğin; A faktörünün 1. seviyesi için S/N oranı bulunacak ise yukarıdaki formülde A harfinin altında '1' yazan denklemin sonuçlarına bakılır. Sonuçlar toplanarak, toplanan sayıya bölünür ve A'nın 1. seviyesinin S/N oranı bulunmuş olunur. Bu sonuçlar yardımıyla hesaplanan değerler aşağıdaki gibidir.

$$\overline{S/N} = (S/N_{A_1B_1C_1} + S/N_{A_1B_2C_2} + S/N_{A_1B_3C_3} + S/N_{A_2B_1C_2} + S/N_{A_2B_2C_3} + S/N_{A_2B_3C_1} + S/N_{A_3B_1C_3} + S/N_{A_3B_2C_1} + S/N_{A_3B_3C_2}) / n$$

$$\overline{S/N} = (18,4025 + 18,3606 + 19,1330 + 15,4903 + 15,4611 + 17,2187 + 10,1030 + 12,1491 + 12,7698) / 9 = 15,4542$$

$$(\overline{S/N})_{A_1} = (18,4025 + 18,3606 + 19,1330) / 3 = 18,6320$$

$$(\overline{S/N})_{A_2} = (15,4903 + 15,4611 + 17,2187) / 3 = 16,0567$$

$$(\overline{S/N})_{A_3} = (10,1030 + 12,1491 + 12,7698) / 3 = 11,6740$$

$$(\overline{S/N})_{B_1} = (18,4025 + 15,4903 + 10,1030) / 3 = 14,6653$$

$$(\overline{S/N})_{B_2} = (18,3606 + 15,4611 + 12,1491) / 3 = 15,3236$$

$$(\overline{S/N})_{B_3} = (19,1330 + 17,2187 + 12,7698) / 3 = 16,3738$$

$$(\overline{S/N})_{C_1} = (18,4025 + 17,2187 + 12,1491) / 3 = 15,9234$$

$$(\overline{S/N})_{C_2} = (18,3606 + 15,4903 + 12,7698) / 3 = 15,5402$$

$$(\overline{S/N})_{C_3} = (19,1330 + 15,4611 + 10,1030) / 3 = 14,8990$$

Bulunan değerler sonucunda her faktörün kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO) ve faktör etkileri bulunur.

Kareler toplamını bulmak için faktörlerin seviye ortalamaları kullanılır. Bir faktörün her bir seviyesi ayrı ayrı S/N oranı ortalamasından çıkarılır ve karesi alınır. Her seviye için yapılan bu işlem sonucunda elde edilen değerler toplanır. Çıkan sonuç ise seviye sayısı ile çarpılır. Bu değerlerin nasıl bulunduğu ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

$$KT_A = 3 * [(18,6320 - 15,4542)^2 + (16,0567 - 15,4542)^2 + (11,6740 - 15,4542)^2]$$

$$KT_A = 3 * 24,7513 = 74,2540$$

$$KT_B = 3 * [(14,6653 - 15,4542)^2 + (15,3236 - 15,4542)^2 + (16,3738 - 15,4542)^2]$$

$$KT_B = 3 * 1,4851 = 4,4553$$

$$KT_C = 3 * [(15,9234 - 15,4542)^2 + (15,5402 - 15,4542)^2 + (14,8990 - 15,4542)^2]$$

$$KT_C = 3 * 0,5358 = 1,6074$$

Kareler ortalamasını bulmak için ise faktörlerin kareler toplamı değeri o faktörün serbestlik derecesine bölünerek aşağıdaki gibi bulunur.

$$KO_A = 74,2540 / 2 = 37,1270, KO_B = 4,4553 / 2 = 2,2277, KO_C = 1,6074 / 2 = 0,8037$$

Faktör etkisi sonuçları bulunurken de kareler toplamından yararlanılır. Bir faktörün faktör etkisi bulunurken, istenilen faktörün kareler toplamı değeri toplam kareler toplamı değerine bölünür. Elde edilen sonuç yüzde olarak yazılabilir.

$$\text{Faktör Etkisi}_A = 74,2540 / 80,5514 = 0,921821 (\%92,1821)$$

$$\text{Faktör Etkisi}_B = 4,4553 / 80,5514 = 0,055310 (\%5,5310)$$

$$\text{Faktör Etkisi}_C = 1,6074 / 80,5514 = 0,019955 (\%1,9955)$$

$$\text{Faktör Etkisi}_{\text{Hata}} = 0,2347 / 80,5514 = 0,002914 (\%0,2914)$$

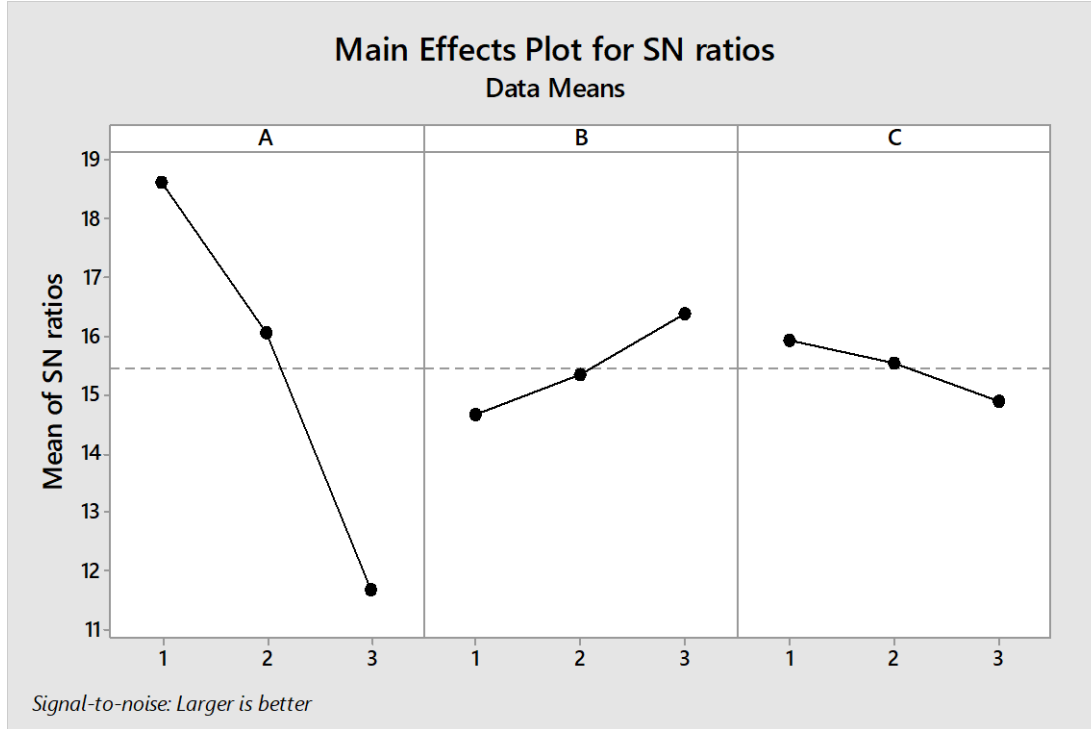
Bulunan değerler sonucunda faktör etkilerine bakıldığı zaman, en yüksek faktör etkisi A faktöründe (%92,1802) görülmüştür. Bu durum A faktörü olan su/alçı oranının önemli olduğunu göstermektedir. C faktörünün faktör etkisi (%1,9955) çok düşüktür. Oluşturulacak olan kompozit malzemeye C faktörü olan kırık atık araba lastiği eklenmeyebilir. Ama araştırma için bu üç değeri de birlikte araştırmak istediğimizden kırık atık araba lastiği de kompozit malzemeye eklenmiştir. Bulunan değerler Çizelge 4.15'te verilen Taguchi yönteminin ANOVA analiz çizelgesine yerleştirilerek hangi faktörün hangi seviyesinin azami olduğu koyu renk ile belirtilmiştir.

Çizelge 4.15. Basınç dayanımı için Taguchi yöntemi ANOVA çizelgesi

		Serbestlik derecesi	Ortalama S/N oranları			Kareler toplamı	Ortalama kareler toplamı	Faktör etkisi (%)	F
			1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye				
A	Su/alçı oranı	2	18,6320	16,0567	11,6740	74,2540	37,1270	92,1821	316,51
B	E-camı miktarı (%)	2	14,6653	15,3236	16,3738	4,4553	2,2277	5,5310	18,99
C	Kırpık atık araba lastiği (%)	2	15,9234	15,5402	14,8990	1,6074	0,8037	1,9955	6,85
	Hata	2				0,2347	0,1173	0,2914	
	Toplam	8				80,5514		100	

Yapılan çözümler sonucunda oluşturulan ANOVA çizelgesine göre A'nın 1. seviyesi olan (0,6), B'nin 3. seviyesi olan (%3) ve C'nin 1. seviyesi olan (%0,5) seviyeleri ile oluşturulacak olan kompozit malzeme basınç dayanımına en iyi tepkiyi verecek olan karışımdır.

Minitab programı yardımı faktör seviyelerinin S/N oranlarının grafiksel görünümü Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Basınç dayanımı için S/N oranları ile faktör seviyeleri arasındaki ilişki

Elde edilen grafiğe göre; su/alçı oranının (A faktörü) 1. seviyesi, e-camı miktarının (B faktörü) 3. seviyesi ve kırpık atık araba lastiğinin (C faktörü) 1. seviyesi en büyük S/N değerleridir. Görüldüğü gibi burada bulunan S/N değerleri önce bulunan değerlerle aynıdır.

Seçilen seviyeler ($A_1B_3C_1$) Taguchi yönteminin L_9 dikey dizim çizelgesinde yer almadığı için tahmini S/N oranı sonucu bulunur. Tahmini S/N oranı denklem (3.9) yardımıyla bulunur.

$$\hat{\eta}_{S/N} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m)$$

$$\hat{\eta}_{S/N} = 15,4542 + [(18,6320-15,4542) + (16,3738-15,4542) + (15,9234-15,4542)]$$

$$\hat{\eta}_{S/N} = 20,0208$$

Bulunan tahmini S/N oranı, L_9 dikey dizim çizelgesindeki değerler ile karşılaştırıldığında en büyük S/N oranı olarak görülmektedir. Bulunan bu değeri, en büyük en iyi formülü kullanıldığı için bu formülde yerine yerleştirildiği zaman tahmini Y ($\hat{Y}$) değeri elde edilir. Su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiği ile oluşturulan kompozit malzeme değerinin sonucu denklem (3.11) yardımıyla aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\hat{\eta}_{S/N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{Y}_i^2}\right)$$

$$20,0208 = -10\log(1/\hat{Y}^2)$$

$$\hat{Y} = 10,0240$$

Bulunan $\hat{Y}$ değeri L_9 dikey dizim çizelgesinde yer alan basınç dayanımı sütununda bulunan değerlere göre daha büyüktür. Buna göre oluşturulacak kompozit malzemenin basınç dayanımına uygun olması için seçilecek seviyeler şöyledir;

Su/alçı oranının 1. seviyesi olan 0,6; e-camı miktarının 3. seviyesi olan %3 ve kırpık atık araba lastiğinin 1. seviyesi olan %0,5 tercih edildiğinde basınç dayanımı için en iyi sonuç elde edilmektedir.

4.3.2. Kompozit malzemenin ısı iletim katsayısı üzerine Taguchi yöntemi ile uygulaması

Dışarıdaki havanın binanın içerisine etki etmemesi için çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Uygulamada her bir faktörün 3 seviyesi mevcuttur. Faktöriyel tasarım ile $3^3 = 27$ adet deney yapmak gerekmektedir. Fakat bu durum maliyeti artıracığından dolayı deney sayısı kısıtlı olmalıdır. Bu nedenle daha az deney sayısı gerektiren Taguchi yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemde uygun deney sayısını belirleyebilmek için hesaplanan serbestlik dereceleri Çizelge 4.16'daki gibi bulunmuştur. Isı iletim katsayısının deney sonuçları ise Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.16. Faktörlerin serbestlik derecesi

Faktörler	Serbestlik derecesi
A	3-1=2
B	3-1=2
C	3-1=2
Toplam	6

Yukarıdaki çizelgeye göre serbestlik derecesinin toplam değeri 6'dır. Taguchi yönteminde serbestlik derecesi 6'dan büyük en küçük dikey dizim çizelgesi $L_9(3^4)$ 'tür. Yani 27 deney yapmak yerine Taguchi yönteminde ile 9 deney yapmak yeterli olacaktır.

$L_9(3^4)$ dikey dizim çizelgesine göre ısı iletim katsayısının sonuçları ve elde edilen S/N oranı sonuçları Çizelge 4.17'de verilmiştir. Isı iletim katsayısı testi ile malzemelerin ısıyı dışardan içeriye asgari seviyede geçirmesi istenir. Isı iletim katsayısının düşük olması istendiğinden dolayı S/N oranı, en küçük en iyi formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.17. Isı iletim katsayısı deneyi için faktör seviyeleri ve S/N oranı

Deney no	Faktörler ve seviyeleri				S/N oranı
	A	B	C		
	Su/alçı Oranı	E-camı miktarı (%)	Kırpık atık araba lastiği (%)	Isı iletim katsayısı	
1	0,6	1	0,5	0,278	11,1191
2	0,6	2	1	0,236	12,5418
3	0,6	3	2	0,243	12,2879
4	0,7	1	1	0,156	16,1375
5	0,7	2	2	0,136	17,3292
6	0,7	3	0,5	0,217	13,2708
7	0,8	1	2	0,107	19,4123
8	0,8	2	0,5	0,227	12,8795
9	0,8	3	1	0,175	15,1392

Isı iletim katsayısı testi sonucu elde edilen değerler ‘Y’ değeridir. Bu durumda Taguchi yönteminde S/N oranının en küçük en iyi formülü kullanılarak oluşturulan S/N sütunundaki değerlerin hesaplanması tek tek gösterilmiştir. Deney tekrarlı deney olmadığından dolayı ‘n’ değeri 1 olarak alınmıştır.

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

Yukarıdaki formül kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

$$A_1 B_1 C_1 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 0,278^2 \right) = 11,1191$$

$$A_1 B_2 C_2 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 0,236^2 \right) = 12,5418$$

$$A_1 B_3 C_3 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 0,243^2 \right) = 12,2879$$

$$A_2 B_1 C_2 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 0,156^2 \right) = 16,1375$$

$$A_2 B_2 C_3 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 0,136^2 \right) = 17,3292$$

$$A_2 B_3 C_1 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 0,217^2 \right) = 13,2708$$

$$A_3 B_1 C_3 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 0,107^2 \right) = 19,4123$$

$$A_3 B_2 C_1 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 0,227^2 \right) = 12,8795$$

$$A_3 B_3 C_2 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 0,175^2 \right) = 15,1392$$

Bulunan değerler sonucunda ANOVA çizelgesi oluşturulması aşamasına geçilmektedir. ANOVA çizelgesinde kullanılacak olan değerler S/N oranının genel

ortalaması ve her bir faktörün her bir seviyesinin ayrı ayrı ortalamasıdır. Bu değerler ise aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$\overline{S/N} = (11,1191 + 12,5418 + 12,2879 + 16,1375 + 17,3292 + 13,2708 + 19,4123 + 12,8795 + 15,1392) / 9 = 14,4575$$

$$\overline{(S/N)}_{A_1} = (11,1191 + 12,5418 + 12,2879) / 3 = 11,9829$$

$$\overline{(S/N)}_{A_2} = (16,1375 + 17,3292 + 13,2708) / 3 = 15,5792$$

$$\overline{(S/N)}_{A_3} = (19,4123 + 12,8795 + 15,1392) / 3 = 15,8103$$

$$\overline{(S/N)}_{B_1} = (11,1191 + 16,1375 + 19,4123) / 3 = 15,5563$$

$$\overline{(S/N)}_{B_2} = (12,5418 + 17,3292 + 12,8795) / 3 = 14,2502$$

$$\overline{(S/N)}_{B_3} = (12,2879 + 13,2708 + 15,1392) / 3 = 13,5660$$

$$\overline{(S/N)}_{C_1} = (11,1191 + 13,2708 + 12,8795) / 3 = 12,4231$$

$$\overline{(S/N)}_{C_2} = (12,5418 + 16,1375 + 15,1392) / 3 = 14,6062$$

$$\overline{(S/N)}_{C_3} = (12,2879 + 17,3292 + 19,4123) / 3 = 16,3431$$

Bulunan değerler sonucunda her faktörün kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO) ve faktör etkileri bulunur. Bu değerlerin elde edilişi aşağıdaki gibidir;

$$KT_A = 3 * [(11,9829 - 14,4575)^2 + (15,5792 - 14,4575)^2 + (15,8103 - 14,4575)^2]$$

$$KT_A = 3 * 9,2119 = 27,6375$$

$$KT_B = 3 * [(15,5563 - 14,4575)^2 + (14,2502 - 14,4575)^2 + (13,5660 - 14,4575)^2]$$

$$KT_B = 3 * 2,0451 = 6,1353$$

$$KT_C = 3 * [(12,4231 - 14,4575)^2 + (14,6062 - 14,4575)^2 + (16,3431 - 14,4575)^2]$$

$$KT_C = 3 * 7,7164 = 23,1492$$

$$KO_A = 27,6375 / 3 = 9,2119$$

$$KO_B = 6,1353 / 3 = 2,0451$$

$$KO_C = 23,1492 / 2 = 11,5746$$

$$\text{Faktör Etkisi}_A = 27,6375 / 59,5041 = 0,464464 \text{ (\% 46,4464)}$$

$$\text{Faktör Etkisi}_B = 6,1353 / 59,5041 = 0,103107 \text{ (\% 10,3107)}$$

$$\text{Faktör Etkisi}_C = 23,1492 / 59,5041 = 0,389035 \text{ (\% 38,9035)}$$

$$\text{Faktör Etkisi}_{\text{Hata}} = 2,5821 / 59,5041 = 0,043394 \text{ (\% 4,3394)}$$

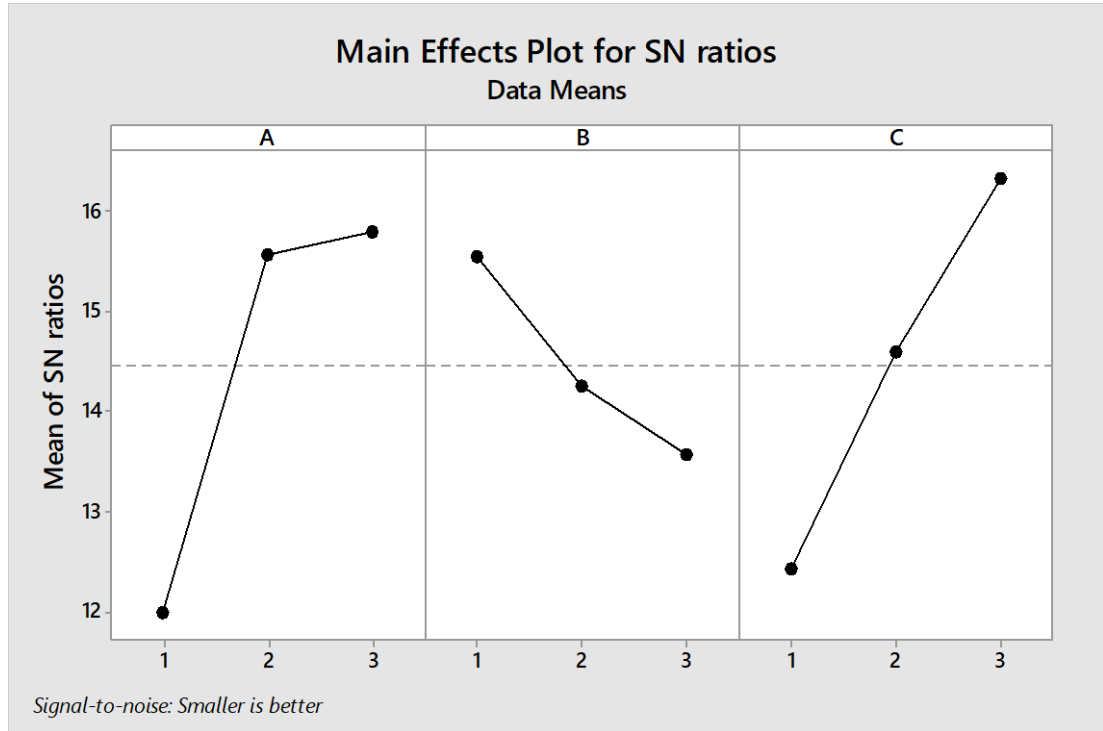
Bulunan değerler sonucunda faktör etkilerine bakıldığı zaman, en yüksek faktör etkisi A faktöründe (%46,4464) görülmüştür. Bu durum A faktörü olan su/alçı oranının ısı iletimi üzerinde önemli olduğunu göstermektedir. B faktörünün faktör etkisi (%10,3107) üç faktör arasında en düşük olandır. Faktör etkileri sonucunda her üç faktöründe önemli olduğu söylenebilir. Bulunan değerler Çizelge 4.18’de verilen Taguchi yönteminin ANOVA analiz çizelgesine yerleştirilmiştir. Burada hangi faktörün hangi seviyesinin azami olduğu koyu renk ile belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Isı iletim katsayısı için Taguchi yöntemi ANOVA çizelgesi

		Serbestlik derecesi	Ortalama S/N oranları			Kareler toplamı	Ortalama kareler toplamı	Faktör etkisi (%)	F
			1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye				
A	Su/alçı oranı	2	11,9829	15,5792	15,8103	27,6375	13,8188	46,4464	10,69
B	E-camı miktarı (%)	2	15,5563	14,2502	13,5660	6,1353	3,0677	10,3107	2,37
C	Kırpık atık araba lastiği (%)	2	12,4231	14,6062	16,3431	23,1492	11,5746	38,9035	8,96
	Hata	2				2,5821	1,2911	4,3394	
	Toplam	8				59,5041		100	

Yapılan çözümler sonucunda oluşturulan ANOVA çizelgesine göre A'nın 1. seviyesi olan (0,6), B'nin 3. seviyesi olan (%3) ve C'nin 1. seviyesi olan (%0,5) seviyeleri ile oluşturulacak olan kompozit malzeme ısı iletim katsayısına en iyi tepkiyi verecek olan karışımdır.

Minitab programı yardımı ile faktör seviyelerinin S/N oranlarının grafiksel görünümü Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Isı iletim katsayısı için S/N oranları ile faktör seviyeleri arasındaki ilişki

Elde edilen grafiğe göre; su/alçı oranının (A faktörü) 1. seviyesi, e-camı miktarının (B faktörü) 3. seviyesi ve kırpık atık araba lastiğinin (C faktörü) 1. seviyesi en küçük S/N değerleridir. Görüldüğü gibi burada bulunan S/N değerleri önceden bulunan değerlerle aynıdır.

Seçilen seviyeler ($A_1B_3C_1$) Taguchi yönteminin L_9 dikey dizim çizelgesinde yer almadığı için tahmini S/N oranı sonucu bulunur. Tahmini S/N oranı bölüm 3.7'de verilen denklem (3.9) yardımıyla bulunur.

$$\hat{\eta}_{S/N} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m)$$

$$\hat{\eta}_{S/N} = 14,4575 + [(11,9829 - 14,4575) + (13,5660 - 14,4575) + (12,4231 - 14,4575)]$$

$$\hat{\eta}_{S/N} = 9,0570$$

Bulunan tahmini S/N oranı, L_9 dikey dizim çizelgesindeki değerler ile karşılaştırıldığında en küçük S/N oranı olarak görülmektedir. Bulunan bu değeri, en küçük en iyi formülü kullanıldığı için, bu formülde yerine yerleştirildiği zaman tahmini $\bar{Y}$ ($\hat{Y}$) değeri elde edilir. Su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiği ile oluşturulan kompozit malzeme değerinin sonucu aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\hat{\eta}_{S/N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i^2\right)$$

$$9,0570 = -10\log(\hat{Y}^2)$$

$$\hat{Y} = 0,3525$$

Bulunan $\hat{Y}$ değeri L_9 dikey dizim çizelgesinde yer alan ısı iletim katsayısı sütununda bulunan değerlere göre daha küçüktür. Buna göre oluşturulacak kompozit malzemenin ısı iletimine uygun olması için seçilecek seviyeler şöyledir;

Su/alçı oranının 1. seviyesi olan 0,6; e-camı miktarının 3. seviyesi olan %3 ve kırpık atık araba lastiğinin 1. seviyesi olan %0,5 tercih edildiğinde ısı iletimi için en iyi sonuç elde edilmektedir.

4.3.3. Kompozit malzemenin Brinell sertlik değeri üzerine Taguchi yöntemi ile uygulaması

Oluşturulan kompozit malzemenin yapı endüstrisinde kullanılabilmesi için sağlamlığı ve basınca dayanımı da oldukça önemlidir. Bölüm 4'te verilen faktörler ve bu faktörlerin seviyelerinin aynısı Brinell sertlik değeri ölçümü içinde kullanılmıştır.

Uygulamada her bir faktörün 3 seviyesi mevcuttur. Faktöriyel tasarım ile $3^3 = 27$ adet deney yapmak gerekmektedir. Fakat bu durum maliyeti artıracığından dolayı deney sayısı kısıtlı olmalıdır. Bu nedenle daha az deney sayısı gerektiren Taguchi yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemde uygun deney sayısını belirleyebilmek için hesaplanan serbestlik dereceleri Çizelge 4.19'daki gibi bulunmuştur. Brinell sertlik değerinin deney sonuçları ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.19. Faktörlerin serbestlik derecesi

Faktörler	Serbestlik derecesi
A	3-1=2
B	3-1=2
C	3-1=2
Toplam	6

Yukarıdaki çizelgeye göre serbestlik derecesinin toplam değeri 6'dır. Taguchi yönteminde serbestlik derecesi 6'dan büyük en küçük dikey dizim çizelgesi $L_9(3^4)$ 'tür. Yani 27 deney yapmak yerine Taguchi yöntemi ile 9 deney yapmak yeterli olacaktır.

$L_9(3^4)$ dikey dizim çizelgesine göre Brinell sertlik değeri sonuçları ve elde edilen S/N oranı sonuçları Çizelge 4.20'de verilmiştir. Brinell sertlik değeri ile malzemelerin kullanım koşulları içerisinde en iyisi olması istenir. Brinell sertlik değerinin yüksek olması istendiğinden dolayı S/N oranı, en büyük en iyi formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.20. Brinell sertlik değeri deneyi için faktör seviyeleri ve S/N oranı

Deney no	Faktörler ve seviyeleri			Brinell sertlik değeri (Y)	S/N oranı
	A	B	C		
	Su/alçı oranı	E-camı miktarı (%)	Kırpık atık araba lastiği (%)		
1	0,6	1	0,5	84,13	38,4990
2	0,6	2	1	102,05	40,1763
3	0,6	3	2	92,17	39,2918
4	0,7	1	1	70,91	37,0142
5	0,7	2	2	70,05	36,9082
6	0,7	3	0,5	98,15	39,8378
7	0,8	1	2	35,17	30,9234
8	0,8	2	0,5	43,91	32,8513
9	0,8	3	1	50,16	34,0072

Brinell sertlik değeri testi sonucu elde edilen değerler ‘Y’ değeridir. Bu durumda Taguchi yönteminde S/N oranının en büyük en iyi formülü denklem 3.3’teki gibi kullanılarak Çizelge 4.20.’de oluşturulan S/N oranı sütunundaki değerlerin hesaplanması tek tek gösterilmiştir. Deney tekrarlı deney olmadığından dolayı ‘n’ değeri 1 olarak alınmıştır.

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

Yukarıdaki formül kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

$$A_1 B_1 C_1 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{84,13^2} \right) = 38,4990$$

$$A_1 B_2 C_2 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{102,05^2} \right) = 40,1763$$

$$A_1 B_3 C_3 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{92,17^2} \right) = 39,2918$$

$$A_2 B_1 C_2 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{70,91^2} \right) = 37,0142$$

$$A_2 B_2 C_3 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{70,05^2} \right) = 36,9082$$

$$A_2 B_3 C_1 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{98,15^2} \right) = 39,8378$$

$$A_3 B_1 C_3 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{35,17^2} \right) = 30,9234$$

$$A_3 B_2 C_1 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{43,91^2} \right) = 32,8513$$

$$A_3 B_3 C_2 = -10 \log \left(\frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 \frac{1}{50,16^2} \right) = 34,0072$$

Bulunan değerler ANOVA çizelgesi oluşturulması sırasında kullanılacaktır. Her bir faktörün tüm seviyeleri için ayrı ayrı S/N oranının ortalaması bulunur. ANOVA çizelgesinde kullanılacak olan değerler S/N oranının genel ortalaması ve her bir faktörün her bir seviyesinin ayrı ayrı ortalamasıdır. Örneğin; A faktörünün 1.

seviyesi için S/N oranı bulunacak ise yukarıdaki formülde A harfinin altında '1' yazan denklemin sonuçlarına bakılır. Sonuçlar toplanarak, toplanan sayıya bölünür ve A'nın 1. seviyesinin S/N oranı bulunmuş olunur. Bu sonuçlar yardımıyla hesaplanan değerler aşağıdaki gibidir.

$$\overline{S/N} = (38,4990 + 40,1763 + 39,2918 + 37,0142 + 36,9082 + 39,8378 + 30,9234 + 32,8513 + 34,0072) / 9 = 36,6121$$

$$(\overline{S/N})_{A_1} = (38,4990 + 40,1763 + 39,2918) / 3 = 39,3224$$

$$(\overline{S/N})_{A_2} = (37,0142 + 36,9082 + 39,8378) / 3 = 37,9201$$

$$(\overline{S/N})_{A_3} = (30,9234 + 32,8513 + 34,0072) / 3 = 32,5940$$

$$(\overline{S/N})_{B_1} = (38,4990 + 37,0142 + 30,9234) / 3 = 35,4789$$

$$(\overline{S/N})_{B_2} = (40,1763 + 36,9082 + 32,8513) / 3 = 36,6453$$

$$(\overline{S/N})_{B_3} = (39,2918 + 39,8378 + 34,0072) / 3 = 37,7123$$

$$(\overline{S/N})_{C_1} = (38,4990 + 39,8378 + 32,8513) / 3 = 37,0627$$

$$(\overline{S/N})_{C_2} = (40,1763 + 37,0142 + 34,0072) / 3 = 37,0659$$

$$(\overline{S/N})_{C_3} = (39,2918 + 36,9082 + 30,9234) / 3 = 35,7078$$

Bulunan değerler sonucunda her faktörün kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO) ve faktör etkileri bulunur.

Kareler toplamını bulmak için faktörlerin seviye ortalamaları kullanılır. Bir faktörün herbir seviyesi ayrı ayrı S/N oranı ortalamasından çıkarılır ve karesi alınır. Her seviye için yapılan bu işlem sonucunda elde edilen değerler toplanır. Çıkan sonuç ise seviye sayısı ile çarpılır. Bu değerlerin nasıl bulunduğu ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

$$KT_A = 3 * [(39,3224 - 36,6121)^2 + (37,9201 - 36,6121)^2 + (32,5940 - 36,6121)^2]$$

$$KT_A = 3 * 25,2017 = 75,6050$$

$$KT_B = 3 * [(35,4789 - 36,6121)^2 + (36,6453 - 36,6121)^2 + (37,7123 - 36,6121)^2]$$

$$KT_B = 3 * 2,4956 = 7,4869$$

$$KT_C = 3 * [(37,0627 - 36,6121)^2 + (37,0659 - 36,6121)^2 + (35,7078 - 36,6121)^2]$$

$$KT_C = 3 * 1,2267 = 3,6801$$

Kareler ortalamasını bulmak için ise faktörlerin kareler toplamı değeri o faktörün serbestlik derecesine bölünür.

$$KO_A = 75,6050 / 2 = 37,8025$$

$$KO_B = 7,4869 / 2 = 3,7435$$

$$KO_C = 3,6801 / 2 = 1,8401$$

Faktör etkisi sonuçları bulunurken de kareler toplamından yararlanılır. Bir faktörün faktör etkisi bulunurken, istenilen faktörün kareler toplamı değeri toplam kareler toplamı değerine bölünür. Elde edilen sonuç yüzde olarak yazılabilir.

$$\text{Faktör Etkisi } A = 75,6050 / 87,3893 = 0,865152$$

$$\text{Faktör Etkisi } B = 7,4869 / 87,3893 = 0,085673$$

$$\text{Faktör Etkisi } C = 3,6801 / 87,3893 = 0,042112$$

$$\text{Faktör Etkisi } Hata = 0,6173 / 87,3893 = 0,007063$$

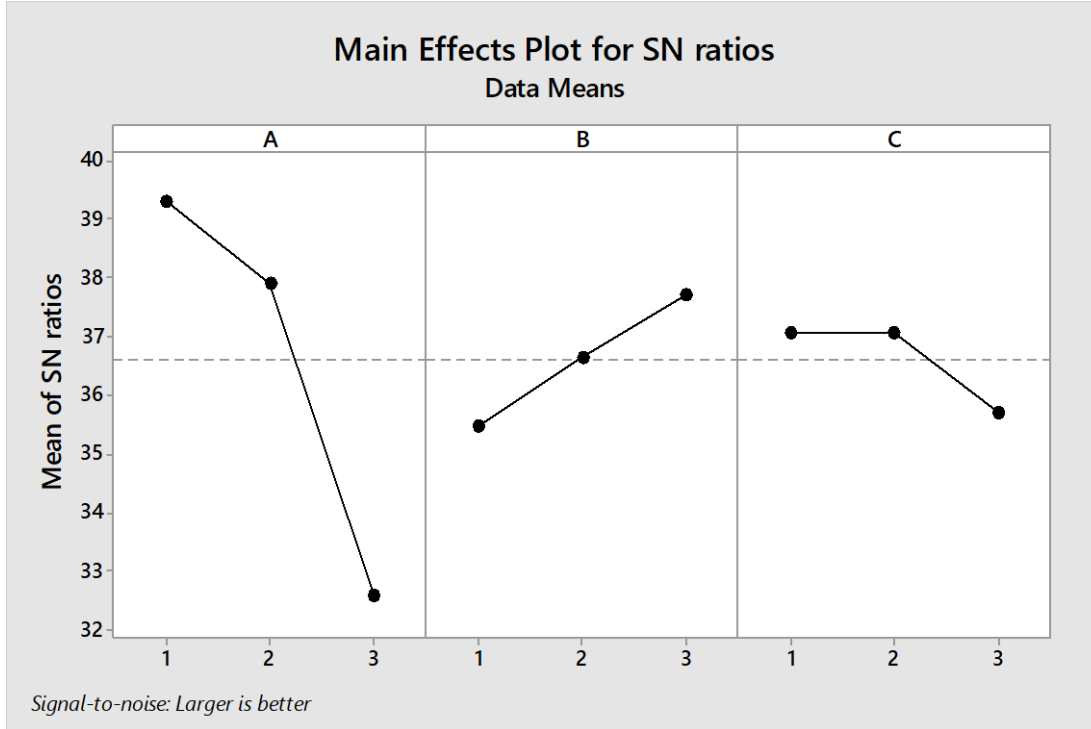
Bulunan değerler sonucunda faktör etkilerine bakıldığı zaman, en yüksek faktör etkisi A faktöründe (%86,5152) görülmüştür. Bu durum A faktörü olan su/alçı oranının önemli olduğunu göstermektedir. C faktörünün faktör etkisi (%4,2112) en düşüktür. Oluşturulacak olan kompozit malzemeye C faktörü olan kırpık atık araba lastiği eklenmeyebilir. Ama araştırma için bu üç değer de birlikte araştırmak istediğimiz için kırpık atık araba lastiği de kompozit malzemeye eklenmiştir. Bulunan değerler Çizelge 4.21'de verilen Taguchi yönteminin ANOVA analiz çizelgesine yerleştirilerek hangi faktörün hangi seviyesinin azami olduğu koyu renk ile belirtilmiştir.

Çizelge 4.21. Brinell sertlik değeri için Taguchi yöntemi ANOVA çizelgesi

		Serbestlik derecesi	Ortalama S/N oranları			Kareler toplamı	Ortalama kareler toplamı	Faktör etkisi (%)	F
			1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye				
A	Su/alçı oranı	2	39,3224	37,9201	32,5940	75,6050	37,8025	86,5152	122,48
B	E-camı miktarı (%)	2	35,4789	36,6453	37,7123	7,4869	3,7435	8,5673	12,13
C	Kırpık atık araba lastiği (%)	2	37,0627	37,0659	35,7078	3,6801	1,8401	4,2112	5,96
	Hata	2				0,6173	0,3087	0,7063	
	Toplam	8				87,3893		100	

Yapılan çözümler sonucunda oluşturulan ANOVA çizelgesine göre A'nın 1. seviyesi olan (0,6), B'nin 3. seviyesi olan (%3) alınmalıdır. C'nin 1. seviyesi olan (%0,5) ile 2. seviyesi olan (%1) arasında sadece binde 2'lik bir fark vardır. Herhangi bir soru işareti kalmaması adına bu iki seviye ayrı ayrı alınarak incelenmiştir.

Minitab programı yardımı ile yapıldığında faktör seviyelerinin S/N oranlarının grafiksel görünümü Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Brinell sertlik değeri için S/N oranları ile faktör seviyeleri arasındaki ilişki

Elde edilen grafiğe göre; su/alçı oranının (A faktörü) 1. seviyesi, e-camı miktarının (B faktörü) 3. Seviyesi en büyük değerlerdir. Kırpık atık araba lastiğinin (C faktörü) 1. seviyesi ile 2. seviyesi ise birbirine çok yakındır. Faktör etkisi her ne kadar önemsenmeyecek kadar düşük çıksa da işleme alınmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi kırpık atık araba lastiğinin her iki seviyesi de değerlendirilecektir. Normal şartlarda bu iki seviyenin herhangi biri alınsa dahi hiçbir problem olmayacaktır. Çünkü sonuçlar birbirine çok yakın çıkacaktır.

Seçilen seviyeler ilk olarak ($A_1B_3C_1$) olsun. Taguchi yönteminin L_9 dikey dizim çizelgesinde yer almadığı için tahmini S/N oranı sonucu bulunur. Tahmini S/N oranı bölüm 3.7'de verilen denklem (3.9) yardımıyla bulunur.

$$\hat{\eta}_{S/N} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m)$$

$$\hat{\eta}_{S/N} = 36,6121 + [(39,3224 - 36,6121) + (37,7123 - 36,6121) + (37,0627 - 36,6121)]$$

$$\hat{\eta}_{S/N} = \mathbf{40,8732}$$

Bulunan tahmini S/N oranı, L_9 dikey dizim çizelgesindeki değerler ile karşılaştırıldığında en büyük S/N oranı olarak görülmektedir. Bulunan bu değeri, en büyük en iyi formülü kullanıldığı için bu formülde yerine yerleştirildiği zaman tahmini Y ($\hat{Y}$) değeri elde edilir. Su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiği ile oluşturulan kompozit malzeme değerinin sonucu denklem (3.11) yardımıyla aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\hat{\eta}_{S/N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{Y}_i^2} \right)$$

$$40,8732 = -10 \log(1/\hat{Y}^2)$$

$$\hat{Y} = 110,5758$$

Seçilen seviyeler ikinci olarak ($A_1B_3C_2$) olsun. Taguchi yönteminin L_9 dikey dizim çizelgesinde yer almadığı için tahmini S/N oranı sonucu bulunur. Tahmini S/N oranı bölüm 3.7’de verilen denklem (3.9) yardımıyla bulunur.

$$\hat{\eta}_{S/N} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m)$$

$$\hat{\eta}_{S/N} = 36,6121 + [(39,3224 - 36,6121) + (37,7123 - 36,6121) + (37,0659 - 36,6121)]$$

$$\hat{\eta}_{S/N} = 40,8764$$

Bulunan tahmini S/N oranı, L_9 dikey dizim çizelgesindeki değerler ile karşılaştırıldığında en büyük S/N oranı olarak görülmektedir. Bulunan bu değeri, en büyük en iyi formülü kullanıldığı için bu formülde yerine yerleştirildiği zaman tahmini Y ($\hat{Y}$) değeri elde edilir. Su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiği ile oluşturulan kompozit malzeme değerinin sonucu denklem (3.11) yardımıyla aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\hat{\eta}_{S/N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{Y}_i^2}\right)$$

$$40,8764 = -10\log(1/\hat{Y}^2)$$

$$\hat{Y} = 110,6165$$

Brinel sertlik değeri için yapılan çalışmalar sonucunda kırpık atık araba lastiğinin 1. seviyesi alındığında tahmini Y ($\hat{Y}$) değeri 110,5758 çıkmıştır. Aynı çalışma kırpık atık araba lastiğinin 2. seviyesi için yapıldığı zamanda tahmini Y ($\hat{Y}$) değeri 110,6165 çıkmıştır. Bu iki sonuç arasında sadece 0,0407 (%4,07) fark vardır. Kırpık atık araba lastiğinin faktör etkisi düşük olduğundan dolayı bu fark çok önemli değildir.

Bulunan $\hat{Y}$ değerleri L_9 dikey dizim çizelgesinde yer alan Brinell sertlik değeri sütununda bulunan değerlere göre daha büyüktür. Buna göre oluşturulacak kompozit malzemenin ısı iletimine uygun olması için seçilecek seviyeler şöyledir;

Su/alçı oranının 1. seviyesi olan 0,6; e-camı miktarının 3. seviyesi olan %3 ve kırpık atık araba lastiğinin 1. seviyesi olan %0,5 veya 2. seviyesi olan %1 tercih edildiğinde Brinell sertlik değeri için en iyi sonuç elde edilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yapı endüstrisinde önemli bir yeri olan alçı malzemesinin kullanımını daha yaygın hale getirebilmek için üç farklı deneyden yararlanılmıştır. Bu deneyler Basınç dayanımı, ısı iletimi ve Brinell sertlik deneyleridir. Bu deneylerde su/alçı oranı, e-camı miktarı ve kırpık atık araba lastiği faktörleri kullanılmıştır. Bu faktörlerin her birinin üç seviyesi mevcuttur. Su/alçı oranının seviyeleri 0.6, 0.7 ve 0.8; E-camı miktarının seviyeleri %1, %2 ve %3 ve son olarak kırpık atık araba lastiğinin seviyeleri ise %0,5, %1 ve %2'dir. Çalışmada, basınç dayanımı, ısı iletimi ve Brinell sertlik deneyleri için alçının su ile hangi seviyede karıştırılacağı ve bunun yanında e-camı miktarı ile kırpık atık araba lastiğinin hangi seviyeleri seçildiğinde en iyi alçı kompozit malzemenin oluşturulacağına karar verilmeye çalışılmıştır.

Faktörlerin tüm seviyeleri ile işlem yapmak istediğimizde her bir deney için 27 adet deneme yapmak gerekmektedir. Hem basınç dayanımı, hem ısı iletim katsayısı, hem de Brinell sertlik deneylerinde sonuç elde edebilmek için en az 81 deneme gerekmektedir. Fakat Taguchi yöntemi ile bu sayı üçte bir oranında azaltılarak üç deney için toplam 27 deneme ile sonuç elde edilebilir.

Basınç dayanımı, ısı iletim katsayısı ve Brinell sertlik deneyleri için öncelikle faktörlerin serbestlik dereceleri hesaplanmış, daha sonra ise hesaplanan serbestlik derecesine göre dikey dizim çizelgeleri seçilmiştir. Her bir deney için dikey dizim sonucu oluşturulan çizelge sonucunda sinyal/gürültü oranları hesaplanmıştır. Bu sinyal/gürültü oranları, basınç dayanımı ve Brinell sertlik deneyleri için 'en büyük en iyi' ve ısı iletim deneyi için 'en küçük en iyi' formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sinyal/gürültü oranı sonuçları yardımıyla ANOVA çizelgesi oluşturularak, hangi faktörün hangi seviyesinin kullanılması sonucunda daha iyi sonuç elde edildiği görülmüştür. Aynı işlemler grafikler kullanılarak da yapılmış ve sonuçların aynı olduğu teyit edilmiştir.

Basınç dayanımı deneyine bakıldığında 27 denemenin tamamının yapılmasıyla elde edilen en iyi sonuç Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi $A_1B_3C_1 = 9,75$ şeklindedir. Taguchi yöntemi ile 27 denemeden sadece 9'una ihtiyaç duyulmaktadır. Bu 9 deneme ile yapılan analiz değerlerine bakıldığında ise en iyi sonucun yine $A_1B_3C_1$ ve bunun tahmini Y değerinin ise 10,0240 olduğu görülmektedir. Hem Taguchi yöntemi hem de tüm deney değerleri karşılaştırıldığında her ikisinde de en

iyi sonucun $A_1B_3C_1$ olduğu görülmüştür. Tüm deney değeri kullandığında bu değeri 9,75 iken, sadece 9 değeri kullanarak uygulanan Taguchi yönteminde bu değeri 10,0240'tır. Bunun nedeni ise deneyin tek tekrarlı olmasına bağlanabilir. Çünkü deney sayısı arttıkça en iyi sonuca daha da yaklaşılağı bilinmektedir.

Isı iletim katsayısı deneyine bakıldığında 27 denemenin tamamının yapılmasıyla elde edilen en iyi sonuç Çizelge 4.4'te de görüldüğü gibi $A_1B_3C_1 = 0,295$ şeklinde bulunmuştur. Taguchi yöntemi ile 27 denemeden sadece 9'una ihtiyaç duyulmaktadır. Bu 9 değeri ile yapılan analiz değerlerine bakıldığında en iyi sonuç $A_1B_3C_1$ 'dir ve bunun tahmini Y değeri ise 0,3525'tir. Hem Taguchi yöntemi hem de tüm deney değeri kullılarak yapılan analiz karşılaştırıldığında her ikisinde de en iyi sonucun $A_1B_3C_1$ olduğu görülmüştür. Tüm deneme değeri kullandığında bu değeri 0,295 iken Taguchi yönteminde bu değeri 0,3525'tir. Aynı şekilde bunun nedeni de deneyin tek tekrarlı olmasına bağlanabilir. Çünkü deney sayısı arttıkça en iyi sonuca daha da yaklaşılağı bilinmektedir.

Brinell sertlik değeriye bakıldığında ise 27 denemenin tamamının yapılmasıyla elde edilen en iyi sonuç Çizelge 4.7'de de görüldüğü gibi $A_1B_3C_1 = 121,12$ şeklinde bulunmuştur. Taguchi yöntemi ile 27 denemeden sadece 9'una ihtiyaç duyulmuştur. Bu 9 değeri ile yapılan analiz değerlerine bakıldığında en iyi sonuç $A_1B_3C_1$ veya $A_1B_3C_2$ 'dir. Bunların tahmini Y değeri ise $A_1B_3C_1$ için 110,5758 ve $A_1B_3C_2$ için 110,6165'tir. Tüm deneme değerlerinde en iyi sonuç 121,12 iken Taguchi yönteminde bu değeri 110,6165'tir.

Basınç dayanımı deneyi sonucu ile ısı iletimi deneyi sonuçları birbirlerine uymaktadır. Yani, her iki deneyde de faktör seviyelerinin en optimal seçimi aynıdır. Fakat Brinell sertlik değeri için iki ihtimal vardır, ya kırpık atık araba lastiğinin birinci seviyesi ya da ikinci seviyesi alınacaktır. Faktör etkisi sonucu göz önüne alındığı zaman bu durumun çok fazla önemli olmadığı söylenebilir. Basınç dayanımı sonuçları ile ısı iletim katsayısı sonuçları birbirini tutuyor ve Brinell sertlik değeri de bu ihtimallerden biri olduğu için $A_1B_3C_1$ kombinasyonu çok rahatlıkla alınabilir.

Taguchi yöntemiyle yapılan üç deney sonucunda da sonuçta bulunan faktörler ve bu faktörlerin de seviyeleri aynıdır. Yani, her üç deney için de su/alçı oranı faktörünün en düşük seviyesi, e-camı miktarı faktörünün en yüksek seviyesi ve kırpık atık araba lastiği faktörünün ise en düşük seviyesi kullanıldığında en iyi alçı kompozit malzemenin oluşturulduğı görülmektedir. Bu sonuca klasik deney tasarımı yöntemleri kullanılarak toplam 81 adet deneme yapılarak ulaşılabilir. Fakat aynı

sonuca Taguchi yöntemi ile toplamda sadece 27 adet deneme yapılarak ulaşılmıştır. Taguchi yöntemi ile maliyeti azaltmanın yanı sıra, uzun süren istatistiksel analizlere de ihtiyaç duyulmayarak, en az deneme ile en iyi sonucun elde edildiği de görülmektedir.

Faktöriyel tasarım yeterli sonucu vermemektedir. Çünkü tek tekrarlı bir deneyde faktöriyel tasarımda üçlü etkileşim elde edilemez. Bu durumda bu analizin tam sonuç verebilmesi için birden fazla tekrar olması gerekmektedir.

Kesirli faktöriyel tasarımda sadece faktörlerin anlamlı olup olmadığı elde edilebilir. Bu çalışmada kesirli faktöriyel tasarım kullanılarak hangi faktörlerin anlamlı olduğu görülmüştür. Anlamlı bulunan bu faktörlerin hangi seviyelerinin tercih edileceği sonucuna ise Taguchi yöntemi ile karar verilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, F. 2013. Sihirli kareler ve Latin kareler. *Türkiye İstatistik Kurumu İstatistik Araştırma Dergisi*, 10: 1, 17-28
- Aksu, B. (2010). Shainin ve Taguchi Yöntemleri ve Bir Uygulama Üzerinde Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 179, Kocaeli.
- Alişer, B., Yıldız, S., Arıcı, E. ve Keleştemur, O. (2015). Cam Lif ve Mermer Tozu Takviyeli Çimento Harçlarının Sülat Direncinin Taguchi Metodu İle Analizi. Second International Sustainable Buildings Symposium, 28-30 Mayıs, Bildiri Özetleri Kitabı, 117-122, Ankara, Türkiye.
- Antony, J. ve Antony, F. J. 2001. Teaching The Taguchi Method to Industrial Engineers, *Work Study*, 50: 4, 141-149
- Aydın, M. E. (1994). Taguchi Metodu ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Üretim Anabilim Dalı, 92, İstanbul.
- Aytaç, A., Yılmaz, B. ve Deniz, V. 2008. Kord bezi üretiminde büküm yönünün etkilerinin farklı deney tasarımı yöntemleri ile incelenmesi. *İşletme Fakültesi Dergisi*, 9:1, 61-71.
- Baynal, K. 2005. Çok yanıtli kalite karakteristiklerinin eşzamanli eniyilenmesinde Taguchi yöntemi ve otomotiv endüstrisinde bir uygulama. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 16: 2, 2-18.
- Baynal, K. ve Terzi, Ü. (2005). Çoklu Kalite Başarım Özelliklerinin Hedef Programlama ve Taguchi Yöntemi Kullanılarak Eniyilenmesi. V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 25-27 Kasım, Bildiri Özetleri Kitabı, 573-577, İstanbul, Türkiye
- Baynal, K. ve Gencel, İ. 2015. Taguchi yönteminin gıda sektöründe çok yanıtli problemin eniyilenmesinde uygulanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19: 1, 107-121.
- Bisgaard, S. 1996. A comparative analysis of the performance of Taguchi's linear graphs for the design of two-level fractional factorials. *Journal of the Royal Statistical Society*, 45: 3, 311-322.
- Box, G. 1988. Signal-to-Noise ratios, performance criteria, and transformations. *Technometrics*, 30: 1, 1-17.
- Çiftçi Aytekin, A. G. (2010). Kalite Geliştirme Sürecinde Eniyileme Problemlerine Deney Tasarımı Yönteminin Uygulanması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, 235, İzmir.
- Danacıoğlu, N. (1998). Taguchi Deneylerinde Kullanılan Dikey Dizimleri Oluşturma Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Bilim Uzmanlığı Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, 153, Ankara.
- Dean, A., Morris, M., Stufken, J. ve Bingham, D. 2015. *Handbook of Design and Analysis of Experiments*. Chapman nad Hall/CRC, 960, New York.

- Demir, Ö., Aksu, B. ve Özsoy, Y. 2015. Araştırma-Geliştirme çalışmalarında tasarımı kalite yaklaşımı ve yapay sinir ağı modellemesinin önemi. *Türkiye Klinikleri Journal of Pharmacy Sciences*, 4: 1, 17-36.
- Denhad, K. 1989. *Quality control, Robust Design, And The Taguchi Method*. Springer, 309, New York.
- Derici Yıldırım, D. ve Taşdelen, B. 2012. Deneysel araştırmalarda Latin kare deneme düzenlerinin kullanımı. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5: 2, 1-6.
- Dervişoğlu, N. ve Muluk, F. Z. 2007. Taguchi tasarımının uygulanması ve klasik kesirli çoketkenli tasarımı karşılaştırılması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8: 1, 65-78
- Doğan, İ. ve Doğan, N. 2005. Kuzularda doğum ağırlığının kalite göstergesi olarak kullanılması ve bunu etkileyen faktörlerin Taguchi yaklaşımı ile incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 24:1, 53-58
- Dumlu, A. (2013). Cam Lifi ve Atık Lastik Katkılı Alçı Kompozitlerin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, 115, Samsun.
- Fisher, R. A. 1935. *The Design of Experiments*. Oliver & Boyd, 250, Edinburgh.
- Gencel, İ. (2007). Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 161, Kocaeli.
- 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.
- Gökçe, B. ve Taşgetiren, S. 2009. Kalite için deney tasarımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6: 1, 71-83.
- Gökçe, B. (2009). Metalurjik deneylerin Taguchi ve genetik algoritmalar yöntemleri kullanılarak tasarımı. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, 140, Afyon.
- 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.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. 2001. Kalite maliyetlerine genel bir bakış: Taguchi kayıp fonksiyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7: 2, 287-293.
- İç, Y. T. ve Yıldırım, S. 2012. Çok kriterli karar verme yöntemleriyle birlikte Taguchi yöntemini kullanarak bir ürünün tasarımının geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27: 2, 447-458.
- Kağnıcıoğlu, C. H. (1998). Üretim Öncesi Kalite Kontrolunda Taguchi Yöntemi ve Kükürtdioksit Giderici Sitrat Yöntemine Uygulanması. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, 216, Eskişehir.

- Karadaş, A. (2010). Sanayide Deney Tasarımı Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, 82, İstanbul.
- Kasman, Ş. (2009). Lazer Mikro İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Deney Tasarım Yöntemiyle Belirlenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Bildiri Özetleri Kitabı, 1389-1393, Karabük, Türkiye.
- Kolay, E. (2011). Deney Tasarımında Optimal Blok Yapıları. Yüksek Lisans Tezi, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, 88, Sinop.
- Köksoy, O. (2001). Taguchi ve Cevap Yüzey Felsefelerinin Birleştirilmesi Problem ve Çözüm Stratejileri. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, 122, Ankara.
- Lee, Y. C., Peng, C. F., Hsiao, Y. C., Chen, Q., Tsai, S. B. ve Wu, C. H. 2014. Using Mahalanobis – Taguchi system, logistic regression, and neural network method to evaluate purchasing audit quality. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 229:1, 3-12.
- Mason, R. L., Gunst, R. F. ve Hess, J. L. 2003. *Statistical Design and Analysis of Experiments With Applications to Engineering and Science*. John Wiley & Sons, 760, New Jersey.
- Meral, G., Sarkıya, M. ve Dilipak, H. 2011. Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27: 4, 332-338.
- MohanDas, C. D., Ayyanar, A., Susaiyappan, S. ve Kalimuthu, R. 2017. Analysis of the effects of fabrication parameters on the mechanical properties of areca fine fiber-reinforced phenol formaldehyde composite using Taguchi technique. *Journal of Applied Research and Technology*, 15: 4, 365-370
- Montgomery, D. C. 2000. *Desing And Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, 699, New York.
- Nair, V. N., Abraham, B., MacKay, J., Nelder, J. A., Box, G., Phadke, M. S., Kacker, R. N., Sacks, J., Welch, W. J., Lorenzen, T. J., Shoemaker, A. C., Tsui, K. L., Lucas, J. M., Taguchi, S., Myers, R. H., Vining, G. G. ve Wu, c. F. J. 1992. Taguchi's parameter design: a panel discussion. *Technometrics*, 34: 2, 127-161.
- Peace, G. S. 1993. *Taguchi Methods: A Hands-On Approach*. Addison-Wesley, 522, Boston.
- Pınar, A. M. ve Güllü, A. 2010. Sayısal denetimli hidrolik pozisyonlama sisteminin Taguchi metodu ile optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25: 1, 93-100
- Ross, P. J. 1988. *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. McGraw-Hill Education, 329, New York.
- Roy, R. K. 1990. *A Primer on the Taguchi Method*. Society of Manufacturing Engineers, 247, United States of America.
- Roy, R. K. 2001. *Design of Experiments Using the Taguchi Approach*. John Wiley & Sons, 538, New York.

- Saat, M. 2000. Kalite Denetiminde Taguchi Yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Birimler Fakültesi Dergisi*, 2: 3, 97-108
- Savaşkan, M., Taptık, Y. ve Ürgen M. 2004. Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3: 6, 117-128
- Shankar, B. L., Nagaraj, P. M. ve Anil, K. C. 2017. Optimization of Wear Behaviour of AA8011-Gr Composite using Taguchi Technique. *Materials Today: Proceedings*, 4: 10, 10739-10745
- 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.
- Sümbüloğlu, K. ve Akdağ, B. 2010. *Kanıtı Dayalı Tıp*. Pamukkale Üniversitesi Yayınları, 184, Denizli.
- Şanyılmaz, M. (2006). Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 109, Kütahya.
- Şenoğlu, B. ve Acıtaş, Ş. 2010. *İstatistiksel Deney Tasarımı Sabit Etkili Modeller*. Nobel Yayın Dağıtım, 392, Ankara.
- Şirvancı, M. 1997. *Kalite İçin Deney Tasarımı 'Taguchi Yaklaşımı'*. Literatür Yayıncılık, 112, İstanbul.
- Taguchi, G. ve Yokoyama, Y. 1993. *Taguchi Methods: Designs of Experiments (Taguchi Method Series)*. American Supplier Institute, 330, United States of America.
- Taguchi, G., Chowdhury, S. ve Taguchi, S. 1999. *Robust Engineering: Learn How to Boost Quality While Reducing Costs & Time to Market*. McGraw-Hill Education, 241, New York.
- Taguchi, G. ve Jugulum, R. 2002. *The Mahalonobis-Taguchi Strategy A Pattern Technology System*. John Wiley & Sons, 234, New York.
- Taguchi, G., Chowdhury, S. ve Wu, Y. 2005. *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. John Wiley & Sons, 1696, New Jersey.
- Taylan, D. (2009). Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 73, Isparta.
- 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: 1-2, 503-506
- Uslu, T. 2007. Faktöriyel tasarım ve süreç optimizasyonu. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9: 1, 534-551
- Uygur, B. (2009). Açık Ocaklarda Patlatma Kaynaklı Sarsıntılarının Taguchi Yöntemi Kullanılarak Parametre Optimizasyonu İle Azaltılması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 221, Kütahya.

- 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.
- Yates, F. 1937. *Design and Analysis of Factorial Experiments*. Imperial Bureau of Soil Sciences, 96, London.
- 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, 8-10 Mart, Bildiri Özetleri Kitabı, 287-292, Kanagawa, Japonya.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : İbrahim ÖZDEMİR
Doğum Yeri : Seyhan/ADANA
Doğum Tarihi : 20.07.1990
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Yüreğir İncirlik Lisesi
Lisans : Sinop Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / İstatistik Bölümü
(2013)

Yayınlar

- Özdemir İ., Kasap P., Mesci B. ve Dumlu A., 2015: Taguchi Deney Tasarımı Yönteminin Yapı Endüstrisine Uygulanması. Uluslararası 9. İstatistik Kongresi, 28 Ekim - 1 Kasım, 2015 Antalya, Türkiye