KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOMPOZİT MALZEMELERİN ENERJİ SÖNÜMLEME PERFORMANSINA NUMUNE VE TETİKLEYİCİ GEOMETRİK DEĞİŞKENLERİN ETKİSİNİN TAGUCHİ METODU İLE İNCELENMESİ

YAŞAM KANDEMİR

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

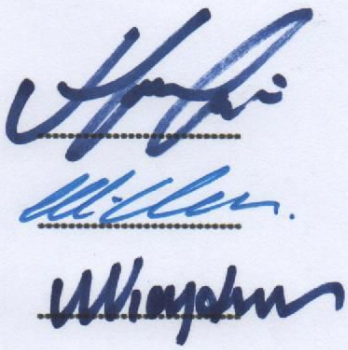
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOMPOZİT MALZEMELERİN ENERJİ SÖNÜMLEME PERFORMANSINA NUMUNE VE TETİKLEYİCİ GEOMETRİK DEĞİŞKENLERİN ETKİSİNİN TAGUCHİ METODU İLE İNCELENMESİ

YAŞAM KANDEMİR

Doç. Dr. Abdulkadir CENGİZ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet UÇAR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet AYDIN
Jüri Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 26.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Son yıllarda dünya geneli bakıldığında Amerika'da başlayan kalite çalışmalarının artık bütün dünyanın ortak paydası haline geldiği görülmektedir. Yapılan bütün çalışmalar kalite çıtasını yukarı seviyelere çıkarmakta ve bu paydayı kuvvetlendirmektedir. Günümüz dünyasında kalite, artık yaşam tarzı haline gelmiş ve hemen hemen bütün sektörler bu yaşam tarzını göz ardı edemeyecek pozisyona gelmiştir.

Kalite sahasında bizlere ışık tutan Taguchi yaklaşımları, her geçen gün daha da kullanılır ve uygulanır bir hal almıştır. Bu çalışmamızda Taguchi'nin geliştirdiği ortogonal dizinleri kullanarak otomotiv sektöründe farklı bir yol izlenerek tasarım parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim süresi boyunca yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Abdülkadir Cengiz'e, çalışmalarım esnasında beni hep destekleyen annem Hanife Kandemir'e, babam Mustafa Kandemir'e, kardeşim Hasan Ali Kandemir'e ve ablam Nejla Kandemir'e, bütün yakın akrabalarıma ve bana hep katlanan, sabreden arkadaşlarıma, Adem Ertem'e ve Yasin Cuşkun'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Haziran-2018 Yaşam KANDEMİR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ iv
SİMGELER VE KISALTMALAR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
GİRİŞ 1
1. MATERYAL ve METOD 8
1.1. Deneysel Tasarım 9
1.1.1. Deneysel tasarımın tarihçesi 9
1.1.2. Taguchi kalite kontrol sistemi 10
1.1.2.1. On-line kalite kontrol 11
1.1.2.2. Off-line kalite kontrol 11
1.1.2.2.1. Sistem tasarımı 12
1.1.2.2.2. Tolerans tasarımı 12
1.1.2.2.3. Parametre tasarımı 13
1.2. Taguchi Deney Tasarımı 14
1.2.1. Gürültüler 16
1.2.2. Sinyal gürültü oranı (S/N) 17
1.2.3. Ortogonal dizinler 18
1.2.3.1. L_8 ortogonal dizini 20
1.2.3.2. L_{16} ortogonal dizini 22
1.2.4. Varyans analizi (ANOVA) 23
1.3. Enerji Sönümleyici CFTP Çubuk Tasarımı 24
1.4. Faktörlerin ve Seviyelerinin Belirlenmesi 24
1.4.1. Beyin fırtınası 24
1.4.2. Balık kılçığı diyagramı 24
1.5. Uygun Ortogonal Dizinin Belirlenmesi 26
2. BULGULAR VE TARTIŞMA 27
2.1. Verilerin Girilmesi ve Grafiklerin Oluşturulması 27
2.1.1. L_8 ortogonal dizini ile grafiklerin oluşturulması 27
2.1.2. L_{16} ortogonal dizini ile grafiklerin oluşturulması 33
2.2. L_8 ve L_{16} Grafiklerinin İstatistiksel Analizi ve Yorumları 37
2.2.1. L_8 grafiklerinin istatistiksel analizi ve yorumları 37
2.2.2. L_{16} grafiklerinin istatistiksel analizi ve yorumları 40
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 43
KAYNAKLAR 46
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 50
ÖZGEÇMİŞ 51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Örnek tasarım ve parametreler 8
Şekil 1.2. Taguchi kalite kontrol sistemi 10
Şekil 1.3. Genel Süreç Modeli 14
Şekil 1.4. Minitab programında $L_8(2^4)$ dizini seçimi 20
Şekil 1.5. Minitab programında L_{16} seçimi 22
Şekil 1.6. Faktörlerin balık kılçığı diyagramında gösterilmesi 25
Şekil 2.1. Minitab programında Taguchi yaklaşımı 27
Şekil 2.2. Faktör seviyesi ve ortogonal dizinin seçilmesi 28
Şekil 2.3. Faktör ve seviyelerin sisteme girilmesi 28
Şekil 2.4. Faktörlerin sistemce tanımlanması 29
Şekil 2.5. Etkileşimlerin sistemden çıkartılması 30
Şekil 2.6. L_8 ile faktörlerin S/N oranlarının ana etki grafikleri 31
Şekil 2.7. L_8 ile faktörlerin ortalama SES değeri için ana etki grafikleri 32
Şekil 2.8. L_{16} ile faktörlerin S/N oranlarının ana etki grafikleri 34
Şekil 2.9. L_{16} ile faktörlerin ortalama SES değeri için ana etki grafikleri 36

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Gürültüler....16
Tablo 1.2. Taguchi deney tasarım kombinasyonları....19
Tablo 1.3. $L_8(2^7)$ Ortogonal dizini....21
Tablo 1.4. Deney kombinasyonları....22
Tablo 1.5. $L_{16}(2^4)$ dizilimi....23
Tablo 1.6. Tasarım faktörleri ve seviyeleri....25
Tablo 1.7. Serbestlik derecelerinin hesaplanması....26
Tablo 2.1. Deney kombinasyonlarının S/N değerleri....30
Tablo 2.2. Faktörlerin S/N oranlarının etki tablosu....31
Tablo 2.3. Faktörlerin ortalama SES değeri için etki tablosu....33
Tablo 2.4. Deney kombinasyonlarının L_{16} ile S/N oranları....34
Tablo 2.5. Faktörlerin S/N oranlarının etki tablosu....35
Tablo 2.6. Faktörlerin ortalama SES değeri için etki tablosu....36
Tablo 2.7. S/N oranları için varyans analizi (L_8)....37
Tablo 2.8. Ortalama SES değerleri için varyans analizi (L_8)....38
Tablo 2.9. L_8 ile elde edilen tahmin değerleri....39
Tablo 2.10.S/N oranları için varyans analizi (L_{16})....40
Tablo 2.11. Ortalama SES değerleri için varyans analizi (L_{16})....41
Tablo 2.12. L_{16} ile elde edilen tahmin değerleri....42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Y	: Respons/Yanıt değişkeni, (j/g)
x	: Kontrol edilebilir girdiler, (mm)
z	: Kontrol dışı girdiler
y	: Çıktı
r	: Tekrar sayısı
$V_{faktör}$	: Faktörün serbestlik derecesi
$S_{faktör}$	: Faktörün seviye sayısı
t	: Çap farkı, (mm)
d	: İç delik çapı, (mm)
β	: Nozul giriş açısı, (^{o})
l	: Kanal boyu mesafesi, (mm)

Kısaltmalar

Adj SS	: Adjusted Sums of Squares (Düzeltilmiş Kareler Toplamı)
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
CFTP	: Cam Fiber Takviyeli Plastik
MRE	: Mean Relative Error (Ortalama Hata)
RMSE	: Root Mean Square Error (Hata Kareleri Ortalaması)
R-Sq	: R-Squared (Belirlilik Katsayısı)
R-Sq (adj)	: R-Squared Adjusted (Düzeltilmiş Belirlilik Katsayısı)
SES	: Spesifik Enerji Sönümleme
Seq SS	: Sequential Sums of Squares (Kareler Toplamı)
S/N	: Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)

KOMPOZİT MALZEMELERİN ENERJİ SÖNÜMLEME PERFORMANSINA NUMUNE VE TETİKLEYİCİ GEOMETRİK DEĞİŞKENLERİN ETKİSİNİN TAGUCHİ METODU İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, cam fiber takviyeli plastik (CFTP) kompozit malzemenin deformasyonu ile oluşan spesifik enerji sönümleme (SES) karakteristiklerine, tasarım parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Bu etkilerin boyutlarını belirlemek üzere Taguchi modeli uygulanmıştır. SES oranına etki eden parametreler çap farkı, iç delik çapı, kanal boyu mesafesi ve nozul giriş açısı olarak belirlenmiştir. Çalışmada L_8 ve L_{16} ortogonal dizinleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Her bir parametrenin sinyal gürültü oranları hesaplanarak ana etki grafikleri oluşturulmuştur. Buna ek olarak Varyans analizleri (ANOVA) yapılarak regresyon denklemleri belirlenmiştir. Çap farkının, SES oranını en çok etkileyen parametre olduğu görülmüştür. L_8 ortogonal dizininde sinyal gürültü oranı için düzeltilmiş belirlilik katsayısı % 91,8 ve L_{16} ortogonal dizininde ise % 90,4 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada L_8 sonuçlarının daha tutarlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: ANOVA, CFTP Kompozit Malzeme, SES Oranı, Taguchi Modeli.

INVESTIGATION ON EFFECTS OF COMPOSITE ROD AND TRIGER GEOMETRIC PARAMETERS ON ENERGY ABSORPTION PERFORMANCE OF COMPOSITE MATERIALS WITH TAGUCHI METHOD

ABSTRACT

In this study, the parameters of specific energy absorption (SEA) ratio has been investigated for glass fiber reinforced plastic (GFRP) composites by forced through into a narrowed nozzle. These parameters has been identified as diameter difference (between GFRP rod and nozzle hole), hole diameter of the GFRP rod, nozzle hole length and nozzle entrance angle. For this purpose, Taguchi technique was used. L_8 array was used selected for the study. Analysis of variance (ANOVA) has been done than effects of parameters were illustrated graphically. In the study it has been seen that effects of the diameter difference and nozzle entrance angle are 83.7% and 13% respectively as the maximum and minimum values. It has been seen that L_8 ortogonal array is more efficient.

Keywords: ANOVA, GFRP Composite, SEA Ratio, Taguchi Model.

GİRİŞ

Otomotiv sektörü son yıllarda hızla gelişen ve geliştirilmeye devam edecek bir sektör halini almıştır. Sektörün canlanmasıyla birlikte bu alanda katkı yapabilecek çalışmaların arttığı gözlenmektedir. Nitekim otomotiv sektöründeki çalışmalara gerek kalite anlamında gerekse nicel anlamda her türlü proje ve aktivitelerin katkı sağlaması artık bir ihtiyaç haline gelmiştir. Kalitenin göz ardı edilemez olduğu çağımızda, kalite çalışmalarının istatistiksel verilere dayandırıldığı görülmektedir. Bu sebeple istatistiksel çalışmalar önem kazanmıştır. Amerika'da temelleri atılan istatistiksel çalışmalar, sonrasında Genichi Taguchi tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Zamanla dünyada kabul gören bu metod, ülkemizde de kabul görmüş ve bu konudaki kalite çalışmalarında hızlı bir artış görülmektedir.

Bu anlamda çubuk malzemeler, otomotiv sektörünün ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Taşıtlarda kullanımı ile birlikte taşıtın bazı bölümlerine monte edilebilecek sistemler için cam fiber takviyeli plastik (CFTP) çubuk malzemelerin çeşitli deneylerde kullanılarak elde edilen değerleri önem arz etmektedir. Bu çalışmamızda CFTP çubuk malzemelerin dar kesitlerden geçirilerek deforme olduğu durumlarda spesifik enerji sönümleme (SES) değerleri ve buna etki eden faktörler belirlenmiştir.

CFTP çubuk malzemeler dirençleri, hafifletici etkileri ve yüksek dayanıklı olmalarından dolayı tasarımlarda kullanılmak için tercih edilen malzeme türlerindendir. SES değeri, çarpışma öncesi mevcut enerji ile çarpışma sonrası enerji arasındaki kaybolan enerjiye denmektedir. Çarpışma esnasındaki hasar riski, CFTP çubuk malzemelerin SES oranı sayesinde azalma gösterebilmektedir. Farklı türdeki malzemelerin enerji sönümleme sebebiyle kullanıldığı sistemler, literatürde yer tutmaktadır. Buna benzer sistemlerde Taguchi metodunun sıklıkla kullanıldığı ve olumlu sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Bu metot sayesinde deneysel çalışmaların yükünü azaltmak ve istatistiksel olarak da ikna edici çözümler sunmak hedeflenmektedir. Literatürde çalışmalarında bu metoda yer verenler şu şekilde özetlenebilir:

Pang J.S., Ansari M.N.M., Zaroog O.S., Ali M.H.,Sapuan S.M.; yaptıkları 'HNT/Al/Ep Prosesinin CNC Üzerindeki Parametrelerinin Taguchi Dizaynı ile Optimizasyonu' isimli çalışmada, kontrol faktörleri olarak kesme derinliği, kesme hızı ve ayak uzunluğunu belirlemişlerdir. Respons değişkenleri olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti seçilmiştir. Ortogonal dizin olarak $L_{27}(3^3)$ seçilmiş ve deney planları oluşturulmuştur. En optimal dizilimin de A1 B3 C3 dizilimi olacağını tavsiye etmişlerdir [1].

Hung H.C., Sung M.H., TFT-LCD Dizaynına Tolerans Metodu ile Yaklaşım' adlı çalışmalarında TFT-LCD endüstrisinde Tayvan'da gelişmekte olan bir sektör olduğundan bahsetmişlerdir ve materyal fiyatlarının pahalı olması sebebiyle uyguladıkları Taguchi yöntemi ile fiyatları düşürmeyi başarmış ve daha iyi performans alındığını ifade etmişlerdir [2].

Kasap Ş., F-4 Yakıt uçaklarında motor yakıt akışı sağlayan ana yakıt kontrol biriminde gaz kolunun pozisyonu, motor devri, kompresör giriş sıcaklığı, giriş akışı ve hava basıncı olmak üzere 5 parametreyi 2 seviyeli olarak inceleyerek bu etkileri balık kılçığı ile ifade etmiştir. 32 deney yapmış, bunları 4 kez tekrar ederek rassal sıralamıştır. Deneyini kesirli ve tam faktöriyel olarak 2 aşamada incelemiş, etki değerlerini, etki grafiklerini, varyans analizlerini oluşturmuş ve hava basıncının daha etkili olduğunu ispatlamıştır [3].

Kamber Ö.Ş., plastik enjeksiyon kalıplarında basınç, sıcaklık ve zamanın ürün kalitesine etkisini incelemek üzere Modflow, Matlab gibi programlar kullanarak faktör değerlerini hesaplamıştır. L_9 (3*3) ortogonal dizinini kullanarak optimal enjeksiyon değerleri elde etmiştir [4].

Sapakal S.V., Telsang M.T., 'MIG Kaynaklarında Taguchi Metodu Kullanılarak Parametrelerin Optimizasyonu' isimli çalışmalarında kaynak akımı, kaynak voltajı ve kaynak hızı parametrelerini belirlemiş ve L_9 (3*3) ortogonal dizinini kullanmıştır. Gerekli deney planları oluşturulmuş ve faktörlere atama yapılmıştır.

Bu sayede serbestlik dereceleri (degree of freedom) belirlenmiştir. Ayrıca ANOVA yaparak kareler ortalaması, kareler toplamını bulmuş ve sinyal gürültü oranlarını da hesaplayarak kaynak parametrelerini optimize etmiştir [5].

Kayır Y., Aslan S., Aytürk A., ’AISI 316Ti Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi ile Analizi’ adını koyduğu çalışmalarında AISI 316Ti paslanmaz çeliğini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametreleri inceleyerek, bunları kesici uç yarıçapı (Rfak), kesici uç formu (formfak) ve kesme hızı (Vfak) olarak belirlemişlerdir. Deneylerinde L_{18}(2**1 3**3) mixed modelini kullanmışlar ve MİNİTAB, SPSS, MATLAB programlarını kullanarak farklı S/N oranları elde etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü için yaptıkları Taguchi analizlerinde ‘Smaller is better’ özelliğini kullanarak her bir faktörün yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemişlerdir. Faktörlerin ortalamalarında ffak en büyük etkiye sahip, formfak ise en küçük etkiye sahiptir. S/N oranlarının etkisinde de benzer sonuçları ortaya çıkarmışlardır. Fakat güvenilirliği artırmak amacıyla ANOVA analizi de yaparak faktör etkilerini gözlemlemişlerdir [6].

Özkan C., Akman G., ‘Sac İmalatında Karşılaşılan Yapışma Probleminin Deney Tasarımı ile Çözümü’ isimli çalışmalarında üretim sahasına alınan yeni bir tavlama fırınında meydana gelen yapışma problemini ele almışlar ve tam faktöriyel tasarım metodunu kullanmışlardır. Tavlama fırınındaki üretim aşamalarını incelemişlerdir. Uygulamanın yapıldığı firma her defasında bir faktörün denendiği uygulamalar yapmış; fakat verimli çıktılar elde edilememiştir.

Ayrıca her safha büyük miktarda çelik gerektirdiğinden ve tekrar edilen deneyler maliyetlerde artış oluşturabileceğinden itinalı bir faktör seçimi olmasını gerektiğini tavsiye etmişlerdir. Buradan yola çıkarak beyin fırtınası ve sebep etki matrisleri sonucunda faktörleri; bobin sarma gergisi, hidrojen miktarı ve ısıl işlem sıcaklığı olarak belirlemişlerdir ve 2 düzeyli 3 faktörlü tasarım tercih etmişlerdir. Bununla birlikte Varyans analizleri ve Pareto grafikleri oluşturarak olumlu sonuçlar elde etmişlerdir [7].

Kimzan H.S., ‘Tüketicilerin İçsel Referans Fiyat Tercihlerinin Farklı Ürünler Bakımından Deneysel Tasarım Yoluyla İncelenmesi’ adıyla yaptığı çalışmada Türk tüketicisi için belirlediği 4 içsel referans fiyattan sonra 6 ürün kategorisini belirlemiştir. Bunları şampuan, cep telefonu, diş macunu, spor ayakkabı, kot pantolon ve bilgisayar olarak önem sıralamasına koymuştur. Deney tasarımında ölçümleri yapmış ve T testi uygulamıştır [8].

Ünal H.İ., Altuğ G.S., Baynal K., 'Ortodontik Tellerin Korozyon Davranışının Klasik Deney Tasarım Yöntemi ile Belirlenmesi' isimli çalışmalarında çene tedavisinde kullanılan diş üzerine takılan ortodontik tellerin tükürük salgısı, flor içerikli diş macunlarına karşı korozyon dirençlerini ölçmüşler ve bunları Varyans analizi ve F testi gibi yöntemleri içeren klasik deney tasarımıyla incelemişlerdir. Bununla birlikte faktörlerin etkileşim grafiklerini ifade etmişlerdir [9].

Şişman Y., Şişman A., Bektaş S., 'Koordinat Dönüşümünde Deney Tasarımı Yaklaşımı' isimli çalışmalarında 2^3 Full Faktöriyel Dizayn Yaklaşımını kullanmış ve deneyleriyle faktörlerin birbirleriyle etkileşimlerini ve ana etkilerini incelemişlerdir. Parametreler olarak ortak nokta sayısı, dönüşüm yöntemi ve dengeleme yöntemi belirlenmiş ve response değişkeni olarak KOH seçilmiştir. %5 anlamlılık esasına göre istatistiksel analizlerini yapmışlar ve T ve P değerlerini elde etmişlerdir. Bu değerler sonucunda ortak nokta sayısının ve dengeleme yönteminin anlamlı, dönüşüm yönteminin ise anlamsız olduğunu teyid etmiş ve bunu normallik grafiğiyle ispatlamışlardır. Dikkat edilmesi gereken nokta şu ki, Şişman Y. ve arkadaşları tahmini testler sonucunda önceki Varyans Analizinde anlamsız buldukları faktörleri modelden çıkartarak yeni bir revize analiz ile % 90,43'lük bir sonucu ifade etmişlerdir. Oluşturdukları artıklar grafiği ile düzeltmelerin normal bir şekilde dağıldığını görmüşler ve bu yöntemlerin benzeri çalışmalarda da kullanılabileceğini tavsiye etmişlerdir [10].

Gever B., Güneş B.N., Gülel D., Ataseven E.B., Saatcıoğlu Ö., Bebek Z.S., 'Bir Üretim İşletmesinin Verileri Kullanılarak Çarpımsal Deney Tasarımı ile Taguchi Yaklaşımının Karşılaştırılması' isimli makalelerinde detaylı analizler yaparak 2^p faktöriyel ve kısmi faktöriyel tasarımlar yaparak yüksek oranda anlamlılık düzeyinde sonuçlar elde ederek Taguchi dizaynını optimal bir şekilde kullanmışlardır [11].

Alhalabi K., Sabır E.C., 'Anti Statik Yağın İplik Kalite Parametrelerine Etkisi' adlı makalelerinde sentetik lif eğirmede statik elektriklenme problemini engellemek için kullanılan yağlayıcı maddenin iplik kalitesine etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmalarında Taguchi L_4 deney planını kullanmışlardır. Parametre olarak belirledikleri elektriklenme seviyesi ve yağlayıcı miktarının birbiriyle etkileşimlerini ve S/N oranlarını inceleyerek, gerekli tahminlerde bulunmuşlardır. Bu verilerin

oluşturulmasında kullandıkları Minitab 14 paket programı ile ortalamaları da hesaplayarak doğrulama testlerini gerçekleştirmişlerdir [12].

Kasman Ş., 'Lazerle Derin Oyma Tekniğinde EN 7075 Alüminyum Alaşımı İçin İşlem Parametrelerinin Etkilerinin Taguchi Metodu Kullanılarak İncelenmesi' isimli makalelerinde alaşımın fiber lazer ile oyulmasındaki faktörleri etkin güç, tarama hızı, frekans ve tarama aralığı olarak belirlemiş ve bu faktörlerin yüzey pürüzlülüğüne ve oyma derinliğine olan etkisini araştırmıştır. Kullandığı Taguchi L_{18} deney düzeneği ile etkileri araştırarak ANOVA ile S/N oranlarını ve ortalamalarını belirlemiştir. Tahmini değerler ile ölçülerin değerleri arasında yakın bir ilişki elde ederek Taguchi metodunun kullanılabileceğini tavsiye etmişlerdir [13].

Sarı T., 'Tedarikçi Seçiminde Anp, Taguchi ve Topsıs Yöntemleri ile Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama' adlı makalesinde ikili karşılaştırmalar matrisi ile ANP, TOPSİS gibi metotlar kullanarak aralarındaki ilişkileri tespit etmiştir. Taguchi kayıp fonksiyonu ve diğer metotlar ile bütünleşik analizler yaparak parametreler arasındaki etkiler ile tedarikçilere uygun bir model belirlemiştir [14].

Motorcu A.R., 'Isıl İşlemsiz ve Küreselleştirilmiş Ç52100 Rulman Çeliğinin Farklı Takımlarla İşlenmesinde Takım Ömrü ve Aşınmasının İncelenmesi' isimli çalışmasında rulman çeliğinin deneysel çalışmalarında faktörlerin etkilerini araştırarak $L_{18}(2^1*3^7)$ ortogonal dizinini kullanmıştır. Taguchi deney tasarımının uygulanması ile birlikte faktörlerin takım ömrü üzerindeki etkilerini 3D yüzey grafikleri ile göstermiştir [15].

Savaşkan M., Taptık Y., Ürgen M., 'Deney Tasarımı Yöntemi İle Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu' adlı makalelerinde seramik kaplı matkap uçlarının kalitesini belirlemek üzere kaplama türü, kesme hızı ve ilerleme hızı faktörlerini belirlemişlerdir. Taguchi deney tasarımını etkin bir şekilde kullandıkları bu çalışmalarında L_9 deney planını kullanarak gerekli uygulamalarda bulunmuşlardır.

Ayrıca parametre etkilerini balık kılçığı diyagramı ile detaylı bir surette ifade etmişlerdir. 3 seviye ve 3 faktörlü bu düzenekte Varyans analizi ve sinyal gürültü oranları belirlenmiş ve deneyler istatistiksel olarak da tekrarlanarak güvenilirlik artırılmıştır. Ayrıca grafikler oluşturularak optimizasyon yapılmıştır [16].

Erdem V., Belevi M., Koçhan C., 'Taguchi Metodu ile Plastik Enjeksiyon Parçalarda Çarpılmanın En Aza İndirilmesi' isimli çalışmalarında plastik enjeksiyon parçalarındaki çarpılmanın faktörlerini ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri ve yolluk tasarımı olarak belirlemişlerdir. Tasarım aşamalarında kullanılan L_9 ortogonal dizini ile deney planları oluşturulmuştur. Her deneyin ayrı ayrı grafikler ile gösterildiği makalede, faktörlerin seviyelerinin çarpılma ve sinyal gürültü oranları üzerine etkileri tek tek gösterilmiştir. Bu grafikler ve Varyans analizi ile elde edilen sonuçlarda ürün tasarımı faktörünün % 50,196, giriş ölçülerinin % 19,837, giriş sayısının % 9,313, yolluk tasarımının % 2,974 oranları ile etkili oldukları görülmüştür. Optimum değerler ile deney yapılarak optimizasyon yapılmıştır [17].

Şirin E., Şirin Ş., Turgut Y., Korkut İ., 'AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu ile Optimizasyonu' adlı makalelerinde kesici takım, işlenen malzeme, kesme parametreleri gibi yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametre belirleyerek L_9 ortogonal dizinini kullanmışlardır. Kontrol faktörlerinin etkisini ANOVA ile analiz ederek yüzey pürüzlülüğüne en önemli etkinin kesme ve ilerleme hızı olduğunu ifade etmişlerdir [18].

Şenyılmaz A., 'Kanban Üretim Kontrol Sistemlerinin Deneysel Tasarım Teknikleri ile Analizi ve Bir İşletmeye Uygulanması' isimli çalışmasında Kanban sistemleri ile başka sistemleri karşılaştırarak deneysel tasarım yöntemlerini uygulamıştır. Ayrıca yalın üretim sistemleri hakkında da bilgi vererek çalışmasını uygulama ile sonlandırmıştır. Deneysel tasarım yöntemlerinden rassallaştırma, bloklama ve Latin kare yöntemlerine de değinerek tahmin katsayısını yükseltmiştir. Bununla birlikte faktöriyel tasarımlara da yer vererek kanban sayı sistemlerinden bahsetmiştir. Oluşturduğu veri analizleri ile de çalışmasını kuvvetlendirmiştir [19].

Şanyılmaz M., 'Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama' isimli çalışmasında, karakterleri hammadde nem oranı, şekillendirme süresi, kurutma süresi, pişirme sıcaklığı olarak seçmiş ve Taguchi yönteminde L_8 düzeneğini kullanmıştır. Karakterler 2 seviyeden oluşmaktadır. Uygun ortogonal dizi seçildikten sonra faktörlerin ataması yapılmış ve serbestlik dereceleri belirlenmiştir. SPSS 14.0 paket programı kullanılarak veriler analiz edilmiştir [21].

Sünkür E., ‘Ekstrüzyon İşleminde Proses Parametrelerinin Etkisinin Sonlu Elemanlar ile Analizi ve Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu’ adını koyduğu çalışmasında Materyal ve Metot kısmında direkt ekstrüzyon, hidrolik ekstrüzyon gibi çeşitlerinden bahsetmiştir. Yöntem olarak da Taguchi optimizasyon yöntemini kullanarak L_9 deney düzeneğini oluşturmuştur. Zımba hızı, biyet sıcaklığı, kovan sıcaklığı ve kalıp sıcaklığını parametre olarak belirleyerek 81 deney yerine 9 deney ile istenilen sonuçları elde etmiştir. Sinyal gürültü oranlarını program yardımıyla hesaplayarak etkileşim grafiklerini incelemiş ve Varyans analizi ile etkin sonuçlar elde etmiştir. tavsiye ettiği optimal değerleri; zımba hızı 5 mm/s, biyet sıcaklığı 450^o C, kovan sıcaklığı 410^{o}C ve kalıp sıcaklığını 410^{o}C olarak belirlemiştir [22].

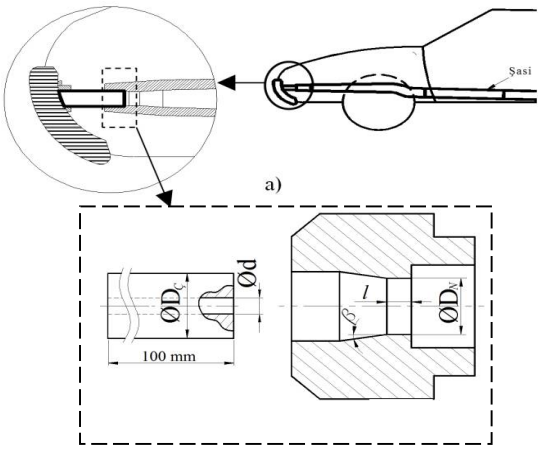
Bizim bu çalışmamızda ise CFTP çubuk malzemenin deforme olmaya zorlanmasıyla elde edilen SES değerlerine belirlenen dört faktörün etkileri incelenmiştir. Belirlenen faktörler iç delik çapı, nozul giriş açısı, kanal boyu mesafesi ve çap farkıdır. Taguchi metodunda kullanılan L_8 ve L_{16} ortogonal dizinleri ile ayrı ayrı etki grafikleri oluşturularak istatistiksel analizler yapılmış ve bunun sonucunda her iki ortogonal dizinden hangisinin kullanılmasının daha iyi olacağı konusunda sonuç kısmında karşılaştırmalar yapılmıştır.

1. MATERYAL VE METOT

Kompozit malzemeler sanayi alanında mukavemeti, hafifliği gibi özelliklerinden dolayı tercih edilen malzemelerdir. Bununla birlikte otomotiv sektöründe de kullanımı giderek artmaktadır. Uluslar arası yasal tedbirlerle kullanımı teşvik edilen kompozit malzemelerden birisi olan CFTP çubuk malzeme günümüz teknolojisinde yaygın olarak kullanılan bir malzemedir [26].

Sektörün başladığı zamanlarda plastik malzemeler, hafif olmalarından dolayı daha çok tercih edilmekte idi; fakat enerji sönümleme görevinde plastik malzemeler yetersiz kalıyordu. Bunun yerine enerji sönümlemesini artırması amacıyla fiber takviyeli plastikler kullanılmaya başlanmıştır [40]. Son yıllarda kaza oranları artmakla birlikte otomotiv üreticileri, herhangi bir kaza esnasında enerji sönümlemesi yapabilen malzemelere odaklanmışlardır. Enerji sönümleme olayında ve taşıt şasi tasarımında ön plana çıkan CFTP çubuk malzeme, taşıt kazalarını azaltmada uygun bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu amaçla taşıtlarda şasi ve gövde tasarımlarında bu malzemenin kullanılması yolcu güvenliği, araç sağlamlığı açısından önem arz etmektedir.

Taşıt şasi tasarımında kullanılan CFTP çubuk malzemenin nozul geometrilerine ait tasarım parametreleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Çalışmamızın bu bölümünde deneysel tasarım hakkında bilgi verilerek Taguchi metoduna geçilmiştir.



Şekil 1.1. Örnek tasarım ve parametreler

1.1. Deneysel Tasarım

1.1.1. Deneysel tasarımın tarihçesi

Deney tasarımı, 1920 yıllarında İngiliz İstatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından tarım alanında araştırmalar yaparken bulunan ve sonrasında geliştirilmeye devam eden bir yöntemdir. Kısa sürede Amerika'da tarımda üretimin geliştirilmesi için yoğun biçimde kullanılmış ve Amerika'nın o sıralarda, bu sektörde önde gelen en büyük ülke olmasını sağlayan bir yöntem olmuştur. Kimya ve ilaç endüstrisinde de kullanılmış olsa da, imalat sektöründeki çalışmalar oldukça yenidir. 1970'li yıllara kadar deneysel tasarımın temel prensipleri batıda pek fazla bilinmez iken Japonya'da oldukça yoğun kullanım alanına sahiptir [24]. Amerika'da 1980 yıllarında imalat sektörü, Japonya'daki kalite çalışmalarını irdelemesi sonucu, çalışmalarını geliştirmeye başlamıştır [35]. Aynı tarihte 'Taguchi Metodu' terimi Amerika'da kullanılmaya başlandı.

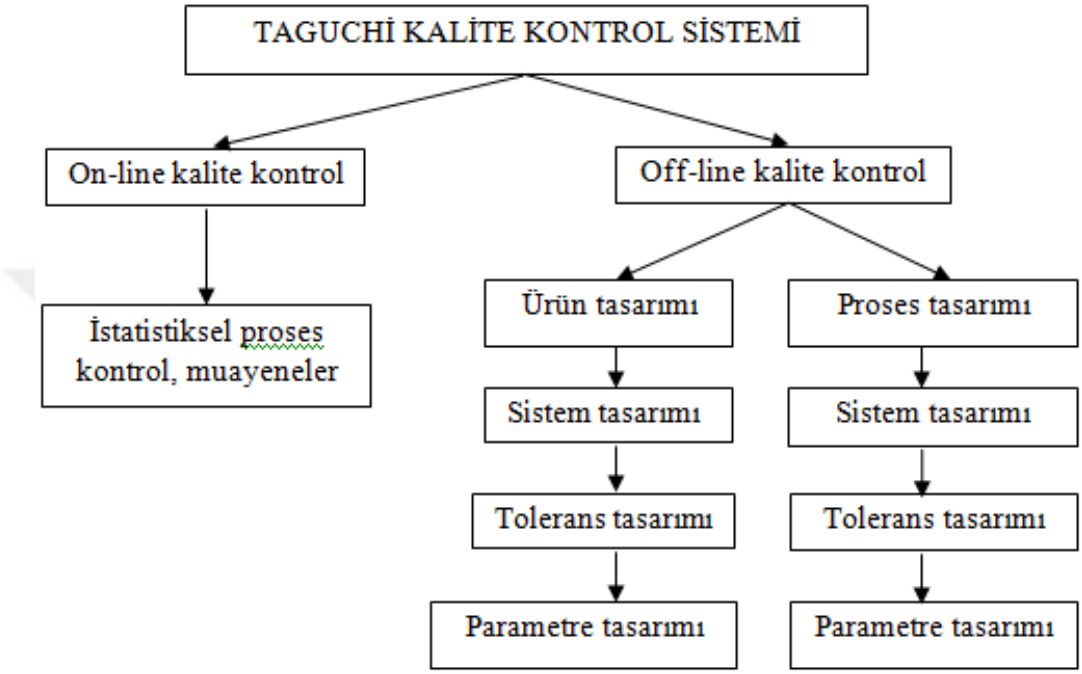
Japonya'da, İkinci Dünya Savaşı'nın bitimine doğru, gelişmeler hızlanmaya başlamıştır. Bu süreçteki en önemli adımlardan biri Japon telefon sisteminin geliştirilmesiydi. Amaç, Amerika'da Bell Laboratuarlarında kullanılan telefon siteminin Japonya'da kurulmasıydı. Ancak Japon Nippon Telefon ve Telgraf Araştırma Merkezi, Bell Laboratuarlarının ancak %2'si denecek büyüklükteydi. Bu sebeple çalışmanın bitmesi için gerekli süre 20 yıl olarak tahmin ediliyordu. Genichi Taguchi, bu süreyi kısaltmak amacıyla, tüm araştırma personeli için metotların tekrar gözden geçirilmesini, incelenmesini ve faktöriyel tasarımların kullanılması fikrini öne sürdü. Bu çalışma sonucunda süre 4 yıla kadar düşürüldü ve Taguchi etkili bir metod geliştirmiş oldu [25].

Deneysel tasarımda Taguchi, üstün çabalarıyla imalat sektöründeki kalite anlayışının gelişmesinde büyük bir rol üstlenmiştir [33].

Taguchi, endüstriyel alanda yapıcı ve kalıcı uygulamalar ile imalat sektörünün de dikkatini çekmiş ve Japonya'da yeni ve başarılı uygulamaları ile deneysel tasarım anlayışının oturmasında önemli bir etkiye sahip olmuş ve bu sayede kalite kontrol sistemleri geliştirerek tüm dünyada araştırmalarda adı geçen birisi olarak tarihe geçmiştir.

1.1.2. Taguchi kalite kontrol sistemi

Taguchi'nin kalite kontrol sisteminde, kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler, Şekil 1.2'de gösterildiği gibi On-line (üretim içi) kalite kontrol ve Off-line (üretim dışı) kalite kontrol olmak üzere 2 grupta incelenmektedir [25].



Şekil 1.2. Taguchi kalite kontrol sistemi

Üretim içi kalite sistemi imalat süreci, teslim, servis gibi aşamalardan oluşurken; üretim dışı kalite sistemi de pazar araştırması, ürün ve proses geliştirme gibi merhalelerden meydana gelmektedir. Yani Taguchi, bir yandan da önemli olanın sadece imalat ve imalattaki ortaya çıkan koşulların değil, imalat öncesi şartların ve bu konudaki tedbirlerin de önemli olduğunu ifade etmektedir. Bu sayede deneysel tasarımın daha etkili olacağını savunmuş ve kalite kontrol sisteminde yeni bir çığır açmıştır. Eski zamanlarda kalite teknikleri, istatistiksel kalite kontrol gibi yöntemlerin gelişmemesi, halk arasındaki kitleselleşme gibi sebeplerden dolayı halk nezdinde ürün kalitesi, kalite kontrol, ıskarta vb. kavramlar önemli değildi. On-line kalite kontrol yöntemleri ön planda idi.

Günümüzde ise, teknolojinin gelişmesi ile birlikte insanların ihtiyaçlarında da artış gözlenmektedir. Artık müşteriler maksimum fayda beklemekte, kalite koşullarını ön planda tutmakta ve kendi beklentilerini en üst düzeyde tutmaktadır [3]. Bu yüzden,

ürün imalatı öncesi kullanılan yöntemler değer kazanmıştır. Bu sebeplerden dolayıdır ki, Taguchi kalite kontrol sisteminin ve bilhassa off-line kalite sisteminin önemi kat kat daha artmış bulunmaktadır.

1.1.2.1. On-line (Çevrim içi) kalite kontrol

Ürün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetlerindendir. On-line kalite kontrol faaliyetleriyle üretim direkt olarak takip edilmekte, kalitenin kaybının nasıl ve ne şekilde olduğu ölçülmekte ve potansiyel problemlerin etkileri belirlenmektedir. Üretim boyunca değişkenliğe sebep olan ve böylelikle ürün kalitesini etkileyen kaynakları;

- Malzemeden (ham ve yardımcı malzeme) ve satın alınan ekipmandan kaynaklanan değişkenlikler,
- İş akışından, kullanılan teçhizat, makine arızalarından vb. kaynaklananlar,
- Yöneticilerden ve personelden kaynaklananlar,
- Üretim sürecinden kaynaklanan değişkenlikler şeklinde sıralayabiliriz [20].

1.1.2.2. Off-line (Çevrim dışı) kalite kontrol

Pazar araştırması ile ürün ve üretim sürecinin geliştirilmesi esnasında yapılan kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin öncesinde gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır [25].

Off-line kalite kontrol sisteminin diğer bir faaliyet alanı da müşterilerin ihtiyaç ve talepleri doğrultusunda ürün kalitesini belirlemektir; çünkü kalitenin diğer bir tanımı da müşteri memnuniyetidir. O yüzden bu tür imalat dışındaki tedbirler, kaliteyi amaçlayan bir sistemde olması gereken esaslardandır.

Taguchi'nin kalite kontrol sisteminde yukarıdan da anlaşılacağı gibi off-line kalite kontrol, diğerinden farklı olarak Proses tasarım ve Ürün tasarımı olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Taguchi, bu iki tasarımı da kendi içinde kaliteyi korumak amacıyla Sistem tasarımı, tolerans tasarımı ve parametre tasarımı olmak üzere üçe ayırmıştır [1]. Her iki tasarımda da bu aşamalar mevcut olduğu için, ona göre bir yaklaşım izlenmesi gerekmektedir.

1.1.2.2.1. Sistem tasarımı

Sistem tasarımı metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenir, bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir. Bir diğer ifade ile, sistem tasarımı aşamasında ürünün ya da prosesin fonksiyonunu yerine getirebilmesi için gerekli sistemler ve teknolojiler belirlenir [37].

Üretilecek ürünle ilgili; pazarın tanımlanması, buluşların değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ile ilgili tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur [8]. Çünkü, Sistem tasarımı, ilgilenilen ürünün veya sürecin temel fonksiyonel prototip modelini üretmek için mühendislik bilgilerinin kullanımını gerektirir ve bir takım yenilikleri içerir [3].

Ayrıca burada malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir [39].

1.1.2.2.2. Tolerans tasarımı

Deney tasarımında amaç, herhangi bir konu ile ilgili araştırma yapılırken gerekli optimum sonuçları zaman, para ve deney datalarını en ekonomik şekilde kullanarak sağlamak ve kalite değişkenin etkileyen en önemli değerleri bulmaktır. Belirlenen hedeften olabilecek sapma, kalite kaybına neden olmaktadır [11]. Oluşan kalite kaybı ve müşterilerden talepler doğrultusunda parametrelerin tekrar gözden geçirilmesi ve sapmayı en aza indirecek tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Tolerans tasarımı bu aşamada devreye girmektedir. Tolerans tasarımı, parametre tasarımında hedeflenen değerlere ulaşılamadığı takdirde, minimum derecede kayıplı toleranslar belirleyerek ve sapmaları azaltarak hedeflere ulaşılmayı sağlayan bir yöntemdir. Sistemi belirlerken aynı zamanda sistemi oluşturan, hedefi etkileyen faktörlerin de artırılmaması gerekir; çünkü bu durumda faktörler arttıkça deneyde, üretim hattındaki tezgahların veya deney malzemelerinin kullanımında maliyet artışı gözlenecektir. Bu sebeple belirlenecek sapmaların optimum düzeyde olması gerekir. Tolerans tasarımı, ekonomik boyutlarıyla önemli olmakla beraber kalite boyutları da göz ardı edilmemelidir. Hedef değere ulaşmak için 3 tip yaklaşım belirlenmiştir:

1. En Büyük-En İyi Yaklaşımı: Bu tip yaklaşımda kalite değişkeninin herhangi bir üst sınırı olmamakla beraber, değişken değeri büyüdükçe verimlilikte artış görülür. Buna örnek olarak spesifik enerji sönümleme oranı, bina mukavemeti, malzeme dayanıklılığı verilebilir.

2. En Küçük-En İyi Yaklaşımı: Bu karakteristik tipinde üst sınır aranmamakla beraber, alt sınır şartı vardır. Tolerans sınırı düştükçe, verimlilikte artış gözlenir. Örnek olarak, malzemenin ıskarta sayısı, hurda miktarı verilebilir.

3. Hedef Değer En İyi: Sapmaların her iki boyutta da olabildiği tolerans tipidir. Alt veya üst sınırı yoktur; fakat önceden belirlenmiş olan değere yakın olması gerekmektedir [3].

Bu yaklaşımlar sonucunda istenen karakteristikler belirlenebilmektedir.

1.1.2.2.3. Parametre tasarımı

Ürün tasarımı ve proses tasarımında en önemli aşamayı oluşturan kısımdır. Ürün kalitesini iyileştirmede önemli bir adımdır.

Genichi Taguchi etkili parametre dizaynının liderlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Parametre tasarımı, üretim ve proses dizaynı sırasında, varyasyon ve kontrol edilemeyen faktörlere olan duyarlılığın azaltılması için kullanılan bir yaklaşımdır. Taguchi tasarımları, yerinde ve zamanında kullanıldığı zaman olumlu sonuçlar vermektedir.

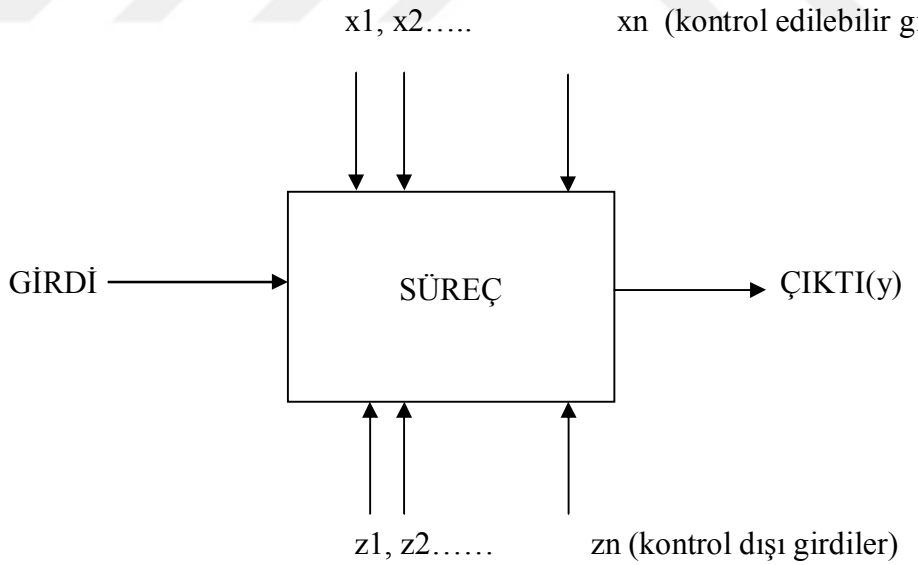
Ürün parametre tasarımı, ürün parametreleri, malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey örnekleri gibi kriterlerin optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Sağlam parametre tasarımında temel amaç, proses hedef değerini korurken varyasyonu minimize edecek faktör seviyelerini belirlemektir.

Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise değişiklikler karşı duyarsız hale getirilmeye çalışılır. Proses tasarımında amaç, sürekli aynı çıktıyı üretmektir. Üretim dizaynında ise temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli bir performans ölçüsü yakalamaktır [25].

1.2. Taguchi Deney Tasarımı

Bugünün ekonomisinde düşük maliyetli, yüksek kalitede, müşteri güvenini artıran üretimler veya hizmetler sunmak rekabet ekonomisinde tutunabilmenin şartlarından görülmektedir. Kalite uzmanları, bunu sağlamanın en iyi yolunun, ürün tasarımındaki hataları azaltmak ve ürün tasarımına odaklanmak olduğunu ifade etmişlerdir. Bu da aslında kaliteyi kontrol ile sağlamak yerine tasarım aşamasında sağlamanın daha kolay olacağını göstermektedir [30].

Kaliteyi tasarlamak, üretilmiş ürünü muayene ile iyi veya kötü olarak ayırmaktan ve kötü olarak ayrılmış ürünleri yeniden iyileştirip iyi ürün haline getirmekten daha ucuzdur. Bundan dolayı, yeni anlayış kaliteyi önceden planlayarak, düşük maliyetli ve yüksek kaliteli ürünler üreten, istatistiksel analiz yöntemlerini kullanan ve bu sayede üretimi ve satışı artıran bir anlayış olmalıdır [38]. Bu anlayışın devamlılığını sağlayan en önemli etkenlerden birisi deney tasarımlarıdır. Çünkü deney tasarımları sayesinde verimlilik artışı, yüksek kalite gibi sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu anlamdaki süreç Şekil 1.3'te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Genel süreç modeli [24]

Deney tasarımında ön plana çıkan kavramları şu şekilde tanımlayabiliriz:

1. Yanıt Değişkeni: Deneyde, ölçülmesi düşünülen sonuç veya çıktıdır. Y şeklinde gösterilir. Örnek verilecek olursa; bir ülkedeki insan ömründe, ülkenin iklimi, çalışma şartları, psikolojik meseleler vs. etkilidir. Burada insan ömrü, yanıt

değişkenidir. İnsan ömrü bu tür etkenlere bağlı olmakla beraber değişkenlik arz edebilmektedir.

2. Faktör: Deneye dâhil edilen, kalite değişkeni üzerinde etkili olabileceği düşünülen, araştırmacı tarafından belirlenen kontrol edilebilen değişkenlerin her biri olup, büyük harflerle gösterilir. (A,B gibi) Faktörler, sıcaklık, basınç, hız gibi nicel ve sürekli büyüklükler olabileceği gibi, bir malzemenin cinsi, bir cihazın türü gibi nitel ve kesikli kavramlar da olabilir.

3. Düzey: Faktörlerin deneyde alması planlanan değerlerinin her biridir. Deneyler 2, 3 veya 4 düzeyli olabilir. Bu düzeyleri deneyin planlayıcısı belirler. 2 düzeyli deneylerde genellikle nicel olarak küçük değer alt düzey, büyük değer ise üst düzey olarak kabul edilir.

Düzeyler 1, 2, 3, 4 gibi rakamlarla gösterilebileceği gibi 2 düzeyli deneylerde (-) ve (+) veya (-1) ve (+1) şeklinde de gösterilebilir. Her bir faktörün düzey sayısı ise o faktörü simgeleyen küçük harf ile gösterilir. (a, b gibi) Deneyler genellikle eşit düzeyli faktörlerden oluşmakla birlikte farklı düzey sayılarına sahip faktörleri olan karışık düzeyli deneylerde tasarlanabilir.

4. Deneme: Faktör kombinasyonunun test edildiği tek bir deneydir.

5. Hata: Aynı faktör olasılıklarının denenmesi halinde yanıt değişkeninde görülen sapmadır.

6. Gürültü: Bir deneyde kontrol dışı olan veya kontrol etmesi güç olan etkilere ‘gürültü’ denir. Mühendislik uygulamaları esnasında ortam nemi, bir sistemdeki iletkenlerin direnci gibi faktörler sık karşılaşılan gürültü faktörleridir.

7. Tekrar: Deneyin bütününün ya da bir kısmının birden fazla kez test edilmesidir. Hatayı ve gürültü faktörlerini belirleyebilmek için genellikle deneyler tekrarlı yapılır. Bir deneyin tekrar sayısı r ile gösterilir. Tekrar ile tekrarlı ölçüm birbirine karıştırılmamalıdır.

8. Etki: Bir faktörün kalite değişkeni üzerinde değişiklik yapabilme yeteneğinin büyüklüğüdür.

9. Etkileşim: Bir faktörün kalite değişkenine olan etkisinin faktörlerin düzeylerine bağlı olması durumunda, birbirleriyle olan etkilerinin ortaya çıkmasıdır [38].

Gürültü faktörleri tabloda gösterildiği gibi 3 grupta incelenmektedir:

1. İç Gürültüler: Malzeme veya üründeki kötüye gidişler, yıpranma, zaman ve müşterinin kullanımı sonucu oluşan ürün aşınması gibi değişiklikler örnek verilebilir.

2. Dış Gürültüler: Isı, nem oranı, voltaj ve toz gibi kontrol edilemeyen çevresel koşullardaki değişikliklerdir.

3. Birimler Arası (parçalar arası) Gürültü: Aynı prosedürlere göre imal edilmiş olunmasına rağmen, birimden birime, aynı ürünler arasında görülen hammadde, üretim sürecinden kaynaklanan değişkenliklerdir.

1.2.1. Gürültüler

Gürültüler, kalite kaybında sonuçların sapmasına sebep olabilen, kontrol edemediğimiz değişkenlerdir. Taguchi metodu gürültü etkenlerini ortadan kaldırmayı amaçlar. Aynı zamanda ürünün fonksiyonel özelliklerine karar verip, gürültü sebeplerini en aza indirmeyi amaçlar [21].

Taguchi ürün ve süreç tasarımında etkili olan faktörleri Tablo 1.1'de olduğu gibi kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak iki gruba ayırmış, ürün ya da süreçlerin fonksiyonel özelliklerinde farklılık (varyasyon) oluşturan ve kontrol edilemeyen etkenleri ise gürültü etkenleri olarak adlandırmıştır.

Tablo 1.1. Gürültüler [21]

GÜRÜLTÜLER		
İÇ GÜRÜLTÜLER	DIŞ GÜRÜLTÜLER	PARÇALAR ARASI GÜRÜLTÜ
Üründeki Kötüye Gidişler	Çevre Sıcaklığı	Aynı parçadaki farklı durumlar
Makine Ömrü	Müşteri Kullanımı	
Oksidasyon	Mevsimler	
Yıpranma	Titreşim	

Kontrol edilebilen faktörler, deney sırasında tasarımcının belirlediği, sonuca etkisi olduğu düşünülen parametrelerdir. Kontrol edilemeyen faktörler ise, bizim etki edemediğimiz, engellenmesi zor olan parametrelerdir. Ayrıca kontrol edilebilmesi, yüksek maliyet ve uğraşı gerektirir.

Bir fırında, fırını kullanma süresi dış gürültü, zamanla kullanımdan kaynaklanan yıpranmalar, yemeğin kalma süresi iç gürültü, pişen yemeklerdeki farklılıklar ise parçalar arası gürültüye örnek gösterilebilir.

1.2.2. Sinyal gürültü oranı (S/N)

Taguchi'nin kontrol edilen faktörlerin ve kontrol edilemeyen faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisini ölçmek için ortalama ve standart sapma ile birlikte kullandığı performans istatistiklerinden bir tanesi de S/N (İşaret / Gürültü) olarak adlandırılan performans istatistiğidir.

Verilerin anlaşılmasını kolay hale getirmek ve toplanabilirliğini sağlamak için genellikle performans istatistiği olarak ortalama yerine S/N oranını kullanılır. Böylece, ortalama ile standart sapma, aynı analiz tekniği ile analiz edilmiş olur. S/N oranı en basit ifade ile ortalamanın standart sapmaya oranı olarak kabul edilir. Bu oranın kullanılması, performans karakteristiğinin ölçülmesinde ortalama veya standart sapmanın tek tek kullanılmasına göre daha dengeli ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar [22].

Taguchi Deney Tasarımı metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder [23].

S/N oranı, kontrol edilen etkenler üzerinde gürültü etkenlerinin etkilerini ölçerek, kalite özelliğindeki değişimin duyarlılığını göstermektedir. S/N oranına göre, deney düzeninden en iyi koşul belirlenebilmektedir. Bu amaçla, herhangi bir deney düzenindeki sonuçlardan en yüksek S/N oranı seçilmelidir. Taguchi'ye göre en yüksek S/N oranlı değişkenler en kaliteli ürünü belirleyecektir [3].

S/N oranlarında kullanılan çeşitli tipler vardır. Bunlar problemde istenen sonuç veya çıktılara göre değişiklik göstermekle beraber, araştırmacının ulaşmak istediği sonucun kalitesine göre farklılık gösterir.

Taguchi'nin performans karakteristiğinin olması istenilen durumlarına göre geliştirdiği S/N oranları içerisinde hepsi kullanılmamaktadır.

1.2.3. Ortogonal dizinler

Ortogonal dizin ilk kez 1897'de Fransız matematikçi Jacgues Hadamard tarafından matematiksel bir buluş olarak ortaya konmuştur. Ortogonal diziler temel olarak hangi denemede, hangi faktörün hangi düzeyinin kullanılacağını belirler [3].

Çalışmalarda çok sayıda parametre ve düzey bulunduğundan yapılan deneyler genelde çok maliyetli ve yorucu oluyordu. Deneylerin bütün ihtimallerinin denenmesi yerine ortogonal dizinleri kullanarak sadece bazı deneylerin yapılmasıyla, S/N oranı en yüksek olan parametre tercih edilip deneye etkisi olup olmadığı bilinebilmektedir [27].

Ortogonallik kavramı istatistikte denge anlamında kullanılmaktadır. Yani diziye atanan faktörler eş zamanlı bir şekilde oluşturularak deney planı kurulur. Bu yüzden faktörler arasında uygun bir etkileşim olabilmekte ve deneylerin daha rahat yapılabilmesine imkân sağlamaktadır [22].

Ortogonal dizinler sayesinde sayısı binlere varacak derecede deneyler incelenip, etkin ve doğru sonuçlar alınabilir. Bu dizinler ile yapılan deneylerin faktöriyel deney tasarımı ile yapılan deneylerden daha sağlam cevaplar elde edilmektedir. Her deneyde olduğu gibi bu dizin kullanımlarında da hatalar oluşabilir; fakat yok derecede önemsiz sayılmaktadır. Taguchi, deneyleri tasarlarken, düzey durumlarına göre tek düzeyli tasarımlar ve karışık seviyeli tasarımlar olarak ikiye ayırmıştır [28].

Faktörlerin bütününün eşit düzey sahip olduğu tasarımlar tek düzeyli tasarımlar olara adlandırılır. Karışık düzeyli tasarımlarda ise parametre düzeyleri birbirinden farklılık gösterir [31]. Bazı durumlarda eğer araştırmacı, uygun görürse karışık düzeyli tasarımlarda farklı düzeydeki parametreyi iptal edip, yeni parametreler ile daha kolay bir şekilde deney tasarımını yapabilir [32].

Ortogonal dizinler $L_x(Y)^z$ olarak ifade edilir. Bu dizinler Latin kareden oluşturulduğundan L Latin kareyi gösterir. X, yapılacak deney sayısını veya deneyde kullanılan faktör olasılıklarını gösterir. Y, kolonlardaki seviye sayısını gösterir. Z ise, dizindeki sütun sayısını gösterir [40].

Genellikle karşılaşılan örneklerde parametre seviyeleri iki seviyeden beş seviyeye kadar değişebilmektedir; fakat en çok tercih edilen iki veya üç seviyeli olanlardır. Bazı durumlarda da iki çeşit seviyenin de bulunduğu karışık seviyeli dizinler de kullanılabilmektedir. En çok kullanılan 2 seviyeli ortogonal dizinler L_4, L_8, L_{16}, L_{32} olmaktadır. En çok kullanılan 3 seviyeli ortogonal dizinler ise L_9, L_{18}'dir. Karışık seviyeli tasarımlarda ise, L_{18}, L_{36}, L_{54} gibi dizinler de mevcuttur [31].

Taguchi, kullandığı ortogonal dizinler yardımıyla çok sayıda deney yapılarak elde ettiği sonuçları, daha az sayıda deneyler ile elde etmiştir. Tablo 1.2'de görüleceği gibi çok daha pratik sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 1.2. Taguchi deney tasarım kombinasyonları [4]

Seviye	Faktör	Tam Faktöriyel Tasarım		Taguchi Metodu
2	2	4	(2^2)	4
3	2	8	(2^3)	4
4	2	16	(2^4)	8
7	2	128	(2^7)	8
4	3	81	(3^4)	9

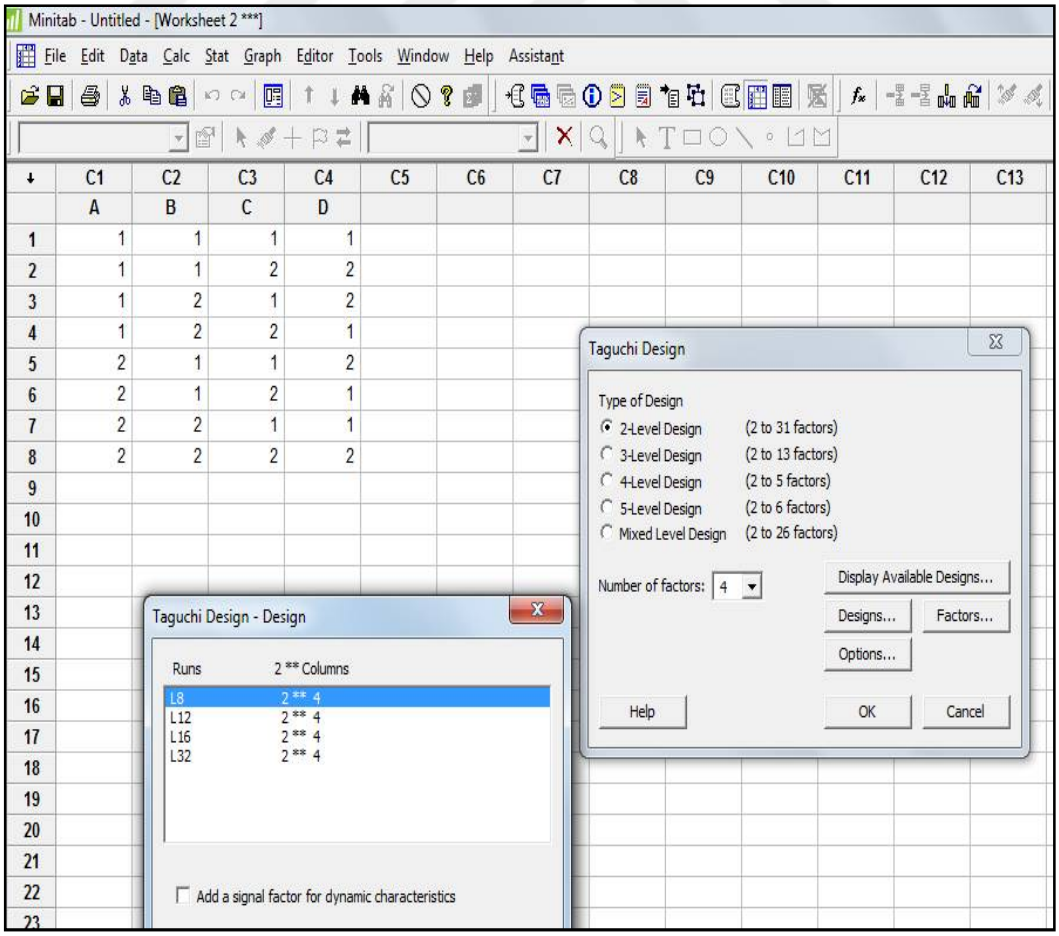
Tablo 1.2'de görüldüğü üzere Taguchi; 2 faktör ve 2 seviyenin bulunduğu bir deneyde 4 deneme, 3 faktör ve 2 seviyeli bir deneyde 8 deneme yapılacak iken 4 deneme, 4 faktör ve 2 seviye içeren bir deneyde 16 deneme olacak iken 8 deneme yapılmaktadır. 15 faktör ve 2 seviyeli başka bir deneyde ise, 32768 deneme yapmaktansa, sadece 16 deneme ile istenilen sonuçların elde edilebileceğini kanıtlamıştır. Yine de dikkat edilmesi gereken nokta, deney sahibinin seçtiği parametre ve seviyelerde hassas davranmasıdır [4]. Ortogonal dizinlerin kullanılması ile beraber deneylerdeki kolaylık artmış ve planlanabilir tasarımların sayısının

yükseldiği görülmektedir. Bu sayede deneylerdeki uygulanabilirlik ve metodolojik noktalardaki değerler netlik kazanmaktadır [29].

1.2.3.1. L_8 ortogonal dizini

L_8 (2^7) ortogonal dizini 7 faktörlü ve 2 seviyeli deneylere kadar uygulanabilmektedir. Şekil 1.4'te ifade edildiği gibi 8 deneyin yapıldığı ve dolayısıyla 8 farklı deney kombinasyonun ortaya çıktığı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Respons değişkeni ise performans karakteristiği olarak da adlandırılmaktadır.

Günümüzde kullanılmakta olan SPSS, Minitab gibi istatistik programlarında ortogonal dizinler daha da detaylı kombinasyonlarda kullanımı artmıştır. Örneğin, 4 faktörlü ve 2 seviyeli çalışmalarda genellikle L_{16} ortogonal serisi tavsiye edilirken Minitab 16 programında bu çalışmanın L_8 ortogonal serisi ile de yapılabildiği görülmektedir. Bu çalışmalar ile deney kombinasyonları oluşturularak daha yüksek tahminli sonuçlar elde edilebilmektedir.



Şekil 1.4. Minitab programında $L_8(2^4)$ dizini seçimi

Tablo 1.3. $L_8(2^7)$ Ortogonal dizini [39]

ORTOGONAL DİZİN L_8 (2^7)								RESPONS DEĞİŞKENİ
Deneme	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	Y1
2	1	1	1	2	2	2	2	Y2
3	1	2	2	1	1	2	2	Y3
4	1	2	2	2	2	1	1	Y4
5	2	1	2	1	2	1	2	Y5
6	2	1	2	2	1	2	1	Y6
7	2	2	1	1	2	2	1	Y7
8	2	2	1	2	1	1	2	Y8

Tablo 1.3'e bakıldığında;

1. kolonda A parametresinin 1. düzeyi 4 defa tekrar, 2. düzeyi de 4 defa tekrar edilir.

2. kolonda B parametresi 1.düzeyi 2 kez tekrar etmiş, sonra 2.düzeyi 2 kez tekrar etmiş, sonra aynı şekilde sıralama devam etmiştir.

3. kolonda C parametresinin 1.düzeyi 2 kere tekrar edilmiş, sonra 2.düzeyi 4 kere tekrar ve sonrasında 1.düzeyi 2 kere daha tekrar edilmiştir.

4. kolonda D faktörünün 1. düzeyi 1 kere, sonra 2. düzeyi 1 kere, daha sonra 1. düzeyi 1 defa tekrar edilmektedir.

5. kolonda E parametresinin 1. düzeyi 1 kez, sonra 2. düzeyi 1 kez tekrarlanmış, sonra farklı kombinasyonlar ile devam etmiştir.

6. kolonda F parametresinin 1. düzeyi 1 kez, sonra 2. düzeyi 1 kez tekrarlanmış, akabinde farklı olasılıklar meydana gelmiştir.

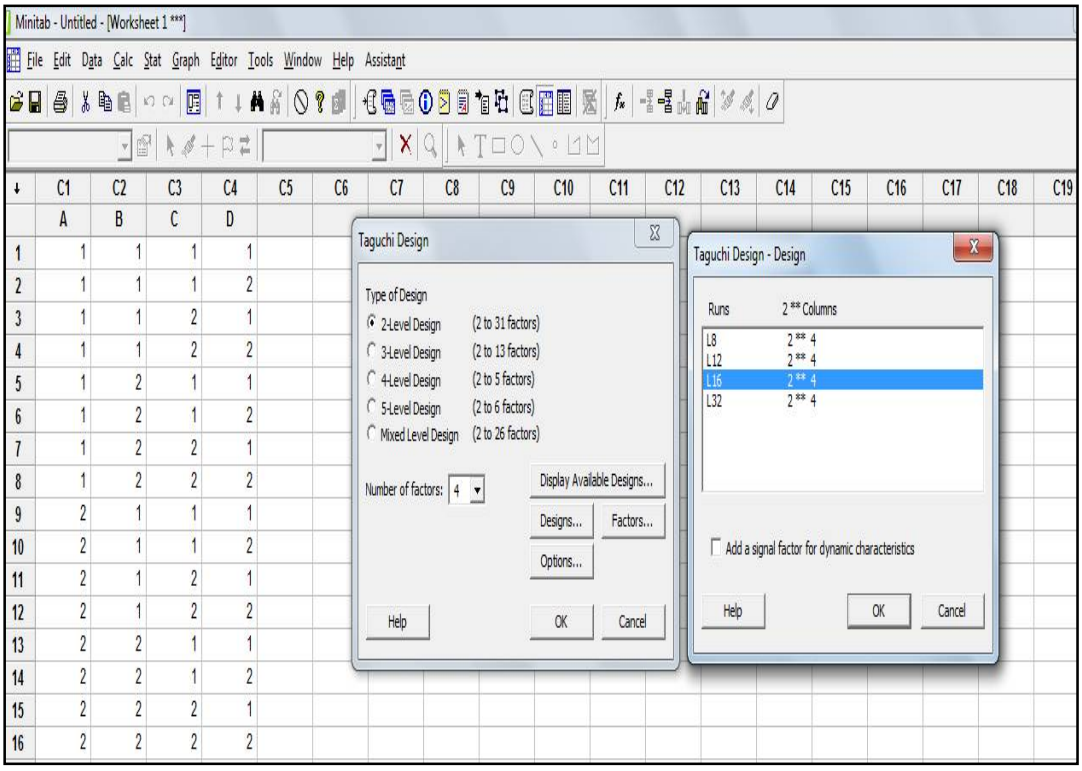
Tablo 1.3 incelendiğinde Tablo 1.4'teki kombinasyonlar oluşmaktadır. Bu kombinasyonlar uygulama seviye ve sırasını göstermektedir. A1 ifadesi A faktörünün 1. seviyesini, A2 ifadesi ise A faktörünün 2. seviyesini göstermektedir. B1 ifadesi B faktörünün 1. Seviyesini ifade etmektedir.

Tablo 1.4. Deney kombinasyonları

Deneme	Kombinasyonlar
1	A1BC1D1E1F1G1
2	A1B1C1D2E2F2G2
3	A1B2C2D1E1F2G2
4	A1B2C2D2E2F1G1
5	A2B1C2D1E2F1G2
6	A2B1C2D2E1F2G1
7	A2B2C1D1E2F2G1
8	A2B2C1D2E1F1G2

1.2.3.2. L_{16} ortogonal dizini

L_{16} ortogonal dizini, genellikle 2 seviyeli faktörler için kullanılan bir dizindir. $L_{16}(2^{15})$, $L_{16}(2^4)$ gibi varyansları bulunmaktadır. Bu dizinde faktörlerin etkileşim sahası detaylı olarak görünmektedir. Bu sebeple tercih edilen bir dizindir. Tablo 1.5'teki $L_{16}(2^4)$ dizilimi programda Şekil 1.5'te oluşturulmuştur.



Şekil 1.5. Minitab programında L_{16} seçimi

Oluşturulan deney planı Tablo 1.5'te tablolaştırılmıştır. 16 kombinasyon ortaya çıkmış ve yanıt değişkeni 'Y' olarak ifade edilmiştir.

Tablo 1.5. $L_{16}(2^4)$ dizilimi

Deney no	A	B	C	D	Sonuç
1	1	1	1	1	Y1
2	1	1	1	2	Y2
3	1	1	2	1	Y3
4	1	1	2	2	Y4
5	1	2	1	1	Y5
6	1	2	1	2	Y6
7	1	2	2	1	Y7
8	1	2	2	2	Y8
9	2	1	1	1	Y9
10	2	1	1	2	Y10
11	2	1	2	1	Y11
12	2	1	2	2	Y12
13	2	2	1	1	Y13
14	2	2	1	2	Y14
15	2	2	2	1	Y15
16	2	2	2	2	Y16

1.2.4. Varyans analizi (ANOVA)

Sir Ronald Fisher 1930'da tarımla ilgili deneylerin sonuçlarını değerlendirmek üzere geliştirmiştir. Varyans analizi, deneyde teste tabi tutulan parametreler arasındaki ortalama değerlerin etkisini ortaya koyan bir istatistiksel bir yöntemdir. Aynı zamanda istenen parametrelerin serbestlik derecesini, kareler toplamını, kareler ortalamasını, F değerini, hesaplamada yardımcı olur [36]. Fisher tarafından bulunduğu için F testi de denmektedir ve Fisher, ortalama etkisinde en etkin kararın Varyans analizi ile mümkün olabileceğini ifade etmiştir [28, 33]. Varyans analizi sayesinde faktör etkileşimleri ve faktörlerin respons değişkenine olan etkileri hesaplanıp çözüme katkı sağlanır. S/N'nin hesaplanmasıyla total etkiler, kareler ortalaması bulunarak istatistikî bir karar alınmış olur [5].

ANOVA (Analysis of variance), en nesnel yöntem olduğu için deney tasarımlarında sıklıkla kullanılan, tatmin edici cevaplar üreten ve objektif sonuçlar veren istatistiksel bir analiz yöntemidir [36].

1.3. Enerji Sönümleyici CFTP Çubuk Tasarımı

Deneylerde kullanılan faktörlerin temin edilirken Doç.Dr Abdulkadir Cengiz'in "Kompozit Çubukların Enerji Sönümleyici Özelliklerinin İncelenmesi" adlı doktora tezinden yararlanılmıştır.

1.4. Faktörlerin ve Seviyelerinin Belirlenmesi

SES karakteristiğini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde beyin fırtınası tekniği kullanılmış ve bu faktörler balık kılçığı diyagramı ile gösterilmiştir.

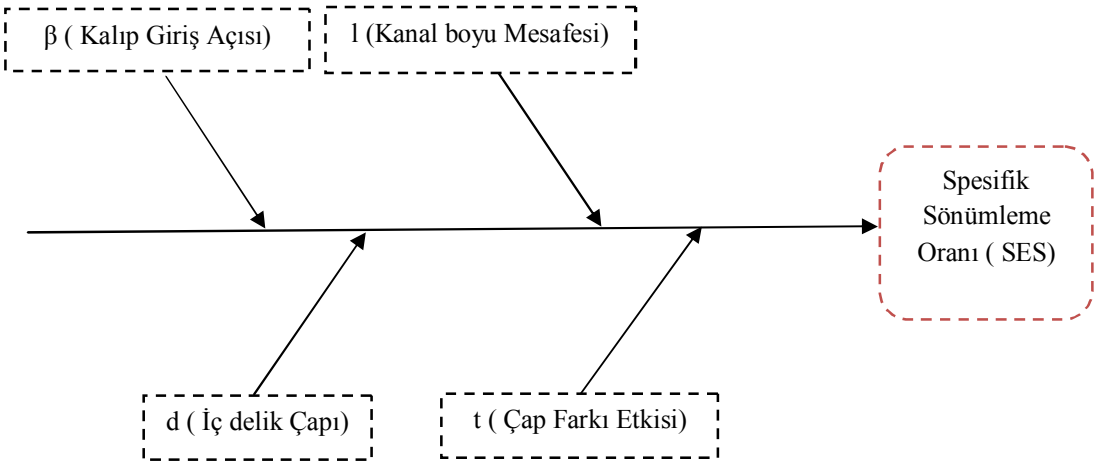
1.4.1. Beyin fırtınası

Problemin tespiti aşamasından sonra faktörler belirlenirken ve faktörlerin hangi değerleri kullanılacağına karar verirken o probleme kafa yoran ve alanında uzmanlaşmış kişiler söz sahibi olur. Çalışmanın her aşamasını bizzat kendileri takip ettiklerinden yapacakları ilk ve en etkili teknik " brain storming" adıyla da bilinen beyin fırtınası tekniğidir.

Beyin fırtınası tekniği, yapılacak çalışma ile ilgili personelin kendi eleştiri ve önerilerini ifade ederek yaptıkları toplantı anlamına gelmektedir. Fikirler dile getirildikten sonra oylama usulü ile ilgili faktör ve parametrelerin seviyeleri belirlenerek çalışma hızlandırılır. Genellikle etkin olarak kullanılan bir metottur [8].

1.4.2. Balık kılçığı diyagramı

Balık kılçığı diyagramı, beyin fırtınası ile karar verilen parametrelerin gösterildiği bir diyagramdır. Sebep-sonuç ilişkisini ifade ettiği için sebep sonuç diyagramı olarak da ifade edilmektedir. Bu diyagram Balık kılçığına benzetildiği için bu isim verilmektedir. Sürecin ve etkenlerin gösterilmesinde tutarlı ve yararlı bir yöntem olmasından tercih edilmektedir. Aynı zamanda Ishikawa diyagramı olarak da bilinen bu diyagram, problem tespitinde etkili olan parametrelerin sebep ve sonuçlarının gösterilmesinde önemli bir yer teşkil etmektedir [22].



Şekil 1.6. Faktörlerin balık kılçığı diyagramında gösterilmesi

Bu bilgiler ışığında belirlenen tasarım faktörleri ve seviyeleri Tablo 1.6'da gösterilmiştir. Görüldüğü üzere tasarımdaki faktörlerin SES oranına etkilerini ve parametrelere bağlı olarak SES oranını tahmin denklemini tespit etmek amacıyla 4 faktör ve faktörlere ait 2 seviye belirlenmiştir.

Bu faktörlerin seviyeleri: t (0,75 mm, 2,75 mm), β (0^o, 10^o), d (0 mm, 6 mm), l (5 mm, 10 mm) şeklindedir. Etkileşim olmadığı kabul edilmiş ve model ona göre belirlenmiştir.

Tablo 1.6. Tasarım faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2
t (mm)	0,75	2,75
β (^{o})	0	10
l (mm)	5	10
d (mm)	0	6

Taguchi modelini belirlerken faktörlerin serbestlik derecesi (V) dikkate alınmaktadır. Serbestlik dereceleri toplamının deney sayısından az olması gerekmektedir; çünkü ilerleyen aşamalarda ortogonal dizi serbestlik derecesine göre tercih edilecektir [34]. Aşağıda ifade edildiği gibi faktörün serbestlik derecesi, seviye sayısının (S) 1 eksiğine eşittir.

V=serbestlik derecesi

S=Seviye sayısı

$V_{faktör}=S_{faktör}-1$ (1.1)

Eğer etkileşim varsa, etkileşim olan faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımı ile bulunmaktadır.

$V_{faktör\ 1,\ faktör\ 2}=V_{faktör1}\ x\ V_{faktör2}$ (etkileşim varsa) (1.2)

1.5. Uygun Ortogonal Dizinin Belirlenmesi

Tablo 1.7'de gösterildiği üzere faktörlerin serbestlik dereceleri toplamı 4 olarak hesaplanmış ve bu değere en yakın olarak, 8 tane deney sayısı içeren L_8 (2**4) ortogonal dizini ön görülmüştür.

Tablo 1.7. Serbestlik derecelerinin hesaplanması

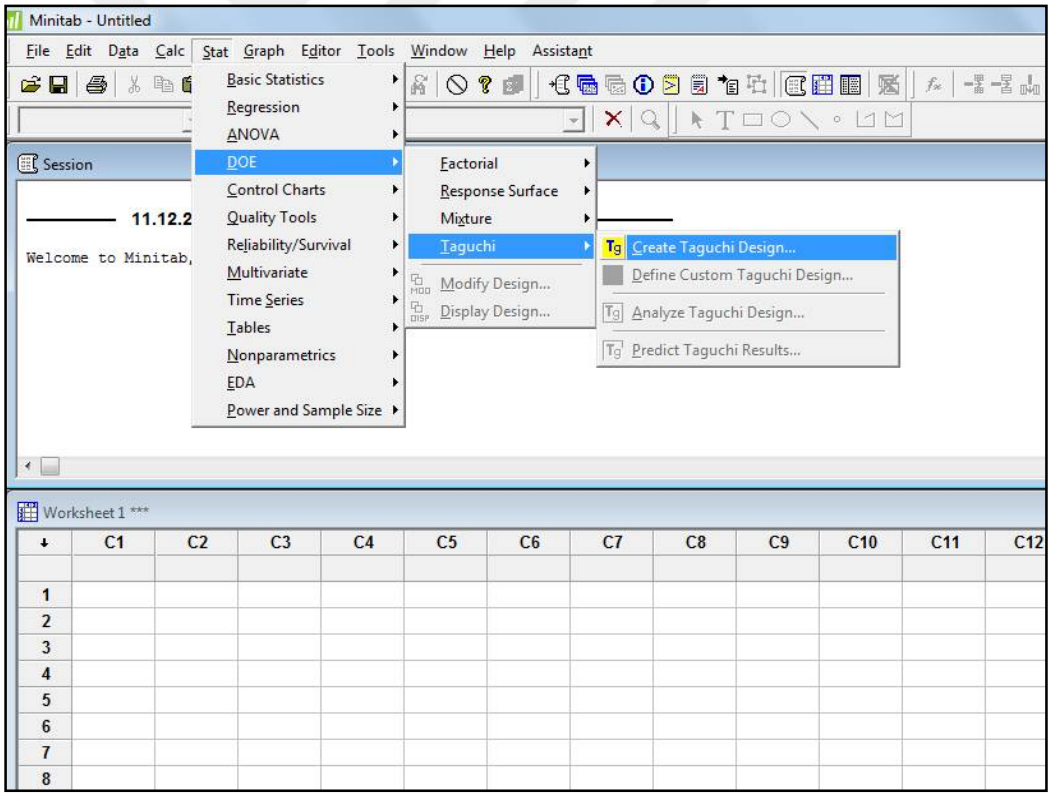
Faktörler	Serbestlik dereceleri
t (mm)	$V_t=S_t-1=2-1=1$
β (^{o})	$V_\beta=S_\beta-1=2-1=1$
l (mm)	$V_l=S_l-1=2-1=1$
d (mm)	$V_d=S_d-1=2-1=1$
Toplam serbestlik derecesi=4	
($VL_8=8-1=7>4$)	

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Verilerin Girilmesi ve Grafiklerin Oluşturulması

2.1.1. L_8 ortogonal dizini ile grafiklerin oluşturulması

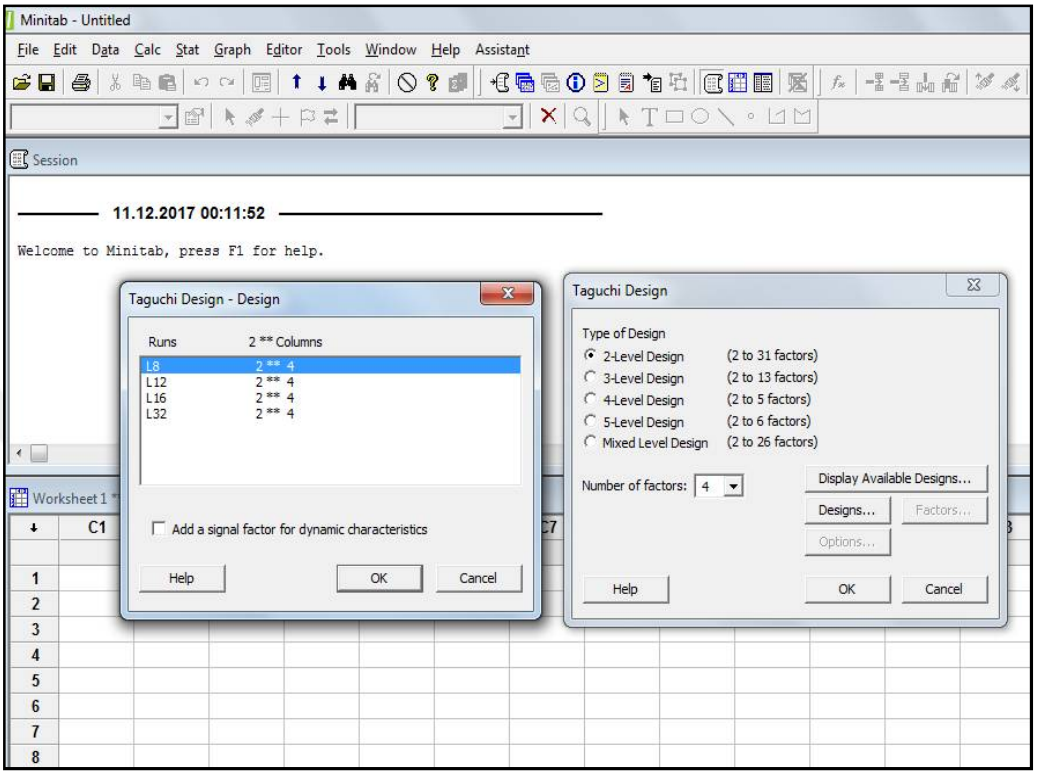
Faktörlerin serbestlik dereceleri hesaplandıktan sonra L_8 dizininin kullanılmasının daha uygun olduğu ifade edilmiştir; fakat hesaplanacak olan çıktılar ve sonuçlarda karşılaştırma yapabilmek ve tatmin olmak adına faktörler ve seviyelerin Minitab 16 programında ayrıca L_{16} ortogonal dizinine de uygulanması amaçlanmaktadır. İlerleyen safhalarda gerekli grafikler ve ilgili açıklamalar yapılacaktır.



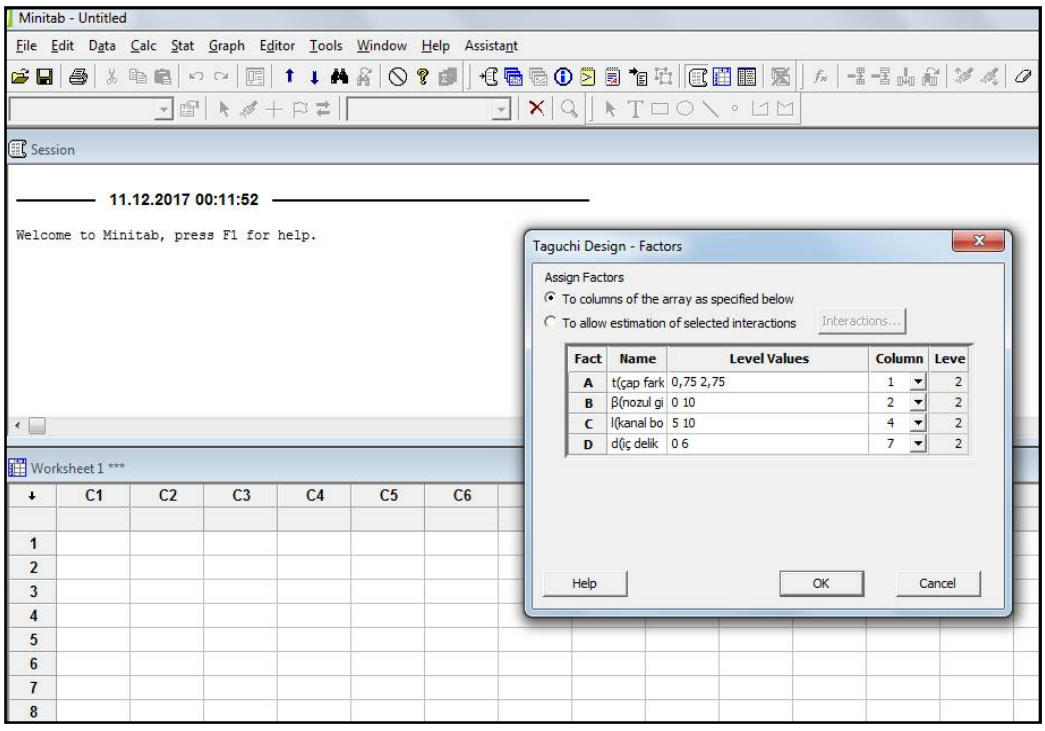
Şekil 2.1. Minitab programında Taguchi yaklaşımı

Programın giriş sayfasında sırasıyla Stat-DOE-Taguchi-Create Taguchi Design butonlarıyla model oluşturulmaya başlanmıştır. Faktör seviyeleri girilerek Şekil 2.1'de gösterildiği gibi ortogonal dizin seçilmiştir.

Şekil 2.2'de "Type of Design" kısmında "2-Level Design" seçildikten sonra "Number of factors" butonundan 4 faktörlü butonu tercih edilmiştir. Sonrasında Şekil 2.3'te gösterildiği gibi faktör ve seviyeler sisteme girilmiştir.

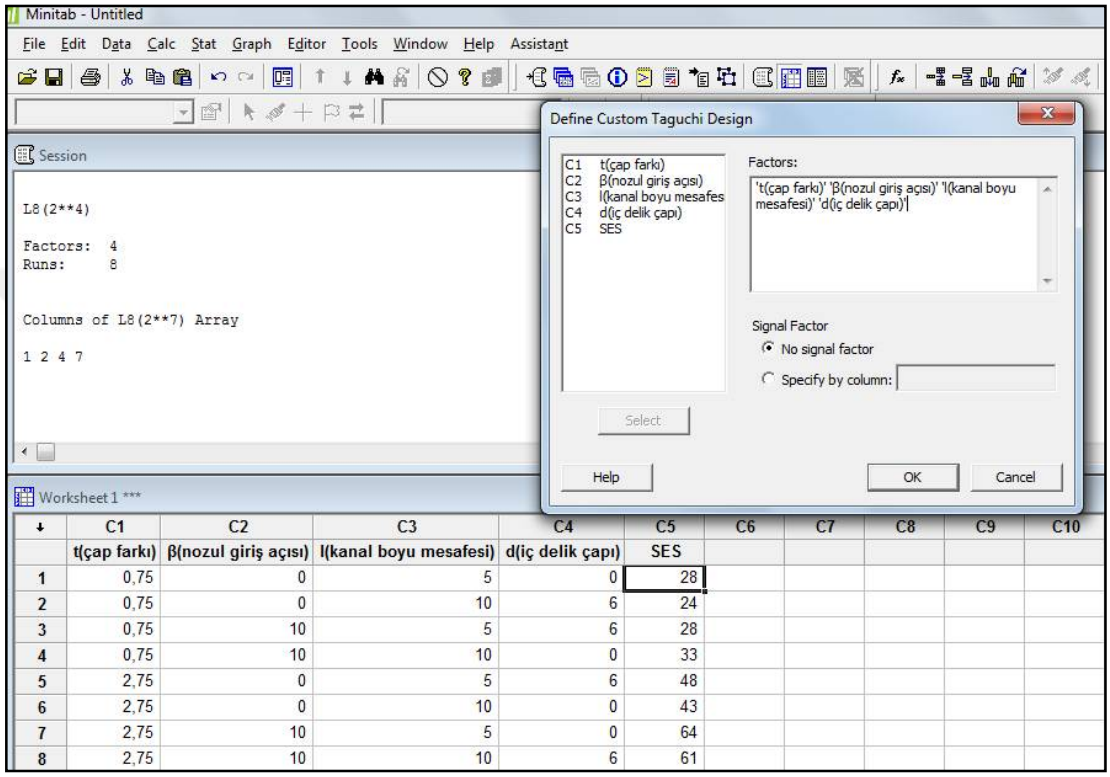


Şekil 2.2. Faktör seviyesi ve ortogonal dizinin seçilmesi



Şekil 2.3. Faktör ve seviyelerin sisteme girilmesi

Bu işlemler yapıldıktan sonra “Options” butonundan “Ok” e tıklanarak Şekil 2.4 te gösterildiği gibi t (çap farkı), β (nozul giriş açısı), l (kanal boyu mesafesi), d (iç delik çapı) faktörleri ve respons değişkeni olan SES değerleri girilerek ve “Define Custom Taguchi Design” kısmından “Ok”e tıklanarak verilerin sistemce tanınması sağlanmıştır.



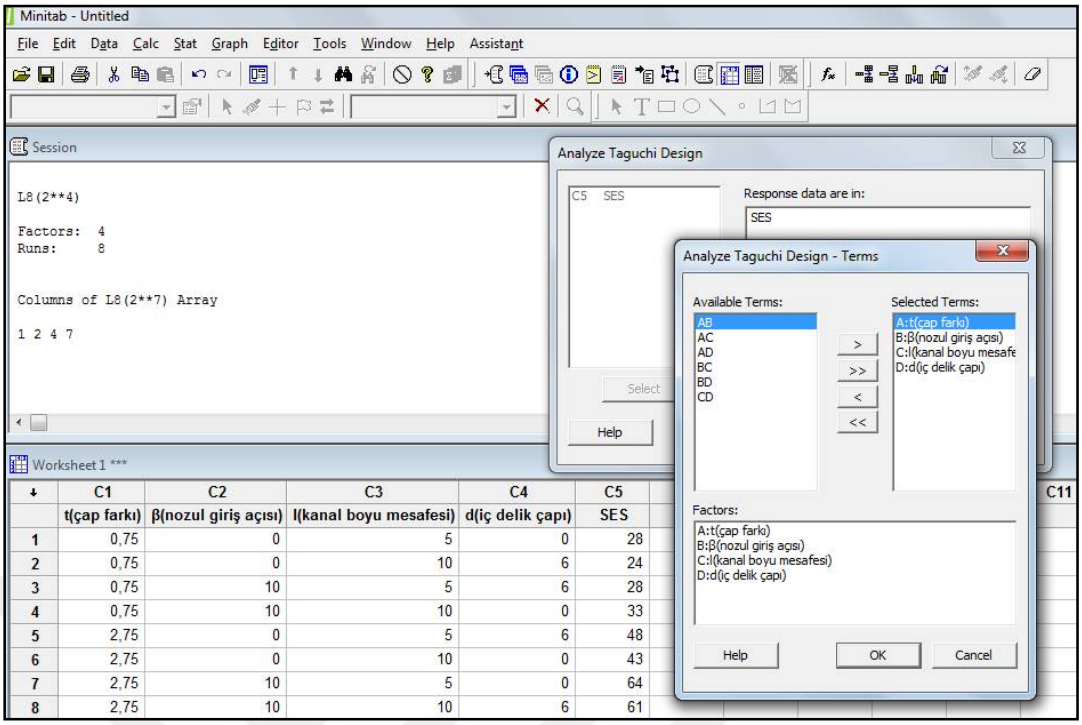
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	t(çap farkı)	β(nozul giriş açısı)	l(kanal boyu mesafesi)	d(iç delik çapı)	SES					
1	0,75	0	5	0	28					
2	0,75	0	10	6	24					
3	0,75	10	5	6	28					
4	0,75	10	10	0	33					
5	2,75	0	5	6	48					
6	2,75	0	10	0	43					
7	2,75	10	5	0	64					
8	2,75	10	10	6	61					

Şekil 2.4. Faktörlerin sistemce tanımlanması

Bu aşamalardan sonra Taguchi modelinin analizi kısmına geçilmiştir.”analyze Taguchi Design” kısmında “Graphs, Analysis, Terms, Analysis Graphs, Options ve Storage” bölümleri bulunmaktadır.

Bu kısımlarda S/N oranları ve ortalama değerleri gösterecek tablolar istenmiştir ve “Terms” kısmında Şekil 2.5’te olduğu gibi etkileşimler yok kabul edilerek aşamalara devam edilmiştir.

“Analysis Graphs” kısmında histogram, normal dağılım grafikleri; “Options”da ise S/N oran hesabında SES değerlerinin maksimum olması istendiği için “ Larger is Better” tercih edilmiş ve “Storage” kısmında da S/N oranı ve ortalama değerlerinin tablosal işlevleri de istenerek diğer aşamalara geçilmiştir.



	C1	C2	C3	C4	C5
	t(çap farkı)	β(nozul giriş açısı)	l(kanal boyu mesafesi)	d(iç delik çapı)	SES
1	0,75	0	5	0	28
2	0,75	0	10	6	24
3	0,75	10	5	6	28
4	0,75	10	10	0	33
5	2,75	0	5	6	48
6	2,75	0	10	0	43
7	2,75	10	5	0	64
8	2,75	10	10	6	61

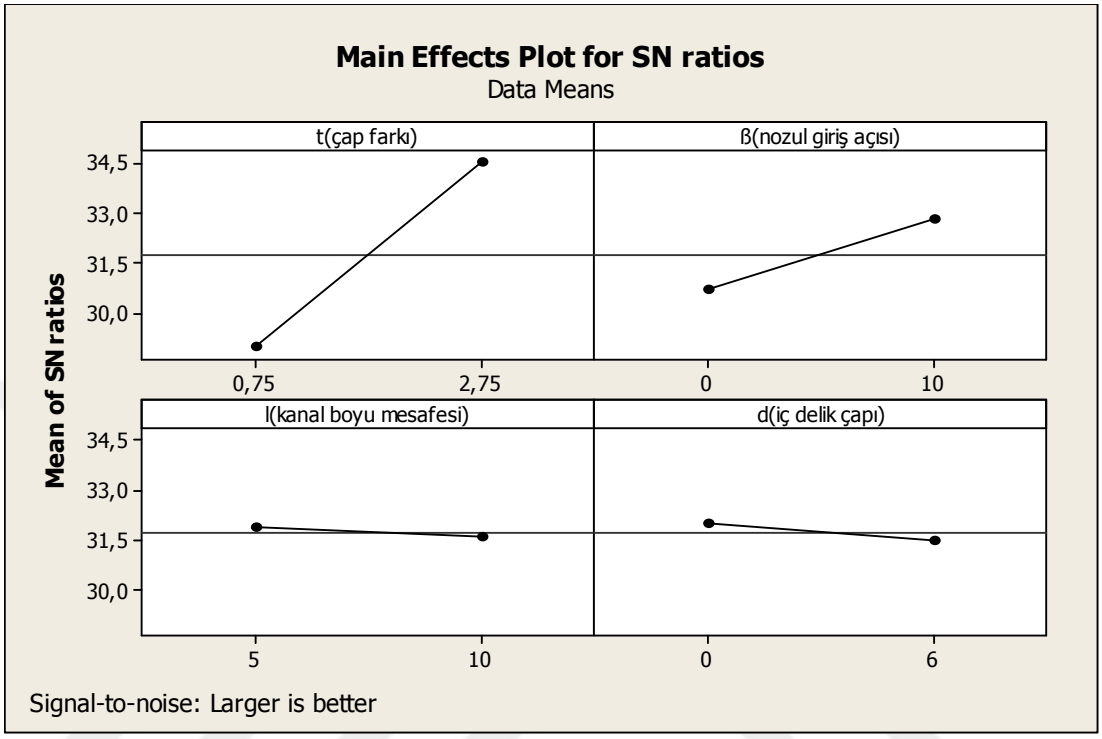
Şekil 2.5. Etkileşimlerin sistemden çıkartılması

Veriler ve seviyeler sisteme girilirken etkileşimler çıkartılmıştır. Bununla birlikte elde ettiğimiz S/N değerleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi S/N değeri en büyük olan deney numarası bizim için en önemli kısımdır; çünkü S/N değeri en büyük olan sapması en az olan değer anlamına gelmektedir. Bu sebepten dolayı tabloda gösterilen t (2,75), β (10), *l* (5), d (0) kombinasyonunu oluşturan 7 deney numaralı kombinasyon en iyi değeri ifade etmektedir ve SES değerini en iyi maksimize eden kombinasyondur.

Tablo 2.1. Deney kombinasyonlarının S/N değerleri

Deney no	t (Çap Farkı)	β (Nozul Giriş Açısı)	l (Kanal Boyu Mesafesi)	d (İç Delik Çapı)	SES	S/N
1	0,75 mm	0^o	5 mm	0 mm	28 j/g	28,943
2	0,75 mm	0^o	10 mm	6 mm	24 j/g	27,604
3	0,75 mm	10^o	5 mm	6 mm	28 j/g	28,943
4	0,75 mm	10^o	10 mm	0 mm	33 j/g	30,370
5	2,75 mm	0^o	5 mm	6 mm	48 j/g	33,624
6	2,75 mm	0^o	10 mm	0 mm	43 j/g	32,669
7	2,75 mm	10^o	5 mm	0 mm	64 j/g	36,123
8	2,75 mm	10^o	10 mm	6 mm	61 j/g	35,706

Her bir faktörün S/N oranlarının ana etki grafikleri Şekil 2.6'da gösterildiği gibi Minitab 16 programında karşımıza çıkmaktadır. Grafikler incelendiğinde SES değerini en çok maksimize eden faktör "çap farkı" faktörüdür.



Şekil 2.6. L_8 ile faktörlerin S/N oranlarının ana etki grafikleri

S/N oranlarının ana etkilerini gösteren grafiklerde "Larger is beter" tercih edilerek ortalama değerler ifade edilmektedir ve bu faktörlerin etki sıralamalarını ve seviye değişimlerinin getirdiği sonuçları Tablo 2.2'de görmek mümkündür.

Tablo 2.2. Faktörlerin S/N oranlarının etki tablosu

Seviye no	d	t	β	l
Seviye 1	32,03	28,97	30,71	31,91
Seviye 2	31,47	34,53	32,79	31,59
Değişim	0,56	5,57	2,08	0,32
Etki sırası	3	1	2	4

Tablo 2.2 incelendiğinde; faktörler, S/N oranlarının etkileri artırılması ve parametre seviyelerinin değiştirmesi ile sistemde meydana gelen aşağıdaki sonuçları ortaya çıkarmaktadır:

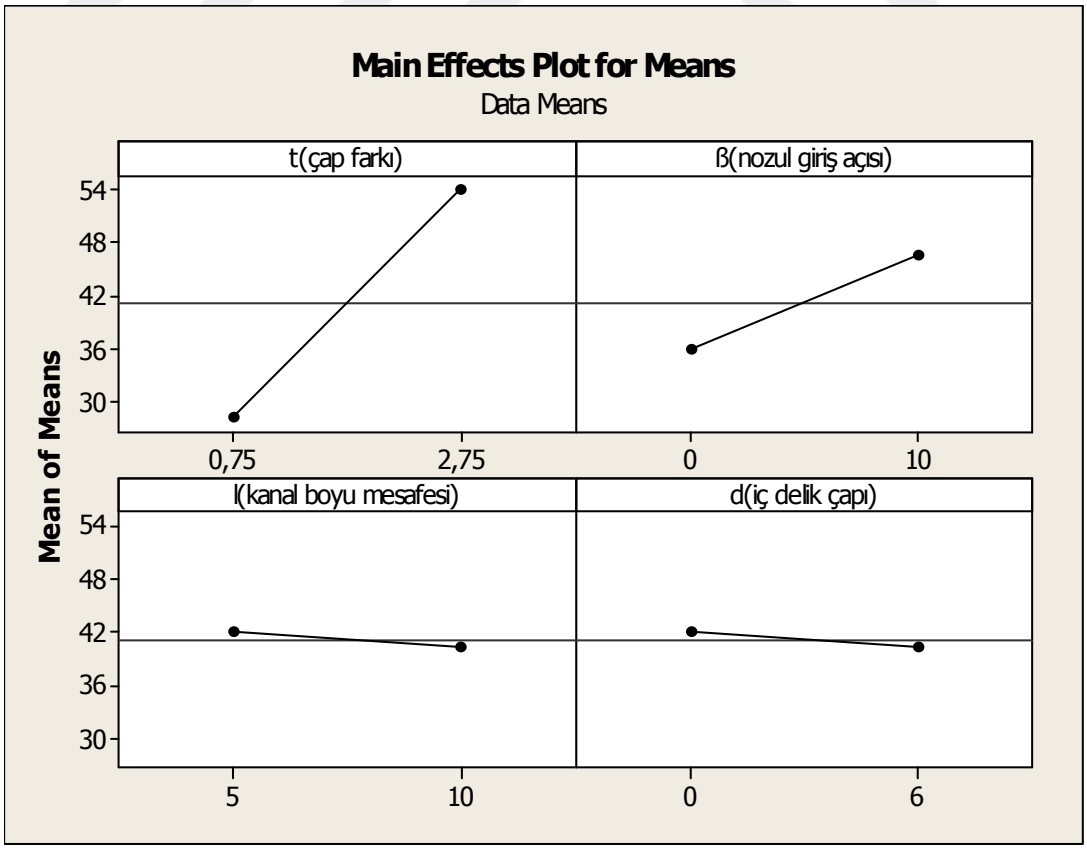
1. t faktörünün (0,75 mm) seviyesi 28,97'lik bir etkiye sahipken, (2,75 mm) seviyesine yükseltildiğinde 5,57'lık değişim ile 34,53'lük bir etkiye sahip olmuştur.

2. β faktöründe ise (0^o) seviyesinin oluşturduğu S/N oranı 30,71 iken, 2.seviye olan (10^o)'ye çıkarıldığında 32,79'a yükselmiştir. Bu da 2,08'lik bir değişim oluşturmuştur.

3. d faktöründe ise 0 mm'lik iç delik çapı 32,03'lük bir etkiye sahipken, 6 mm'ye artırıldığında ise 31,47'lik bir etkiye sahip olmuştur. Bu sebeple değişim 0,56 olmuştur.

4. l faktörünün 5 mm'lik seviyesi 31,91 oranında bir orana sahip olurken, mesafenin 10 mm'ye çıkarılması ile etki 31,59'a gerilemiş ve 0,32'lik bir değişim meydana getirmiştir.

Etki sıralamalarına bakıldığında en çok değişim t (çap farkı) seviyelerinde (0,75 mm ve 2,75 mm) olmuştur. Bunu sırasıyla β (0^o ve 10^o), l (5 mm ve 10 mm) ve bu faktör seviyelerini d (0 mm ve 6 mm) izlemektedir.



Şekil 2.7. L_8 ile faktörlerin ortalama SES değeri için ana etki grafikleri

Her bir faktörün SES değerini ne kadar etkilediğini gösteren Şekil 2.7'deki grafikte SES değerleri ortalamasının 41,13 olduğu görülmektedir. S/N oranlarının etkisi ile benzer bir sıralama oluşmaktadır ve doğru bir grafik ortaya çıkarmaktadır. En büyük değişim veya eğim; sırasıyla t,β faktörlerinde olmaktadır. l ve d faktörlerinde ise eşit bir eğim oluşmuş ve ortalamaya katkısı eşittir. Grafik sonuçları Tablo 2.3'te sayısal bir hale getirilmiştir.

Tablo 2.3. Faktörlerin ortalama SES değeri için etki tablosu

Seviye no	d	t	β	l
Seviye 1	42,00	28,25	35,75	42,00
Seviye 2	40,25	54,00	46,50	40,25
Değişim	1,75	25,75	10,75	1,75
Etki sırası	3,5	1	2	3,5

1. t faktörü 1.seviyesinde 28,25'lik bir ortalama oluştururken, 2.seviyeye yükseltildiğinde 25,75'lik bir değişim ile diğerlerine göre daha yüksek bir etki yapmıştır.

2. β faktörü ise 1.seviyesinde t faktörüne göre göre daha fazla ortalaması varken, 2.seviyeye geldiğinde 10,75'lik bir değişim oluşturmuştur.

3. l ve d faktörleri SES değerinde 3,5'lik bir değişim ile aynı etkiye sahiptir. Fakat 1. seviyeleri itibariyle diğer faktörlerden daha yüksek bir etkiye sahiptirler.

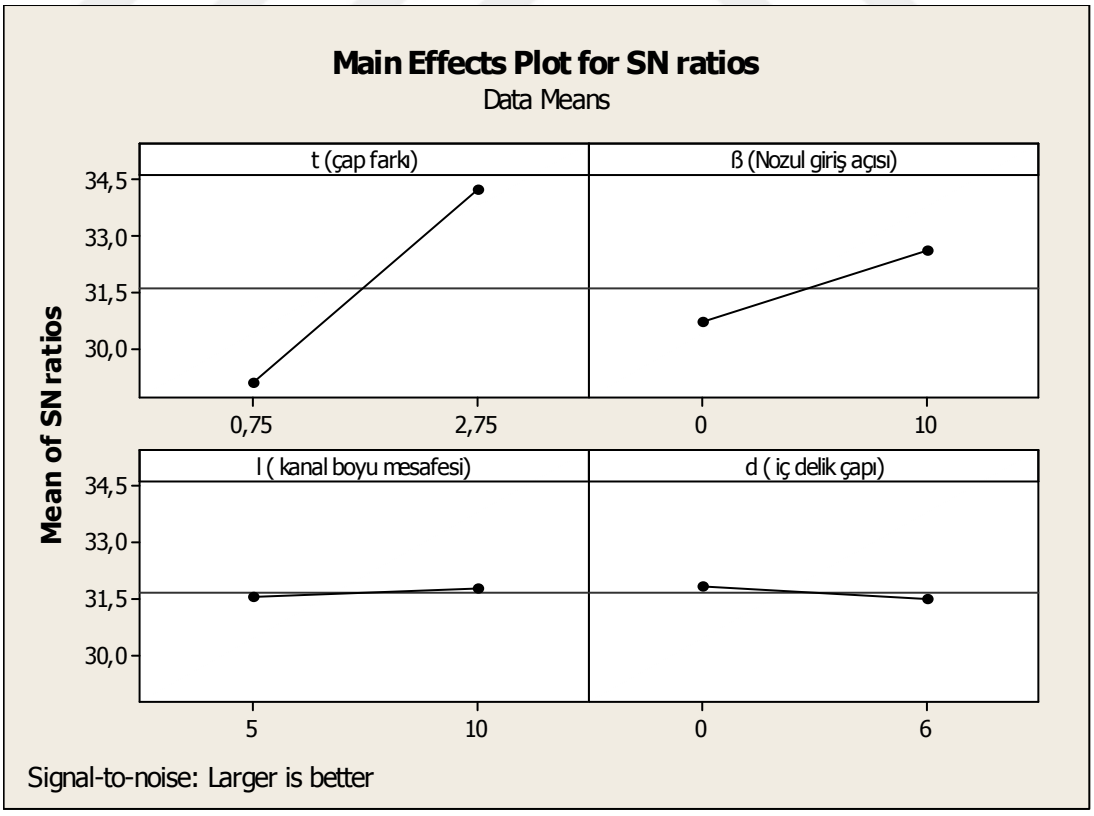
2.1.2. L_{16} ortogonal dizini ile grafiklerin oluşturulması

L_{16} ortogonal dizini faktör etkilerini gösteren esnek bir matris olarak karşımıza çıkmaktadır. Elimizde mevcut olan aynı faktörler ve seviyeleri Tablo 2.4'te gösterilen L_{16} ortogonal dizini kullanılarak S/N oranları ve ortalamalara ait ana etki grafikleri oluşturulmuştur.

Yapacağımız çalışmanın daha etkili olması ve sistemsel verileri daha rahat görebilmek adına ek seçenek olarak bu analize de ihtiyaç görülmüştür. Bununla beraber L_8 verileri ile beraber L_{16} verileri de incelenmek istenmiştir. Veriler sisteme girilirken faktörler arasındaki etkileşimler yok sayılmıştır. Tablo 2.4'te L_{16} deney planı gösterilmektedir.

Tablo 2.4. Deney kombinasyonlarının L_{16} ile S/N oranları

Deney no	t (Çap farkı)	β (Nozul giriş açısı)	l (Kanal boyu mesafesi)	d (İç delik çapı)	SES	S/N
1	0,75 mm	0^o	5 mm	0 mm	28 j/g	28,943
2	0,75 mm	0^o	5 mm	6 mm	24 j/g	27,604
3	0,75 mm	0^o	10 mm	0 mm	31 j/g	29,827
4	0,75 mm	0^o	10 mm	6 mm	24 j/g	27,604
5	0,75 mm	10^o	5 mm	0 mm	31 j/g	29,827
6	0,75 mm	10^o	5 mm	6 mm	28 j/g	28,943
7	0,75 mm	10^o	10 mm	0 mm	33 j/g	30,370
8	0,75 mm	10^o	10 mm	6 mm	29 j/g	29,247
9	2,75 mm	0^o	5 mm	0 mm	39 j/g	31,821
10	2,75 mm	0^o	5 mm	6 mm	48 j/g	33,624
11	2,75 mm	0^o	10 mm	0 mm	43 j/g	32,669
12	2,75 mm	0^o	10 mm	6 mm	47 j/g	33,441
13	2,75 mm	10^o	5 mm	0 mm	64 j/g	36,123
14	2,75 mm	10^o	5 mm	6 mm	59 j/g	35,417
15	2,75 mm	10^o	10 mm	0 mm	56 j/g	34,963
16	2,75 mm	10^o	10 mm	6 mm	61 j/g	35,706



Şekil 2.8. L_{16} ile faktörlerin S/N oranlarının ana etki grafikleri

Tablo 2.4'ün sonuçları incelendiğinde deney kombinasyonlarının sıralaması sırasıyla" 13-16-14-15-10-12-11-9-7-1-5-3-8-6-2-4 " şeklinde karşımıza çıkmaktadır. En etkili kombinasyon t (2,75 mm), β (10^o), *l* (5 mm), d (0 mm) olarak L_8 ile aynı sonucu vermektedir. Şekil 2.8'de faktörlerin S/N oranlarının sonuçları gösterilmektedir. En çok değişim sırasıyla t (çap farkı) faktöründe, β (nozul giriş açısı) faktörü, d (iç delik çapı) ve l (kanal boyu mesafesi) olarak görülmektedir.

Tablo 2.5. Faktörlerin S/N oranlarının etki tablosu

Seviye no	t	β	l	d
Seviye 1	29,05	30,69	31,54	31,82
Seviye 2	34,22	32,57	31,73	31,45
Değişim	5,18	1,88	0,19	0,37
Etki sırası	1	2	4	3

Tablo 2.5'ten de görüldüğü gibi her bir faktörün etkisini aşağıdaki gibi belirtmek mümkündür;

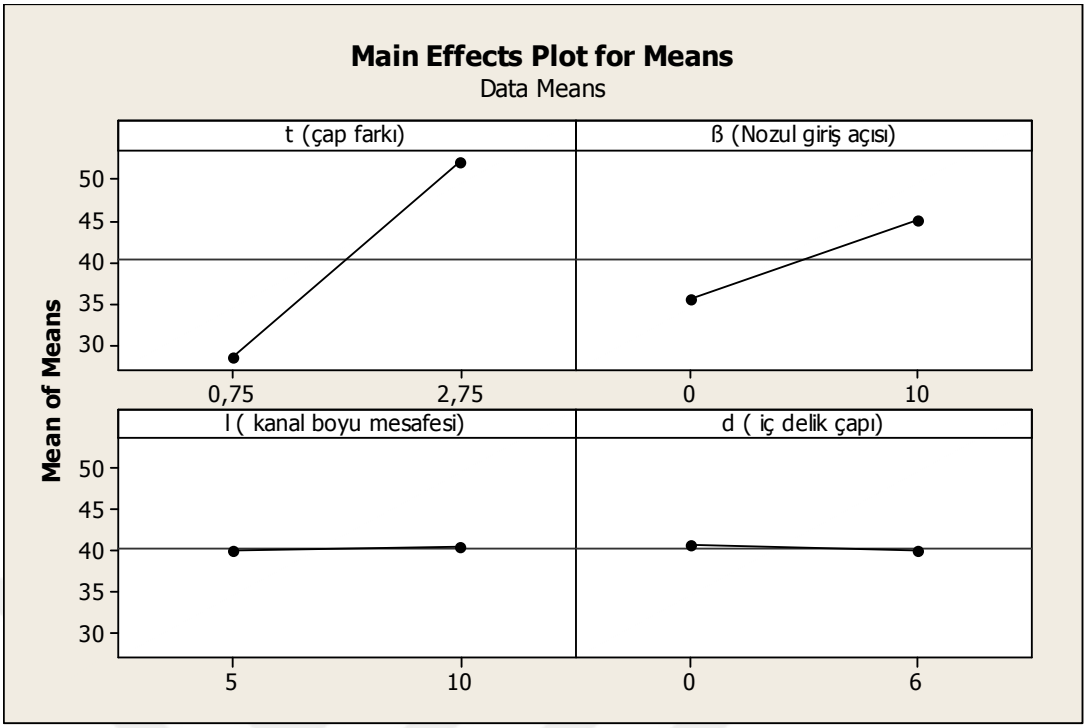
1. t faktörünün (0,75 mm) seviyesi 29,05'lik bir etkiye sahipken, (2,75 mm) seviyesine yükseltildiğinde 5,18'lik değişim ile 34,22'lik bir etkiye sahip olmuştur.

2. β faktöründe ise (0^o) seviyesinin oluşturduğu S/N oranı 30,69 iken, 2.seviye olan (10^o)'ye çıkarıldığında 32,57'ye yükselmiştir. Bu da 1,88'lik bir değişim oluşturmuştur.

3. d faktöründe ise 0 mm'lik iç delik çapı 31,82'lük bir etkiye sahipken, 6 mm'ye artırıldığında ise 31,45'lik bir etkiye sahip olmuştur. Bu sebeple değişim 0,37 olmuştur.

4. *l* faktörünün 5 mm'lik seviyesi 31,54 oranında bir orana sahip olurken, mesafenin 10 mm'ye çıkarılması ile etki 31,73'e yükselmiş ve 0,19'luk bir değişim meydana getirmiştir.

Bununla birlikte Şekil 2.9'da her bir faktörün bu deney planı ile spesifik enerji sönümleme oranı ortalaması için ana etki grafikleri oluşturulmuş ve Tablo 2.6'da bu grafikler açıklanmıştır. Bu grafiklerin açıklanmasıyla net veriler ortaya çıkmakta ve bize daha tutarlı bilgiler vermektedir.



Şekil 2.9. L_{16} ile faktörlerin ortalama SES değeri için ana etki grafikleri

Şekil 2.9 incelendiğinde en etkili kombinasyon t (2,75 mm), β (10^o), l (5 mm), d (0 mm) olarak görülmektedir. SES değerini en çok etkileyen iki faktör iç delik çapı ve nozul giriş açısıdır.

Tablo 2.6. Faktörlerin ortalama SES değeri için etki tablosu

Seviye no	t	β	l	d
Seviye 1	28,50	35,50	40,13	40,63
Seviye 2	52,13	45,13	40,50	40,00
Değişim	23,63	9,63	0,37	0,63
Etki sırası	1	2	4	3

Tablo 2.6 incelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

1. t faktörünün (0,75 mm) seviyesi 28,50'lik bir etkiye sahipken, (2,75 mm) seviyesine yükseltildiğinde 23,63'lik değişim ile 52,13'lük bir etkiye sahip olmuştur.

2. β faktöründe ise (0^o) seviyesinin 35,50 iken, 2.seviye olan (10^o)'ye çıkarıldığında 45,13'e yükselmiştir. Bu da 9,63'lük bir değişim oluşturmuştur. β faktörü bu değişim etkisini artırmaktadır.

3. d faktöründe ise 0 mm'lik iç delik çapı 40,63'lük bir etkiye sahipken, 6 mm olduğunda ise 40,00'lık bir etkiye sahip olmuştur. Bu sebeple değişim 0,63'lük olmuştur.

4. l faktörünün 5 mm'lik seviyesi 40,13 oranında bir orana sahip olurken, mesafenin 10 mm'ye çıkarılması ile etki 40,50'e yükselmiş ve 0,37'lik bir değişim meydana getirmiştir.

2.2. L_8 ve L_{16} Grafiklerinin İstatistiksel Analizi ve Yorumları

İstatistiksel anlamda analiz yapılırken çeşitli yöntemlere başvurulmaktadır. Bunlardan bazıları ANOVA (Varyans Analizi), normal dağılım grafikleri, regresyon ve korelasyon denklemleri oluşturma gibi yöntemlerdir. Bu yöntemler yapılan istatistiksel bir çalışmanın güvenilirliğini artırmaktadır.

Bu anlamda, oluşturulan L_8 ve L_{16} grafiklerinin bazı istatistiksel analiz ve yorumları yapılmıştır.

2.2.1. L_8 grafiklerinin istatistiksel analizi ve yorumları

L_8 grafiklerinin istatistiksel analizleri yapılırken Minitab programı kullanılarak belirlenen veriler sisteme girilerek Varyans analizleri yapılmıştır. Şu şekilde sonuçlar ortaya çıkmıştır:

Tablo 2.7. S/N oranları için varyans analizi (L_8)

Faktör	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Etki yüzdesi
d	1	0,6203	0,6203	0,6203	0,72	0,459	% 0,9
t	1	61,958	61,958	61,958	71,75	0,003	%83,7
β	1	8,6155	8,6155	8,6155	9,98	0,051	%11,6
l	1	0,2062	0,2062	0,2062	0,24	0,659	% 0,3
Hata	3	2,5907	2,5907	0,8636			% 3,5
Total	7	73,9910					% 100
R-Sq=%96,5 R-Sq(adj)=%91,8							

Tablo 2.7 incelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

1. Bu tabloda her bir faktörün serbestlik derecesi $V_{faktör}=1$'dir. Bu faktörlere tekabül eden $F_{tablo}=F_{1,3,0,05}=10,13$'tür. $F_{faktör}>F_{tablo}$ olursa o faktörün etkili olduğunu gösterir. 2. Yapılan analiz ile belirlenen modelde belirlenen Düzeltilmiş belirlilik katsayısı R-Sq(adj)=%91,8 ve belirlilik katsayısını ifade eden R-Sq=%96,5 olarak bulunmuştur.

3. $F_{faktör}=$Adj $MS_{faktör}$ / Adj MS_{hata} olarak ifade edilir. $F_d=0,6203/ 0,8636=0,72<10,13$ olduğundan F değeri açısından reddedilir. Ayrıca $p_d=0,459>0,05$'dir. İstatistiksel açıdan anlamsız olduğunu gösterir ve faktörün etkisi yoktur.

4. $F_t=61,9583/0,8636=71,75>10,13$ olduğundan iç delik çapının SES değerine etkisi yüksektir. Ayrıca $p_t=0,003<0,05$ olduğundan güvenilirliği sağlam ve %83,7 oranında güçlü bir etkiye sahiptir.

5. $F_\beta=8,6155/0,8636=9,98<10,13$ olduğundan etkisi reddedilir. $p_\beta>0,05$ olduğundan etkisi yoktur.

6. Tablo 2.7'de $F_l=0,2062/0,8636=0,24<10,13$ olduğundan faktör önemsizdir. Ayrıca $p_l>0,05$ olduğundan istatistiki olarak etkisi yoktur.

Tablo 2.8. Ortalama SES değerleri için varyans analizi (L_8)

Faktör	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Etki yüzdesi
d	1	6,13	6,12	6,12	0,18	0,702	%0,4
t	1	1326,12	1326,12	1326,12	38,48	0,008	%80
β	1	231,13	231,13	231,13	6,71	0,081	%13
l	1	6,12	6,12	6,12	0,8	0,702	%0,4
Hata	3	103,37	103,37	34,46			%6,2
Total	7	1672,87					%100
R-Sq=%93,8 R-Sq(adj)=%85,6							

Tablo 2.8 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

1. Bu tabloda her bir faktörün serbestlik derecesi $V_{faktör}=1$'dir. Bu faktörlere tekabül eden $F_{tablo}=F_{1,3,0.05}=10,13$'tür.

2. Belirlilik katsayısı olan R-Sq (adj)=%85,6 ve R-Sq=%93,8 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin %80'in üstünde olması öngörülmektedir.

3. F_d=6,12/34,46=0,18<10,13 olduğundan d faktörü etkisi yoktur.

4. F_t=1326,12/34,46=38,48>10,13'tür. p<0,05 olduğundan en büyük etkiye sahip olan faktördür.

5. Nozul giriş açısına bakıldığında öncekine göre F_β=231,13/34,46=6,71<10,13'tür. p>0,05 olduğundan istatistiksel anlamda güvenilirliği yoktur.

6. F_l=6,12/34,46=0.18<10.13'tür. Bu faktörün etkisi yoktur.

Bu analizler sonucunda oluşturulan regresyon denklemi Denklem 2.1'de verilmiştir:

Yanıt değişkeni = 16,7 - 0,292 d + 12,9 t - 0,350 l + 1,07 β (2.1)

Regresyon denklemi sonucunda elde edilen tahmini değerler ve yüzdelik sapmaları Tablo 2.9'da gösterilmiştir.

Tablo 2.9. L_8 ile elde edilen tahmin değerleri

Deney no	t	β	l	d	SES	Tahmin değeri	Yüzdelik sapma
1	0,75 mm	0^o	5 mm	0 mm	28 j/g	24,6 j/g	12
2	0,75 mm	0^o	10 mm	6 mm	24 j/g	21,1 j/g	12
3	0,75 mm	10^o	5 mm	6 mm	28 j/g	33,5 j/g	20
4	0,75 mm	10^o	10 mm	0 mm	33 j/g	33,5 j/g	1
5	2,75 mm	0^o	5 mm	6 mm	48 j/g	48,6 j/g	1
6	2,75 mm	0^o	10 mm	0 mm	43 j/g	48,6 j/g	13
7	2,75 mm	10^o	5 mm	0 mm	64 j/g	61,1 j/g	10
8	2,75 mm	10^o	10 mm	6 mm	61 j/g	57,6 j/g	5

L_8 ortogonal dizini ile hesaplanan SES oranı tahmin değerlerinde %8,7'lik bir ortalama hata değeri hesaplanmıştır. Ortalama hata yüzdesi, tahmin değerlerinin asıl değerden ne oranda saptığını ifade etmektedir. Sapma değeri küçüldüğünde sağlamlık artmaktadır. Bu sayede sistemdeki sapma ile Ortalama hata yüzdesi, Denklem 2.1 ile hesaplanabilmektedir.

$$\%\,\mathrm{MRE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|100\frac{(g_i - t_i)}{g_i}\right| \tag{2.1}$$

Burada MRE (mean relative error) ortalama hatayı, "g" SES değerlerini, "t" tahmin değerlerini ifade etmektedir. Tahmin denklemi sonuçlarına ait, hata kareleri ortalaması (root mean square error (RMSE)) değeri ise 4,52 olarak Denklem 2.2'den hesaplanmıştır.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N-5}\sum_{i=1}^{N}(g_i - t_i)^2} \tag{2.2}$$

2.2.2. L_{16} grafiklerinin istatistiksel analizi ve yorumları

L_{16} grafiklerinin analizlerinde ise aynı aşamalar izlenmekle beraber L_8 verileri ile olan yakınlık değerleri amaçlanmaktadır. Çünkü bu kısımdaki sonuçlar hangi dizine karar verileceği açısından önem arz etmektedir. Bulunan değerler aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 2.10. S/N oranları için varyans analizi (L_{16})

Faktör	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Etki yüzdesi
d	1	0,546	0,546	0,546	0,65	0,438	% 0.4
t	1	107,127	107,127	107,127	127,28	0.000	%81,6
β	1	14,182	14,182	14,182	16,85	0.002	%10,9
l	1	0,146	0,146	0,146	0,17	0.685	% 0,1
Hata	11	9,258	9,258	0,842			% 7
Total	15	131,259					% 100
R-Sq= %92,9 R-Sq(adj)= %90,4							

Tablo 2.10 irdelendiğinde şu sonuçlar karşımıza çıkmaktadır:

1. Bu tabloda her bir faktörün serbestlik derecesi $V_{faktör}$=1'dir. Bu faktörlere tekabül eden $F_{tablo}=F_{1,11,0,05}$= 4,84'tür. $F_{faktör}>F_{tablo}$ olursa faktörün etkili olduğunu gösteren

bir sonuç olur. Ayrıca $p_{faktör}<0,05$ ise istatistiksel anlamda faktörün önemli olduğunu ifade eder.

2. R-Sq(adj)=%90,4 ve R-Sq=%92,9 olarak bulunmuştur. Bu değerler yüksek bir orandır.

3. Bu kısımda; $F_d=0,546/\ 0,842=0,65<4,84$ olduğundan F değeri açısından reddedilir. Ayrıca $p_d=0,438>0,05$'dir. İstatistiksel açıdan anlamsız olduğunu ve etkisi yoktur.

4. İç delik çapında; $F_t=107,127/0,842=127,229>4,84$ olduğundan bu faktör etkilidir. Ayrıca $p_t=0,000<0,05$ olduğundan güvenilirliği sağlam ve %81,6 oranında güçlü bir etkiye sahiptir.

5. Nozul giriş açısı; $F_\beta=14,182/0,842=16,85>4,84$ olduğundan etkisi L_8 dizinine göre etkisi yükselmiştir. $p_\beta<0,05$ olduğundan istatistiksel olarak güvenilir bir faktördür.

6. $F_l=0,146/0,842=0,17<4,84$ olduğundan faktörün etkisi yoktur. Ayrıca $p_l>0,05$ olduğundan istatistiki olarak güvenilirliği yoktur.

Tablo 2.11. Ortalama SES değerleri için varyans analizi (L_{16})

Faktör	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Etki yüzdesi
d	1	1,56	1,56	1,56	0,06	0,810	% 0,005
t	1	2232,56	2232,56	2232,56	87,03	0.000	%77,3
β	1	370,56	370,56	370,56	14,44	0.003	%12,8
l	1	0,56	0,56	0,56	0,02	0.885	% 0,002
Hata	11	282,19	282,19	25,65			% 9,8
Total	15	2887,44					% 100
R-Sq = % 90,2 R-Sq(adj) = % 86,7							

Tablo 2.11 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

1. Bu tabloda her bir faktörün serbestlik derecesi $V_{faktör}=1$'dir. Bu faktörlere tekabül eden $F_{tablo}=F_{1,11,0.05}=4,84$'tür.

2. Belirlilik katsayısı R-Sq=%90,2 ve R-Sq(adj)=%86,7 olarak bulunmuştur.

3. F_d=1,56/25,65=0,06<4,84 olduğundan d faktörü etkisizdir.

4. F_t=2232,56/25,65=87,03>4,84'tür. p<0,05 ve faktör etkisi %80 olmakla en büyük etkiye sahip olan faktördür.

5. Bu seviyede ise F_β=370,56/25,65=14,44>4,84'tür. p<0,05 olduğundan istatistiksel anlamda güvenilir bir faktördür. L_8'e göre L_{16} da daha belirgin bir faktör olmaktadır. SES oranına etkisi % 12,8'dir.

6. F_l=0,56/25,65=0.02<4,84'tür. Bu faktörün etkisi yoktur.

Bu analizler sonucunda oluşturulan regresyon denklemi Denklem 2.2'de verilmiştir:

Yanıt değişkeni = 14,578 + 11,812 t + 0,962 β + 0,075 l - 0,104 d (2.2)

Tablo 2.12. L_{16} ile elde edilen tahmin değerleri

Deney no	t	β	l	d	SES	Tahmin değeri	Yüzdelik sapma
1	0,75 mm	0^o	5 mm	0 mm	28 j/g	23,8 j/g	15
2	0,75 mm	0^o	5 mm	6 mm	24 j/g	23,2 j/g	3
3	0,75 mm	0^o	10 mm	0 mm	31 j/g	24,2 j/g	22
4	0,75 mm	0^o	10 mm	6 mm	24 j/g	23,5 j/g	1
5	0,75 mm	10^o	5 mm	0 mm	31 j/g	33,4 j/g	7
6	0,75 mm	10^o	5 mm	6 mm	28 j/g	32,8 j/g	17
7	0,75 mm	10^o	10 mm	0 mm	33 j/g	33,8 j/g	2
8	0,75 mm	10^o	10 mm	6 mm	29 j/g	33,2 j/g	14
9	2,75 mm	0^o	5 mm	0 mm	39 j/g	47,4 j/g	21
10	2,75 mm	0^o	5 mm	6 mm	48 j/g	46,8 j/g	2
11	2,75 mm	0^o	10 mm	0 mm	43 j/g	47,8 j/g	11
12	2,75 mm	0^o	10 mm	6 mm	47 j/g	47,2 j/g	0
13	2,75 mm	10^o	5 mm	0 mm	64 j/g	57,1 j/g	10
14	2,75 mm	10^o	5 mm	6 mm	59 j/g	56,4 j/g	4
15	2,75 mm	10^o	10 mm	0 mm	56 j/g	57,4 j/g	2
16	2,75 mm	10^o	10 mm	6 mm	61 j/g	56,8 j/g	7

L_{16} ortogonal dizini ile SES oranı tahmin değerlerinde ise % 9'luk bir ortalama hata değeri hesaplanmıştır. Hata kareleri ortalaması 5,05 olarak bulunmuştur.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Taguchi yaklaşımının otomotiv komponent tasarımına uygulanabilirliği incelenerek; cam fiber takviyeli plastik (CFTP) çubuk malzemenin dar kesitlerden geçirilerek deforme olmasıyla ortaya çıkan spesifik enerji sönümleme (SES) oranını değiştiren faktörlerin etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada elde edilen faktör ve seviyeler beyin fırtınası ile belirlenip balık kılçığı diyagramı ile gösterilmiştir. Minitab 16 programı kullanılarak veriler sisteme girilerek S/N oranları, regresyon denklemleri, etki yüzdeleri, değişim sıralamaları, yüzdelik katsayılar hesaplanarak Varyans analizleri yapılmıştır.

Tablo 3.1. L_8 ve L_{16} verilerinin karşılaştırılması

Değişkenler	L_8	L_{16}
Etki sırası(S/N)	t-β-d-l	t-β-d-l
Etki sırası(SES)	t-β-d=l	t-β-d-l
Değişim(S/N)	5,57-2,08-0,56-0,32	5,18-1,88-0,37-0,19
Değişim(SES)	25,75-10,75-1,75=1,75	23,63-9,63-0,63-0,37
En iyi kombinasyon	t(2,75), β(10), d(0), l (5)	t(2,75), β(10), d(0), l(5)
R-Sq(S/N)	%96,5	%92,9
R-Sq(SES)	%93,8	% 90,2
R-Sq(adj)(S/N)	%91,8	%90,4
R-Sq(adj)(SES)	%85,6	% 86,7
Ortalama hata yüzdesi	% 8,7	% 9
Hata kareleri ortalaması	4,52	5,05
En iyi kombinasyonun tahmin sonucu	61,12	57,05

Spesifik enerji sönümleme oranını etkileyen faktörler çap farkı, iç delik çapı, nozul giriş açısı ve kanal boyu mesafesidir. Elde edilen veriler, izlenen metotlar ve yapılan Tablo 3.1'de gösterildiği gibi L_8 ve L_{16} dizinleri arasında yapılan karşılaştırmalar şu şekilde özetlenmiştir:

1. Faktörlerin S/N oranlarındaki değişim sıralamaları her iki dizinde de aynıdır.

2. Faktör değişimlerine bakıldığında ise L_8 dizininde değişimler daha olumlu bir katkı yapmıştır.

3. Her iki dizinde de en iyi kombinasyon t(2,75), β(10), d(0), l (5) şeklindedir.

4. S/N oranları için yapılan Varyans analizinde ise L_8 için R-Sq=% 96,5 ve L_{16} için R-Sq=% 92,9 olmuştur.

5. Ortalama SES değeri için yapılan Varyans analizinde ise L_8 için R-Sq=% 93,8 ve L_{16} için R-Sq=%90,2 olmuştur.

6. S/N oranları için yapılan Varyans analizinde ise L_8 için R-Sq(adj)=%91,8 ve L_{16} için R-Sq(adj)=% 90,4 olmuştur.

7. Ortalama SES değeri için yapılan Varyans analizinde ise L_8 için R-Sq(adj)= %85,6 ve L_{16} için R-Sq(adj)= %85,7 olmuştur.

8. Yapılan analizlerde L_8 için ortalama hata yüzdesi % 8,7 olmuştur. L_{16} için %9 olmuştur.

9. Hata kareleri ortalaması L_8 için 3,46 ve L_{16} için 4,12 olarak hesaplanmıştır.

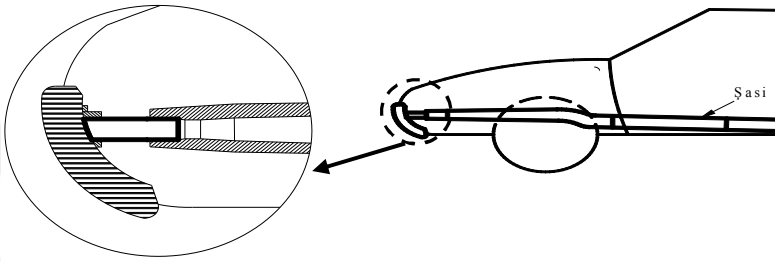
10. L_8 için hesaplanan regresyon denkleminde en iyi kombinasyonun tahmin sonucunda SES değeri 61,12 j/g; L_{16} da ise tahmin sonucu 57,05 j/g olmuştur.

Alınan bu sonuçlar ile beraber aşağıdaki değerlendirmeler makul olacaktır:

a. Cam fiber takviyeli plastik (CFTP) çubuk malzemenin; taşıtlarda enerji sönümleme sistemi olarak verimli ve etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür. Böylece, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi kompozit çubukların uygun tampon bağlantılarıyla enerji sönümleme oranını artırma imkanı sağlamaktadır.

Bu sayede L_8 verilerinin daha tutarlı olduğu görülmekle beraber SES oranında artış sağlanabilmektedir. Tampon bağlantılarındaki dayanıklılık sayesinde kaza esnasında hasar riskinin azaltılması hedeflenebilir. Hasar riskinin azaltılması ile birlikte çarpışmalarda gelebilecek kazalara önlemler ve tedbirler alınabilir.

b. Bu sistem otomotiv komponentleri için tasarlanmıştır; fakat darbeye maruz kalınabilecek durumlar için de geliştirilebilir. Ayrıca otomotiv sektöründe Taguchi ile ilgili eğitim ve seminerlerin artırılması faydalı olacaktır.



Şekil 3.2. Kompozit çubuk ve nozulun taşıt üzerine montajı

KAYNAKLAR

[1] Pang J.S., Ansari M.N.M., Zaroog O.S., Ali M.H., Sapuan S.M., Taguchi Design Optimization of Machining Parameters on the CNC End Milling Process of Halloysite Nanotube with Aluminium Reinforced Epoxy Matrix (HNT/Al/Ep) Hybrid Composite, *HBRC Journal*, 2014, **10**(1), 138-144.

[2] Sung M.H., Hung H.C., Application of Tolerance Method to the TFT-LCD Design, *The International Journal of Organizational Innovation*, 2013, **6**(1), 99.

[3] Kasap Ş., F-4 Uçaklarında Yakıt Tüketimini Etkileyen Faktörlerin 2k Deneyleri ve Taguchı Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2006, 198418.

[4] Kamber Ö.Ş., Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri ve Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 178882.

[5] Sapakal S.V., Telsang M.T., Parametric Optimization of Mig Welding Using Taguchi Design Method, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies,* 2012, **1**(4), 28-30.

[6] Kayır Y., Aslan S., Aytürk A., AISI 316Ti Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi ile Analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2013, **28**(2), 363-372.

[7] Özkan C., Akman G., Sac İmalatında Karşılaşılan Yapışma Probleminin Deney Tasarımı ile Çözümü, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 2011, **12**(2), 187-199.

[8] Karagöz N., Taguchi Metodunun Hava Aracı Kanat Tasarımı Sürecine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2014,

[9] Ünal H.İ., Altuğ G.S., Baynal K., Ortodontik Tellerin Korozyon Davranışının Klasik Deney Tasarım Yöntemi ile Belirlenmesi, *TMMOB-MMO Mühendis ve Makine Dergisi,* 2012, **53**(629), 48-54.

[10] Şişman Y., Şişman A., Bektaş S., Koordinat Dönüşümünde Deney Tasarımı Yaklaşımı, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2013, **5**(1), 37-46.

[11] Gever B., Güneş B.N., Gülel D., Bebek Z.S., Bir Üretim İşletmesinin Verileri Kullanılarak Çarpımsal Deney Tasarımı ile Taguchi Yaklaşımının Karşılaştırılması, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 2014, **26**(1), 2-26.

[12] Alhalabi K., Sabır E.C., Anti Statik Yağın İplik Kalite Parametrelerine Etkisi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2011, **26**(2), 19-32.

[13] Kasman Ş., Lazerle Derin Oyma Tekniğinde EN 7075 Alüminyum Alaşımı için İşlem Parametrelerinin Etkilerinin Taguchi Metodu Kullanılarak İncelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2011, **8**(2), 41-54.

[14] Sarı T., Tedarikçi Seçiminde Anp, Taguchi ve Topsıs Yöntemleri ile Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama, *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* 2015, **6**(10), 281-300.

[15] Motorcu A.R., Isıl İşlemsiz ve Küreselleştirilmiş Ç52100 Rulman Çeliğinin Farklı Takımlarla İşlenmesinde Takım Ömrü ve Aşınmasının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2010, **25**(1), 65-75.

[16] Savaşkan M., Taptık Y., Ürgen M., Deney Tasarımı Yöntemi İle Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 2004, **3**(6), 117-128.

[17] Erdem V., Belevi M., Koçhan C., Taguchi Metodu ile Plastik Enjeksiyon Parçalarda Çarpılmanın En Aza İndirilmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,* 2010, **12**(2), 17-29.

[18] Şirin E., Şirin Ş., Turgut Y., Korkut İ., AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu ile Optimizasyonu, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2015, **3**(2), 132-144.

[19] Şenyılmaz A., Kanban Üretim Kontrol Sistemlerinin Deneysel Tasarım Teknikleri ile Analizi ve Bir İşletmeye Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 223063.

[20] Elçioğlu E.B., Experimental and Theoretical Investigations on Alumina-Water Nanofluid Viscosity with Statistical Analysis, Master Thesis, Middle East Technical University, The Degree of Master Science, Ankara, 2013, 341059.

[21] Gümüş B.E., Sustainable Machining of The Magnesium Alloy Materials in The Cnc Lathe Machine and Optimization of the Cutting Conditions, Ph.D. Thesıs, Marmara University, The Degree of Master Science, İstanbul, 2013, 343458.

[22] Şanyılmaz M., Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2006, 182197.

[23] Sünkür E., Ekstrüzyon İşleminde Proses Parametrelerinin Etkisinin Sonlu Elemanlar ile Analizi ve Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2016, 428032.

[24] Montgomery D. C., *Design and Analysis of Experiment*, 5rd ed., John Wiley & Sons,Inc., New York, 2009.

[25] Şirvancı M., *Kalite için Deney Tasarımı*, Birinci basım, Literatür Yayınları, İstanbul, 1997.

[26] Markiewicz E., Ducrocq P., Drazetic P., An Inverse Approach to Determine The Constitutive Model Parameters from Axial Crushing of Thin-Walled Square Tubes**,** *International Journal of Impact Engineering*, 1998, **21**(2), 433-449.

[27] Thamizhmanii S., Saparudin S., Hasan S., Analyses of Surface Roughness by Turning Process Using Taguchi Method, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering,* 2007, **20**(1-2), 503-506.

[28] Fisher R.A., *The Design of Experiments*, 2rd ed., Olıver and Boyd Ltd., London, 1937.

[29] Ryckebusch E.F., Craig I.K., Pid Tuning for a Multivariable Plant Using Taguchi-Based Methods, *15th Triennial World Congress*, Barcelona, 2002.

[30] Khorasani A.M., Yazdi M.R.S., Safizadeh M.S., Tool Life Prediction in Face Milling Machining of 7075 Al by Using Artificial Neural Networks (ANN) and Taguchi Design of Experiment (DOE), *International Journal of Engineering and Technology,* 2011, **3**(1), 30-34.

[31] Azadi R., Rostamiyan Y., Experimental and Analytical Study of Buckling Strength of New Quaternary Hybrid Nanocomposite Using Taguchi Method for Optimization, *Construction and Building Materials*, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.04.018.

[32] Sun G., Fang J., Tian X., Li G., Li Q., Discrete Robust Optimization Algorithm Based on Taguchi Method For Structural Crashworthiness Design, *Expert Systems with Applications*, DOI: 10.1016/j.eswa.2014.12.054.

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

[34] Baynal K., Boran S., Taguchi Tekniği Tabanlı Çok Ölçütlü Yöntem ile Üretim Parametrelerinin Eniyilenmesi, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi,* Gaziantep-Adana, Türkiye, 15-18 Haziran 2004.

[35] Canıyılmaz E., Kutay F., Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2003, **18**(3), 51-63.

[36] Öztop M., Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi ile Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2007, 177680.

[37] Şimşek B., Hazır Betonun Optimal Karışım Oranlarının Belirlenmesi için Bir Çok Yanıtlı Modelleme ve Eniyileme Uygulaması: Topsis Tabanlı Taguchi Yaklaşımı ile Cevap Yüzey Yöntemi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 386353.

[38] Kayı Y., Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006, 181891.

[39] Gencel İ., Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007, 232737.

[40] Cengiz A., Kompozit Çubukların Enerji Sönümleyici Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007, 232657.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Cengiz A., **Kandemir Y**., Taguchi in Automotive Component Design: Geometry Effects On Specific Energy Absorbtion Ratio Of Gfrp Rods, *2nd İnternational Energy & Engineering Conference*, Gaziantep, Türkiye, 12-13 Ekim 2017.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Trabzon'da doğdu. Aslen Akçaabatlı'dır. Trabzon'da ilk ve orta öğrenimini Fatih Ortaokulu'nda ve lise öğrenimini Tevfik Serdar Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lise döneminde senenin başarılı öğrenciler kategorisinde derece öğrenci olarak seçildi. Lise yıllarında Tevfik Serdar Kültür Merkezinde Ney derslerine başladı. 2008 yılında yerleştiği Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinden 2012 yılında mezun oldu. 2012 yılından bu yana Kocaeli Kültür ve Eğitim Vakfı bünyesinde Değerler Eğitimi Eğitmeni olarak görev yapmaktadır.