

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK YANITLI TAGUCHİ OPTİMİZASYONUNDA ROC-CODAS YAKLAŞIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ümmü Gülsüm YILDIZ

**TEMMUZ 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK YANITLI TAGUCHİ OPTİMİZASYONUNDA ROC-CODAS YAKLAŞIMI

Ümmü Gülsüm YILDIZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 / 06 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 13 / 07 / 2021

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi. Hüseyin Avni ES

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışmanın hazırlanması sürecinde fikir ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Avni Es'e ve yüksek lisans tezinde elde etmiş olduğu deneysel çalışma verilerini bu çalışmada kullanmama izin veren Öğr. Gör. Dr. Dursun Meriç'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yüksek lisans eğitimi boyunca üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve okul sürecinde her türlü yardımlarıyla bana destek olan başta Marwa IKOUASSEN olmak üzere tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim. Tez çalışmamızın ilgililere faydalı olması dileğiyle.

Ümmü Gülsüm Yıldız

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çok Yanıtlı Taguchi Optimizasyonunda ROC-CODAS Yaklaşımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Avni Es’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/07/2021

Ümmü Gülsüm Yıldız

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLOLAR DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İnce Cidarlı Tüpler	2
1.2. Enerji Sönümleyici Sistemler	3
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	5
2.1. Tek Yanıtlı Problemlerle İlgili Literatür İncelemesi	5
2.1. Çok Yanıtlı Problemlerle İlgili Literatür İncelemesi.....	9
3. MATERYAL ve METODOLOJİ.....	14
3.1. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu	14
3.1.1. Deney Tasarımı	14
3.1.2. Deney Tasarımının Tarihçesi	16
3.1.3. Taguchi Metodu	17
3.1.4. Taguchi Ürün/Kalite Sistemi.....	18
3.1.5. Robust Tasarım.....	20
3.1.6. Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu.....	20
3.1.7. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü Oranları	22
3.1.8. Taguchi Deney Tasarımının Uygulama Adımları	24
3.2. Çok Yanıtlı Taguchi Yaklaşımı.....	25
3.2.1. ROC Yöntemiyle Kriterlerin Ağırlıklandırması.....	28
3.2.2. CODAS Yöntemi	29
3.2.3. CODAS Tabanlı Taguchi Metodolojisi.....	34

4.	UYGULAMA.....	36
4.1.	Problemin Tanımı.....	36
4.2.	Deney Düzeneği	37
4.3.	Tek Yanıtlı Uygulama	39
4.3.1.	Pik Kuvvet Büyüklüğü (kN)	39
4.3.2.	Enerji Sönümlene Miktarı (J).....	48
4.4.	Çok Yanıtlı Uygulama.....	53
4.4.1.	ROC Metoduna Göre Kriterlerin Ağırlıklandırılması	55
4.4.2.	CODAS Tabanlı Taguchi Yaklaşımının Uygulanması	55
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
6.	KAYNAKLAR.....	71
7.	EKLER	80
	ÖZGEÇMİŞ	

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZET

ÇOK YANITLI TAGUCHI OPTİMİZASYONUNDA ROC-CODAS YAKLAŞIMI

Ümmü Gülsüm YILDIZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Avni ES
2021, 79 Sayfa, 1 Sayfa Ek

Bu çalışmada Taguchi Deneysel Tasarım yöntemi kullanılarak arabaların iskeletine yerleştirilen ve çarpma sonucu hasarları minimize eden ince cidarlı tüplerin, optimum tasarım parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Problem kapsamında enerji sönümlenme performansı optimize edilmek istenmiştir. Ancak çarpma esnasında oluşan enerji sönümlenme miktarı ve oluşan pik kuvvet bu performans üzerinde etkili olmaktadır. Bu sebeple çalışma, iki farklı yanıtın eş zamanlı değerlendirildiği çok yanıtlı bir optimizasyon problemi olarak koşul, malzeme ve açı faktörlerine göre incelenmiştir. Deneysel L18 ortogonal dizilimine göre yapılmıştır. Çalışmanın başlangıcında yanıtla ayrı ayrı Taguchi metodu uygulanmıştır. Elde edilen optimum faktör seviye kombinasyonları farklı olduğundan çalışmanın devamında yanıtlar birlikte değerlendirilmiştir. Çok yanıtlı problemin tek yanıtla hale dönüştürülmesinde ROC-CODAS yaklaşımı kullanılmıştır. Optimum parametreler statik koşul, St52 malzemesi ve 0° açı olarak bulunmuştur. Faktörlerinin yanıtlar üzerinde anlamlı etkisinin olup olmadığını incelemek için varyans analizi yapılmıştır. Buna göre malzeme ve açı faktörlerinin etkisinin anlamlı olduğu, koşul faktörünün ise etkisinin anlamsız olduğu görülmüştür. Faktörlerin enerji sönümlenme performansı üzerindeki etkisinin %99,3'ü geliştirilen doğrusal olmayan regresyon modeliyle ifade edilebildiği gösterilmiştir. Çalışma sonucunda belirlenen optimum parametrelerle tasarlanan tüplerin, çarpma esnasında enerji sönümlenme performansını olumlu etkilemesi nedeniyle daha az hasar oluşturması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çok Yanıtlı Problemler, Taguchi Metodu, ROC, CODAS

MASTER THESIS

SUMMARY

ROC-CODAS APPROACH FOR MULTI-RESPONSE TAGUCHI OPTIMIZATION

Ümmü Gülsüm YILDIZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Hüseyin Avni ES
2021, 79 Pages, 1 Pages Appendix

In this study, it is aimed to determine the optimum design parameters of thin-walled tubes, which are placed on the skeleton of cars and minimize the damage due to impact, using the Taguchi Experimental Design method. Within the scope of the problem, it is desired to optimize the energy absorption performance. However, the amount of energy absorption and the peak force during impact are effective in this performance. For this reason, the study was investigated as a multi-response optimization problem in which two different responses were evaluated simultaneously according to condition, material and angle factors. Experiments were carried out according to the L18 orthogonal array. At the beginning of the study, the Taguchi method was applied to the responses separately. The response were evaluated together in the continuation of the study because the optimum factor-level combinations obtained were different. The ROC-CODAS approach was used to transform the multi-response problem into a single-response problem. The optimum parameters were found as static condition, St52 material and 0° angle. Analysis of variance was performed to examine whether the factors had a significant effect on the responses. It was seen that the effect of material and angle factors was significant, while the effect of the condition factor was insignificant. It has been shown that 99.3% of the effect of the factors on the energy absorption performance can be expressed with the developed nonlinear regression model. It is expected that the designed tubes with the determined optimum parameters will cause less damage due to the positive effect on the energy absorption performance during the impact.

Key Words: Multi Response Problems, Taguchi Method, ROC, CODAS

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Araç gövdesinde kullanılan ince cidarlı yapılar (Meriç,2014).....	2
Şekil 2. Bir sistem veya sürece ait genel akış gösterimi (Okumuş, 2015)	15
Şekil 3. Ford'un tedarikçilerinin kıyaslanması (Şirvancı, 1997).....	21
Şekil 4. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu (Şirvancı, 1997)	22
Şekil 5. CODAS tabanlı Taguchi metodunun işlem adımları	35
Şekil 6. MTS Criterion 45 serisi üniversal test sistemi	38
Şekil 7. Serbest düşme test sistemi.....	39
Şekil 8. Deney numunelerinin görünümü.....	40
Şekil 9. Deney numunelerinin geometrik görünümü ve özellikleri.....	41
Şekil 10. Alt kalıp açılarının görünümü (0°, 15°, 30°)	41
Şekil 11. L18 dizi seçim ekranı	42
Şekil 12. Pik kuvvet için S/N grafiği.....	45
Şekil 13. Pik kuvvet için ortalamalar grafiği.....	45
Şekil 14. Statik ve dinamik koşulda açı ve malzeme faktörlerinin pik kuvvet değerleri üzerinde etkileşimi	47
Şekil 15. Enerji sönümlenme miktarı için S/N grafiği	50
Şekil 16. Enerji sönümlenme miktarı için ortalamalar grafiği	50
Şekil 17. Statik ve dinamik koşulda açı ve malzeme faktörlerinin enerji sönümlenme miktarı üzerindeki etkileşimi	52
Şekil 18. Uygulamanın akış şeması.....	54
Şekil 19. Enerji sönümlenme performansı S/N oranları için ana etkiler	63
Şekil 20. Enerji sönümlenme performansı ortalamalar için ana etkiler	64
Şekil 21. S/N oranı sonuçları ile regresyon modelinin karşılaştırılması	66
Şekil 22. Statik ve dinamik koşulda açı ve malzeme faktörlerinin pik kuvvet değerleri üzerinde etkileşimi	66

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye trafik kaza istatistikleri, 2009-2019	1
Tablo 2. Çok yanıtli problemlere ait literatür matrisi	13
Tablo 3. Faktör ve karşılık gelen seviye değerleri.....	40
Tablo 4. L18 ortogonal dizisine göre oluşturulan deney düzeneği	42
Tablo 5. L18 ortogonal dizilimine karşılık gelen seviye değerleri.....	43
Tablo 6. Yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen pik kuvvet değerleri	44
Tablo 7. Pik kuvvet için yanıt tablosu	46
Tablo 8. Pik Kuvvet ANOVA tablosu.....	46
Tablo 9. Yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen enerji sönümlenme miktarı.....	49
Tablo 10. Enerji sönümlenme için yanıt tablosu	51
Tablo 11. Enerji sönümlenme miktarı ANOVA tablosu	51
Tablo 12. Yanıtların sıra değeri ve ağırlıkları	55
Tablo 13. Yanıtlar ve karşılık gelen S/N oranları.....	56
Tablo 14. Normalize karar matrisi.....	57
Tablo 15. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi	58
Tablo 16. Öklid ve taxicab uzaklıkları	59
Tablo 17. Göreceli değerlendirme matrisi	60
Tablo 18. Değerlendirme puanları.....	62
Tablo 19. Ortalamalar için yanıt tablosu	64
Tablo 20. Çok yanıtli sonuçların ANOVA tablosu	65

SEMBOLLER DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analytic Network Process (Analitik Ağ Prosesi)
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
CODAS	Combinative Distance-based Assessment
CRITIC	Criteria Importance Through Intercriteria Correlation
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DoF	Degree of Freedom (Serbestlik Derecesi)
EDAS	Evaluation based on Distance from Average Solution
GRA	Gray Relational Analysis (Gri İlişkisel Analiz)
GA	Genetic Algorithm (Genetik Algoritma)
j	Kriter Sayısı
MOORA	Multi-Objective Optimization By Ratio Analysis
MOPSO	Multiple Objective Particle Swarm Optimization
NDP	Normalize Değerlendirme Puanı
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik kalkınma ve İş Birliği Örgütü)
r	Önem Derecesi
Rough-AHP	Kaba Kümeleme Teorisi ile Geliştirilmiş AHP
ROC	Rank Order Centroid
S/N	Signal/Noise
SWARA	Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis
TOPSIS	Technic for Order Preference by Similarit to Ideal Solution
VIKOR	Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
w	Ağırlık
WASPAS	Weighted Agg-regated Sum Product Assessment
WSM	Weighted Sum Method (Ağırlıklı Toplam Yöntemi)

1. GİRİŞ

Otomobil, taşıma ve nakliyecilik sektörlerindeki ilerlemelerden dolayı yollarındaki araç yoğunluğu her geçen yıl artmaktadır. Yollardaki araç sayısının artmasıyla kaza sayısında artış, kazalara bağlı olarak maddi hasar, yaralanma ve ölüm sayılarında da artış meydana gelmektedir. Türkiye’de 2009 ile 2019 yılları arasında meydana gelen ve bu kazalar sonucu kaza, ölü ve yaralı sayısı Tablo 1’de verilmiştir. Bu tablodan görülebileceği gibi özellikle yolcu taşıma güvenliği önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumdan dolayı insan güvenliğinin sağlanması amacıyla araştırmacılar tarafından, araçları daha güvenilir hale getirmek için birçok alanda çalışmalar yapılmaktadır (Meriç, 2014).

Tablo 1. Türkiye trafik kaza istatistikleri, 2009-2019

Yıl	Trafiğe Kayıtlı Araç Sayısı	Kaza Sayısı	Ölü Sayısı	Yaralı sayısı
2009	14 316 700	1 053 346	4 324	201 380
2010	15 095 603	1 106 201	4 045	211 496
2011	16 089 528	1 228 928	3 835	238 074
2012	17 033 413	1 296 634	3 750	268 079
2013	17 939 447	1 207 354	3 685	274 829
2014	18 828 721	1 199 010	3 524	285 059
2015	19 994 472	1 313 359	7 530	304 421
2016	21 090 424	1 182 491	7 300	303 812
2017	22 218 945	1 202 716	7 427	300 383
2018	22 865 921	1 229 364	6 675	307 071
2019	23 156 975	1 168 144	5 473	283 234

Kaza oranlarının artmasıyla birlikte araç üreticileri, herhangi bir kaza esnasında enerji sönmleme kabiliyetine sahip malzemelerin kullanılmasına odaklanmışlardır. Enerji sönmleme olayında ve araç şasi tasarımında ön plana çıkan malzeme yapısı, oluşabilecek kazaları azaltmada önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu amaçla araçlarda şasi ve gövde tasarımlarında çarpmayı sönmleyebilecek malzemenin kullanılması yolcu güvenliği ve araç sağlamlığı açısından önem arz etmektedir (Kandemir, 2018).

Ayrıca meydana gelebilecek taşıt kazalarını önlemek için aktif ve pasif olmak üzere 2

çeşit güvenlik önlemi geliştirilmiştir. Bunlardan ilki olan aktif güvenlik önlemleri kazanın oluşmaması için taşıtın frenleme ve kontrol sistemlerini güçlendirmek, kaza ihtimalini sezen ve otomatik olarak devreye giren araç sistemlerinden oluşmaktadır. Pasif güvenlik önlemleri ise bir kaza ile karşılaşılması durumunda araç, kargo ya da yolcuların kazadan en az seviyede hasar görmesini sağlayacak tasarımların ve malzemelerin kullanılmasını kapsamaktadır (Öztürk ve Kaya, 2008; Meriç, 2014). Ancak aktif güvenlik önlemleri kazaların oluşumunu tamamen önlemekte yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı meydana gelen kazaların olası hasarlı etkilerini azaltmak için pasif güvenlik sistemleri önem kazanır hale gelmektedir. Pasif güvenlik önlemleri çarpma boyunca oluşan enerjinin sönümlenmesi temeline dayanmaktadır. Pasif güvenlik sistemlerinin en önemli uygulaması ise ince cidarlı yapılarıdır. Kalınlıklarına göre yük taşıma kapasitesinin yüksek olduğu ince cidarlı yapılar, enerji sönümleyici elemanlar olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Uçak, gemi ve otomobillerdeki parçaların çoğu ince cidarlı yapılardan oluşmaktadır (Meriç, 2014).



Şekil 1. Araç gövdesinde kullanılan ince cidarlı yapılar (Meriç,2014)

1.1. İnce Cidarlı Tüpler

İnce cidarlı yapıların en yaygın çeşidi ince cidarlı tüplerdir. Bu tip yapılar düşük maliyetli ve kolay üretilebilen enerji sönümleyici yapılar olmasıyla Şekil 1’de görüldüğü gibi araçların üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir (Nagel, 2005). İnce cidarlı tüpler; dairesel, kare ve çokgen gibi farklı kesit özelliklerine sahip olabilirler. Bunlar içerisinde yaygın kullanılanlarının başında dairesel ve kare kesitli düz tüpler gelmektedir. Ayrıca konik

tüpler, S şeklindeki tüpler, petek yapılar, kompozit tüpler, köpük veya kum dolgulu tüpler enerji sönümleyici olarak kullanılan diğer ince cidarlı tüp yapılarıdır. Silindirik ve kare tüpler aksel çarpışma, aksel altüst (ters) olma, aksel yarılma, yanal bükülme, yanal basma, yanal düzleşme gibi çeşitli şekillerde enerji sönümlemeye sahiptirler. Bunlar arasında metalik silindirik tüpler düşük ağırlıklı yüksek dayanım ve sertlik, düşük maliyet ve kolay üretim gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir (Salehghaffari, 2010).

1.2.Enerji Sönümleyici Sistemler

Enerji sönümleyici sistemler kinetik enerjiiyi tamamen ya da kısmen başka bir tür enerjiye dönüştüren sistemlerdir. Enerji dönüşümü sıkıştırılabilir akışkanlarda basınca, katılarda ise elastik ve plastik şekil değiştirmeye dönüşür. Elastik şekil değiştirme enerjisi tekrar geri kazanılırken plastik şekil değiştirmede enerji geri kazanılmaz ve kalıcı plastik deformasyon oluşur. Metalik sistemlerde yüksek enerjiiyi sönümleyebilmek için kaliteli bir enerji sönümleyici, kinetik enerjiiyi geri kazanımsız olarak plastik deformasyon enerjisine dönüştürecek şekilde tasarlanmalıdır. Geri kazanımsız enerji; plastik deformasyona, sürtünme enerjisine ya da kırılma enerjisine dönüşebilir (Meriç, 2014).

1960'lı yıllardan günümüze kadar çok çeşitli enerji sönümleyici sistemler otomobil, havacılık, denizcilik ve lokomotif endüstrisi gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları arasında otoyol kenarlarındaki çarpışma bariyerleri, nükleer reaktörlerin korunması, uçaklar, endüstriyel uygulamalar, motosiklet kaskları, deniz yapıları sayılabilir. Kullanım alanı çok olduğundan enerji sönümleyiciler ile alakalı çalışmalar silindirik ve kare tüpler üzerine yoğunlaşmıştır. Aksel çarpışma işlemleri yanal çarpışmalara göre daha büyük enerji sönümlerken, aksel çarpışmada pik kuvvetin büyüklüğü bir dezavantajdır. Pik kuvvetin büyüklüğü, ilk çarpışma anında araca ve içindekilere yüksek kuvvetler etki edeceğinden ciddi yaralanmalara (iç kanamalara) neden olmaktadır (Meriç, 2014).

Bu sebeple enerji sönümleyici sistemlerin tasarımındaki amaç, çarpma esnasında enerjiiyi kontrollü olarak sönümleyerek insan güvenliğini sağlamak ve olası yaralanmaları ve hasarları en aza indirmektir (Nagel, 2005).

Bu tez çalışmasının konusu enerji sönümleyici sistemlerden olan ince cidarlı düz tüplerin tasarımı için uygun parametre ve seviye değerlerini analiz etmektir. Çarpışma esnasında kalıcı plastik deformasyona uğrayan bu tüplerin statik ve dinamik koşullarda farklı malzemeler ve farklı alt kalıp açıları ile deneyler yapıp enerji sönümleme performansı

incelenmiştir. Deneyleyler Taguchi yönteminin ilkelerine göre yapılmıştır. Deneyleylerle enerji sönümlleme performansını etkileyen çarpma kuvvetine göre en aza indirilmek istenen pik kuvvet değeryleri ve çarpışma enerjisinin sönümlenmesine karşılık gelen enerji sönümlleme miktarları elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre uygun tasarım parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada diğery çalışmalardan farklı olarak ROC (Rank Order Centroid) yöntemi kullanılarak kriterlerin enerji sönümlleme performansı üzerindeki önemi belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra sinyal/gürültü oranları ve ağırlıklar ile normalize karar matrisi oluşturularak, çok yanıtly olan problemin tek yanıtly hale dönüştürülmesi için CODAS (Combinative Distance-based Assessment) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen değerylere Taguchi metodu uygulanarak işlemleri optimize eden faktör ve seviye kombinasyonu belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürde yer alan tek yanıtly ve çok yanıtly problemlerin uygulamaları hakkında yapılan tez ve makale çalışmaları incelenmiştir. Çok yanıtly problemler literatür matrisi şeklinde tabloda gösterilmiştir. Üçüncü bölümde bu çalışmada kullanılan Taguchi yöntemi hakkında bilgi verilmiş, metodolojisi anlatılmıştır. Ayrıca bu tezde özgün olarak çalışılan ROC-CODAS yöntemleri de tanıtılmış, uygulama adımları anlatılmış ve literatürdeki çalışmaları ele alınmıştır. Dördüncü bölümde ilk olarak problem tanıtılmış, deney düzeneğı ve tüp yapısı hakkında bilgi verilmiştir. Ardından tek yanıtly ve çok yanıtly problemin uygulanması gösterilmiştir. Sonuçlar analiz edilerek, optimum tasarım parametreleri elde edilmiştir. Beşinci bölümde çalışma ile varılan sonuçlar, değerylendirmeler ve öneriler yer almaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Taguchi tekniği bir optimizasyon aracı olarak verimli sonuçlar verdiği için her geçen yıl araştırma alanları çeşitlenmiştir. Literatürde tekstil, çevre, enerji, inşaat, finans, gıda, malzeme ve imalat gibi alanlarda deneysel araştırmaların yapıldığı gözlemlenmiştir. Organizasyonlar optimizasyonu yapılması istenen işlemin tek olduğu durumlarda (tek bir kalite karakteristiği durumu) Taguchi'nin geleneksel yöntemini kullanmışlardır. Ancak bazı durumlarda kaliteye etki eden aynı faktörlerle birden fazla iyileştirilmesi istenen kalite karakteristiğinin olması Taguchi tekniğini yetersiz kılmıştır. Bu sebeple araştırmacılar birden fazla kalite karakteristiğinin olduğu yani çok yanıtlı durumlarda bu çok yanıtlı problemi tek yanıtlı hale çevirmişlerdir. Çok yanıtlı optimizasyon adını alan bu bütünleşik metotta çok kriterli karar verme tekniklerinden yararlanmışlardır. Yanıtlara uygulanan Taguchi tekniğine daha sonra seçilen ÇKKV yöntemi uygulanarak problem tek yanıtla dönüştürülmüş ve optimum faktör-seviye kombinasyonu seçilmiştir. Yapılan doğrulama deneyleri ile yöntemin sonuçlarının kabul edilebilir ve kalite üzerinde güvenilir olduğunu gösterilmiştir. Bu çalışmada tek yanıtlı ve çok yanıtlı olmak üzere literatürde iki tür araştırma yapılmıştır. Yapılan taramaya ilk olarak tek yanıtlı problemlerle başlanmış ardından çok yanıtlı problemlere yer verilmiştir.

2.1. Tek Yanıtlı Problemlerle İlgili Literatür İncelemesi

Taylan (2009), bir askeri tesiste bünyesindeki atölyelerden günlük olarak açığa çıkan üç farklı kimyasal maddenin doğaya zarar vermemesi için fırınlarda yakılarak bertaraf edildiği bir vaka çalışmasında Taguchi Metodundan yararlanmıştır. Fırının en uygun çalışma şartları altında A, B ve C maddelerinin belirlenen düzeylerde günlük toplam yakılan miktarının en büyük olmasını hedeflemiştir. Balık kılçığı diyagramıyla faktörler belirlenmiştir. Atılan maddeler fırın sıcaklığını etkilediği için deneyler bu noktaya dikkat edilerek üçer kez tekrar edilmiştir. Deney sonuçlarını ANOVA ve hesap tablosu analizleri ile yorumlamıştır. Son olarak doğrulama deneyi yaparak Taguchi sonunda önerilen faktör seviye kombinasyonu ile %18 daha yüksek bir değere ulaşmıştır. Bu durumun analiz sonuçlarıyla tutarlı olduğunu söylemiştir.

Erdem vd. (2010), çalışmalarında Taguchi metodunu kullanarak plastik parçaların üretiminde etkili olan; farklı ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri ve yolluk tasarımı parametreleri ile üründe oluşan çarpılmanın en aza indirilmesini amaçlamışlardır. Kontrol faktörleri olarak ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri, yolluk tasarımı seçilmiş ve deney kalıbı tasarlanıp imal edilmiştir. Kalıp tasarımı aşamasında ve çarpılma değerlerinin kullanılmasında üç seviyeli Taguchi L9 ortogonal deney tasarım metodu kullanılmıştır. Ardından varyans analizinin yapılmasıyla çarpılma miktarını etkileyen en önemli faktörün %50,196'lık bir payla ürün tasarımı olduğu görülmüştür. Faktörlerin optimum seviyeleri ile yapılan doğrulama testi sonuçları plastik enjeksiyon kalıplama işleminde çarpılmaların azaltılmasında Taguchi Metodunun uygun bir metot olduğunu göstermişlerdir.

Özyonar vd. (2013), çalışmalarında tekstil atık suyunun arıtımında önemli olan elektrokoagülasyon prosesini Taguchi deneysel tasarım metodunu kullanarak bu prosese etki eden parametreleri optimize etmişlerdir. Her biri 4 seviyeli olan parametreler, başlangıç pH'ı, akım yoğunluğu, iletkenlik, elektroliz süresi ve elektrotlar arası mesafedir. L16 deneysel dizini dikkate alınarak sürece ait optimum parametre değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca tahminsel hesaplama da yapılarak deneysel hesaplama sonucu ile karşılaştırılmıştır. Sırasıyla iki yöntem sonunda atık giderme verimi %76,8 (tahmin) ve %75,1 (deneysel) olarak bulunmuştur. Bu iki değer birbirine yakın çıkmasıyla modelin böyle bir prosese etki eden parametrelerinin optimum şartlarının belirlenmesinde başarılı bir şekilde kullanabileceğini göstermişlerdir.

Karagöz (2014), tez çalışmasında Taguchi metodunu hava aracı kanat tasarımı sürecine uygulamış, bu metotla endüstriyel uygulanabilirliğinin incelenmesini hedeflemiştir. Kanat tasarımı performans karakteristiği için 2 seviyeli 3 adet faktör belirlemiştir. L8 ortogonal dizisi kullanılarak kanat türü, Reynold sayısı ve hücum açısı faktörleri ile deneyler yapıp, bu sonuçlara göre en önemli ve en belirleyici faktörün Reynold Sayısı olduğu sonucuna varmıştır.

Erkan ve Yücel (2018), çalışmalarında delme işlemi sırasında optimum işleme parametrelerinin seçimi için yeni bir yöntem tasarlanmış ve performanslarını araştırmışlardır. Delme işlemi kontrol parametreleri dört farklı kesme hızı dört farklı ilerleme ve iki farklı matkap uç açısı olarak belirlenmiştir. Deney sonuçları Minitab17 yazılımında çözümlenmiştir. Taguchi'nin en küçük ve en iyi performans karakteristiği için hesaplanan S/N verilerine göre optimum yüzey pürüzlülüğü değerinin (0,588 μm), deney parametre kombinasyonu uç açısı 118° , kesme hızı 30 m/dk ve ilerleme hızı 0,06 mm/dak

olduğunda elde edileceğini hesaplanmıştır.

Arıcı ve Keleştimur (2018), çalışmalarında Taguchi metodunu kullanarak tufal katkılı harçların basınç dayanımının analizini yapmışlardır. Deneysel tasarım aşamasında 4 kontrol faktörü belirlenmiştir. Bunlar ince tufal (0-0.25 mm), iri tufal (0.25-1 mm), su/çimento oranı ve çimento dozajıdır. L16 ortogonal dizisi seçilmiş ve seriler bu diziye göre hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlarına göre basınç dayanımı için optimum değerler; 0-0.25 mm'lik tufalde %15, 0.25-1 mm'lik tufalde %5, S/Ç oranı 0.50 ve 500 kg. dozaj değerleri olarak bulunmuştur. Varyans analizi ile parametrelerin basınç dayanımına etkileri belirlenmiştir. Ayrıca optimum değeri veren seri için doğrulama deneyi yaparak analiz sonucu ile kıyaslamışlardır.

Özkan (2018), tez çalışmasında katı atık depolama sahasında oluşan sızıntı suyunun arıtılması için elektrokoagülasyon prosesini Taguchi yöntemi ile optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. L25 ortogonal dizisine göre 5 seviyeli olarak belirlediği faktörler akım yoğunluğu, pH ve reaksiyon süresidir. Bu seviye ve faktörler ile KOİ, çözülmüş KOİ ve renk kalite karakteristikleri üzerinde ayrı ayrı Taguchi uygulayarak en iyi giderim elde edilen faktör ve seviyelerini belirlemiştir. ANOVA yöntemi ile de varyans analizi yaparak deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçların modele uygunluğunu test etmiştir.

Kandemir (2018), Taguchi yaklaşımının otomotiv komponent tasarımına uygulanabilirliğini inceleyerek; cam fiber takviyeli plastik çubuk malzemenin dar kesitlerden geçirilerek deforme olmasıyla ortaya çıkan spesifik enerji sönümlenme oranını değiştiren faktörlerin etkilerini araştırmıştır. Çalışmada kullanılan faktör ve seviyeler beyin fırtınası ile belirlenip balık kılçığı diyagramı ile gösterilmiştir. Minitab 16 programı kullanılarak veriler sisteme girilip L8 ve L16 ortogonal dizilerine ait S/N oranları, regresyon denklemleri, etki yüzdeleri, değişim sıralamaları ve yüzdelik katsayıları hesaplanarak varyans analizleri karşılaştırılmıştır.

Özlu vd. (2019), çalışmalarında kaplamalı ve TiB2 kaplamalı kesici takımlar ile AA6061 alaşımının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Faktörler kesici takım kaplamasının türü, kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği olarak belirlenmiştir. Kısa gösterim için faktörler sırasıyla A,B,C ve D olarak gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün en küçük değeri için kontrol faktörlerinin en iyi seviyesi en büyük S/N oranı gösterdiğinden optimum yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörleri ve seviyeleri A1B2C1D1 olarak belirlenmiştir. Optimum yüzey pürüzlülüğü değeri kaplamasız karbür kesici takımla, 300 m/dak kesme hızında, 0.1 mm/dev ilerleme miktarında ve 1 mm talaş derinliğinde 0.46 µm olarak belirlenmiştir. Varyans analizi

sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametre % 64.28 katkı oranı ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur.

Kumar vd. (2020), çalışmalarında, AA2024 alaşımının Taguchi Tekniği ile CNC Tornalamada daha yüksek malzeme kaldırma oranı elde etmeyi amaçlamışlardır. Hız, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin AA2024'ün malzeme çıkarma hızı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kesme parametrelerini optimize etmek için Taguchi metodolojisi uygulanmıştır. Faktörler 4 seviyeli olacak belirlenmiş, deneyler L16 dizisi kullanılarak yapılmıştır. Araştırma ile malzeme çıkarma hızının doğrudan kesme hızı, ilerleme hızı ve derinliği tarafından yönlendirildiğini ortaya koymuşlardır.

Özakın ve Kaya (2020), çalışmalarında farklı malzeme ve konfigürasyonlarda kanatçıklar kullanılarak PVT (photovoltaic thermal)'nin elektriksel, ısı ve ekserji verimleri deneysel olarak incelenmiş, ısı ve ekserji verimliliklerini etkileyen faktörlerin optimizasyon analizini yapmışlardır. Hem monokristal hem de polikristal panellerde bakır, alüminyum ve pirinç malzemelerden yapılan kanatların sık ve seyrek konfigürasyonlarına göre deneyler yapılmış ve kanatsız durumları karşılaştırılmıştır. Her biri 3 seviyeli 3 faktörün termal ve ekserji verimliliklerini etkileyen en iyi kombinasyonunu belirlemek için Taguchi yönteminden yararlanılmıştır. Her iki verimi de etkileyen faktörlerin katkı oranlarını belirlemek için varyans analizi yapılmış, tüm deneyler için her iki verimlilikte en etkili faktörün kanat malzemesi ve ardından sırasıyla hava hızı ve panel sıcaklığı olduğunu bulmuşlardır.

Cengiz (2021), tez çalışmasında parkelerde yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılan emprenyeli kağıtların üretim sürecine ait renk, parlaklık ve leke kalite karakteristiklerini iyileştirmek istemiştir. Faktörler AL_2O_3 partikül boyutu, yüzey modifikatör ajanı ve melamin tozu hammaddesi olmak üzere L18 ortogonal dizisini kullanarak deneyleri üçer kez uygulamıştır. Bu faktörlerin kalite karakteristikleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığını ayrı ayrı test etmiş ve sonuçlara göre Taguchi metodunda sadece leke kalite karakteristiğine yer vermiştir. İstatistiksel analizler sonucu elde edilen en iyi değer melamin tozu hammaddesinde A_2 'nin, partikül boyutunda 30-60 μm 'nin ve yüzey modifikatör ajanında ise N-((3-trimetoksisilil) propil) etilendiamin'in olduğunu tahmin etmiştir. Doğrulama deneyine göre de analiz sonuçlarının tutarlı olduğunu göstermiştir.

2.2. Çok Yanıtlı Problemlerle İlgili Literatür İncelemesi

Liao (2003), Taguchi yöntemini kullanarak çok yanıtlı problemi etkili bir şekilde optimize etmek için, işlem kabiliyeti oranı (PCR) teorisine ve ideal çözüme (TOPSIS) benzerlikle sipariş tercihi teorisine dayanan çok yanıtlı bir tahmin modeli önermiştir. 2 vaka üzerinde başlangıç koşulları belirlenmiş, önerilen yeni tahmin modelinin sonuçları karşılaştırılmıştır. ANOVA'da hangi faktörlerin daha etkin olduğu analiz edilmiştir. Sonuç olarak önerilen optimum PCR-TOPSIS'in uygulanabilir ve etkili olduğunu doğrulanmıştır. İlk vakada tozaltı ark kaynağı işleminin kalitesini artırmak için beş kontrol edilebilir faktör belirlenmiştir. Bunlar ark akımı, ark gerilimi, kaynak hızı, elektrot çıkıntısı ve ön ısıtma sıcaklığıdır. Optimize edilmesi beklenen iki cevap ise şunlardır: birikme oranı (ne kadar yüksekse o kadar iyidir) ve seyreltme (ne kadar küçük o kadar iyi). Her kontrol edilebilir faktörün iki seviyesi vardır. Ayrıca bu örnek için L8 dizisi seçmiştir. İkinci vakada enjeksiyon kalıplama işleminin kalitesini arttırmak için kontrol edilebilir yedi faktör belirlenmiştir. Bunlar kalıplama sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, tutma basıncı, enjeksiyon süresi, tutma süresi, soğutma süresi ve doldurma saatidir. Optimize edilmesi beklenen iki yanıt şunlardır: dış çap (nominal en iyi) ve yükseklik (nominal en iyi). Her kontrol edilebilir faktörün iki seviyesi vardır. Bu örnek için de L8 dizisi seçilmiştir.

Baynal (2003), çalışmasında otomatik sektörde tedarikçi rolü olan bir işletmenin far kumanda kolu şapkası ürünü üretiminde karşılaşılan problemi gidermiştir. Ürünün baş kısmında oluşan bombelik ve parlaklığın giderilmesi, ağırlık ve boyutun da hedef değerler civarında gerçekleştirilmesi amacıyla 3 yanıtlı, her biri 3 seviyeli 13 faktörü içeren L27 tasarımıyla deneyler yapmıştır. Daha sonra her bir yanıt için kalite kaybını normalleştirilmiş, normalleştirilen kalite kaybını hesaplamıştır. Hesaplama yaparken yanıtlara ağırlık vermiştir. Son olarak her bir deney için sinyal/gürültü oranını hesaplamıştır. Bu sonuçlara göre hangi faktörün hangi yanıt için daha etkili olup olmadığı gibi yorumlamalar yapmıştır. Yapılan doğrulama deneyi ile çalışma sonucunda elde edilen optimum faktör/seviye kombinasyonunun üç kalite karakteristiği için de çok daha iyi bir durum ortaya çıkardığını söylemiştir. Aynı adımlarla Baynal ve Gencel (2015), çalışmalarında bu sefer bir gıda işletmesine ait suma üretimindeki fermantasyon sürecini Taguchi ile incelemişlerdir.

Kopac ve Krajnik (2007) yüzey frezeleme parametrelerini GRA destekli Taguchi yaklaşımı ile optimize etmişlerdir. Eşzamanlı olarak frezelenmiş yüzey pürüzlülüğünü ile sonuçta ortaya çıkan kesme kuvvetini en aza indirecek ve malzeme kaldırma oranını

maksimize edecek optimum faktör-seviye kombinasyonu için L18 tasarımını kullanmışlardır.

Kuo vd. (2008), çok yanıtli benzetim sorununu çözmek için Gri İlişkisel Analiz (GRA) tabanlı bir Taguchi yöntemi önermişlerdir. Çalışmalarında L18 ortogonal dizisini kullanmışlardır. Önerdikleri gri tabanlı Taguchi yaklaşımı ile literatürde çalışılan diğer yöntemlerin performansı ile farklılıkların önemli olmadığını göstermişlerdir.

Biswas vd. (2009), çalışmada tozaltı ark kaynağının çok kriterli optimizasyon problemini çözmek için Taguchi yöntemiyle hibritlenen ÇKKV yöntemlerinden VIKOR yönteminin uyarlanmış modelini önermişlerdir. Hafif çelik plakalar (10 mm kalınlığında) üzerindeki plaka üzerine daldırılmış ark kaynağı optimizasyonu için belirlenen faktörler voltaj kombinasyonu (V), tel besleme hızı (F), dönüş hızı (S) ve elektrotun dışarı çıkmasıdır (N). Her bir faktörün 5 seviyesi vardır. Buna göre L25 dizisi tasarımına göre Taguchi tabanlı VIKOR işlemleri gerçekleştirilmiştir. Optimize edilmesi beklenen yanıtlar şunlardır: penetrasyon derinliği, takviye, boncuk genişliği ve seyreltmedir. Yanıtları optimum yapacak faktör seviyeleri V1F5S4N4 olacak şekilde analiz edilmiştir.

İç ve Yıldırım (2012), bir çamaşır makinesinin iki yanıtli yıkama performansını geliştirmek üzere TOPSIS, GRA ve VIKOR yöntemlerini Taguchi yöntemi ile bütünleşik olarak kullanarak yıkama performansına etkiyen en iyi faktör seviyelerinin belirlendiği bir çalışma sunmuşlardır. Farklı yöntemlerden elde edilen sonuçları birbirleriyle karşılaştırmış ve optimum faktör kombinasyonlarını elde etmişlerdir. Ses düzeyine etki eden faktörleri gövde yan panel derinliği, gövde kalınlığı, motor izolasyonu ve kayış kalınlığı olarak belirlemişlerdir. Çamaşır makinesi tasarımında en iyilenmesi beklenen iki performans yanıtı, minimumu makinenin ses gücü ile maksimum rezonansa girdiği sıkma devridir. Her faktörün iki seviyesi vardır. Ayrıca bu örnek için L8 dizisi seçilmiştir. Sonuç olarak GRA, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile aynı faktör seviyeleri optimum seviye olarak elde edilmiştir. Faktörlerin optimum seviyeleri A2B2C1D1 kombinasyonu ile ses seviyesi 51 (dBA) ve rezonansa girilen sıkma devri 1680 (d/d) olarak tespit edilmiştir.

Akgül vd. (2016), tekstil sektöründe iplik eğirme makinesinin işlem parametlerini en iyilemeye yönelik 7 yanıtli iplik özelliklerini tek yanıtla dönüştürmek için MOORA tabanlı Taguchi yöntemi uygulamışlardır.

İç vd. (2016), çalışmalarında üç faktörlü ve her faktör için üç seviye bulunan, en fazla üç kalite karakteristiğine sahip herhangi bir kalite iyileştirme probleminin parametrelerinin optimizasyonu bir bilgisayar uygulaması geliştirmişlerdir. Deneylerin yapılması ve kalite

karakteristiklerine ait ölçüm sonuçlarının alınmasının ardından TOPSIS yöntemi kullanılarak çok yanıtlı problem tek yanıtlı bir hale dönüştürülmüştür. Deneyleri Taguchi'nin L9 ortogonal tasarımına uygun planla yapmışlardır. Geliştirdikleri bilgisayar uygulamasıyla bir ve birden fazla kalite karakteristikli herhangi bir parametre tasarım problemini en iyileyebileceğini göstermişlerdir

Himmetoğlu (2016), tez çalışmasında çoklu yanıt problemini tek yanıtlı hale çevirmek için çok kriterli karar verme yöntemi olan MOORA-Oran metodunu kullanmıştır. Betonun kalitesini belirleyen performans kriterlerinin optimizasyonu ile karışım oranlarını belirlemiştir. L9 ortogonal dizisiyle oluşturulan deney tasarımında her biri 3 seviyeli 3 faktörü silis dumanı, su/çimento oranı ve çimento dozajı şeklinde ifade etmiştir. Ayrıca tek yanıtla dönüştürmek istediği performans kriterleri de sarsma tablası yayılma değeri, 28 günlük basınç dayanımı, 7 günlük basınç dayanımı, 3 günlük basınç dayanımı, taze ve sertleşmiş haldeki betonların kuru yüzey doygun ağırlıkları ve 28 günlük betonlara ait ultrasonik ses dalgası hızlarıdır. Kriterlerin ağırlıklarını da Rough-AHP yöntemi ile hesaplamıştır. Taguchi sonuçlarına göre optimum beton karışım oranının %20'lik silis dumanı, 0,3'lük su/çimento oranı ve 450 kg/cm³ çimento dozajı ile olduğunu bulmuştur.

Ekincioglu (2016), tez çalışmasında parça kurulum süresini azaltmayı amaçlamıştır. Geleneksel SMED yöntemiyle süre azaltması yaptıktan sonra, ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden Sue Rodgers metodunu esas alarak yeni SMED yaklaşımını uygulamıştır. Ancak bazı durumlarda proses bileşenlerinde SMED uygulamaları ile etkin bir iyileşme elde edilemediği için bu noktada Taguchi tekniğinden faydalanmıştır. Süre ve ergonomik riski eş zamanlı olarak minimize etmek istediğinden çok yanıtlı Taguchi uygulamasına Gri İlişkisel Analiz yöntemini dahil etmiştir. Yaptığı bu çalışma sonucunda parçanın kurulum süresini 196 dakikadan 73,5 dakikaya düşürmüştür. Ayrıca aylık 10,2 saat yıllık ise 112 saatlik bir kazanç elde etmiştir.

Azadeh vd. (2017), çalışmalarında bozulabilir tek bir ürünün varlığında aktarmalı envanter yönlendirme problemi modelini sunmuşlardır. Modelin NP-hard yapısı nedeniyle, sorunu çözmek için genetik algoritmaya dayalı bir yaklaşım oluşturmuşlardır. Genetik algoritma parametrelerini ayarlamak için Taguchi tasarım yöntemini uygulayarak optimuma yakın çözümü elde etmişlerdir. Ayrıca önerilen model ve algoritmanın geçerliliğini sayısal bir örnek üzerinden doğrulamışlardır.

Pattanaik vd. (2018), çalışmalarında kaynak işlemleri üzerinde çekme-kesme dayanımı ve anahtar deliği çapının tepkilerini ölçmek üzere Gri tabanlı Taguchi metodundan

faydalanmışlardır. Her biri 3 seviyeli takım dönme hızı(A), takım dalma derinliği(B) ve bekleme süresi(C) olarak alınan kontrol parametreleri ile L18 dizisine göre deneyler yapmışlardır. Deneyler arasında en iyi çoklu performans karakteristikleri A3B2C3 kombinasyonu şeklinde bulunmuştur. Ayrıca bekleme süresinin kaynak işleme ait en önemli parametresi olduğu belirtilmiştir. Son olarak yaptıkları doğrulama deneyi ile optimizasyon sonuçlarına yakın değerler elde etmişlerdir.

Jena vd. (2021) çalışmalarında bir dizel motorunun performans ve emisyon özelliklerini optimize etmişlerdir. Bunun için yük, sıkıştırma oranı ve karışım olarak belirlenen parametrelerin etkileri, fren termal verimliliği (BTE) ve nitrojen oksitleri (NOx) çıktıları için ayrı ayrı istatistiksel olarak Taguchi yöntemi ile araştırmışlardır. Sonuçlar optimum değerlerin farklı seviyelerde olduğunu göstermiştir. Bu farklılığı kaldırmak için Taguchi yöntemine eşlik eden Gri İlişkisel Analiz metodunu kullanmışlardır. L16 ortogonal dizisi ile yaptıkları deneyler sonucunda optimum faktör ve seviyeleri yük %100, karışım B20 ve 17.5 sıkıştırma oranı şeklinde bulmuşlardır. Son olarak yapılan varyans analizi ile yükün en önemli ve etkili faktör olduğunu ortaya koymuşlardır.

Taguchi ve ÇKKV tekniklerinin entegre şekilde kullanıldığını özetleyen literatür matrisi (Tablo 2) incelendiğinde CODAS metodu ilk kez bu tez çalışması ile literatüre kazandırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada Taguchi metodu ile birden fazla yanıtların olduğu problemlerin uygulanmasında yeni bir ÇKKV yönteminin sade ve basit adımlarla anlatılması amaçlanmıştır.

Tablo 2. Çok yanıtli problemlere ait literatür matrisi

Çalışma	Çözüm Yöntemi	Ortogonal Dizi
Liao (2003)	TOPSIS	L8
Yang ve Chou (2005)	TOPSIS	L18
Kopac ve Krajnik (2007)	GRA	L18
Haq vd. (2007)	GRA	L9
Kuo vd. (2008)	GRA	L18
Biswas vd. (2009)	VIKOR	L25
Datta vd. (2009)	Entropy-GRA	L25
Hsiao vd. (2010)	GRA	L18
İç ve Yıldırım (2011)	GRA, TOPSIS, VIKOR	L8
Subbaya vd. (2012)	GRA	L9
Şimşek vd. (2013)	TOPSIS	L18
Yuhan-Kang vd.(2013)	ACS	L4
Yildiz (2013)	DEA	L16
Das vd. (2014)	GRA	L9
Mohan ve Muthuramalingam (2014)	GRA	L27
Sarıkaya ve Güllü (2015)	GRA	L9
Sarıkaya vd. (2015)	GRA	L9
İç vd. (2016)	TOPSIS	L9
Himmetoğlu (2016)	Rough-AHP, MOORA	L9
Ekincioglu (2016)	GRA	L8
Ali Raza vd.(2016)	GRA	L9
Sivapragash (2016)	GA	L18
Tsai ve Liukkonen (2016)	Fuzzy-GA	L18
Akgül vd. (2016)	MOORA	L9
Azadeh vd. (2017)	GA	L16
Kamble vd.(2017)	HTPCA	L27
Ouyang vd.(2017)	ANN-GA	L9
Shinde ve Pawar (2017)	GRA	L27
Pattanaik vd. (2018)	GRA	L18
Sharma vd.(2018)	Entropy-GRA	L9
Alizadeh ve Omrani (2019)	RDEA	L27
Arıcı ve Keleştimur (2019)	GRA	L16
Canpolat vd. (2019)	GRA	L27
Dodo vd. (2019)	GRA	L9
Kumar ve Singh (2019)	GRA	L9
Li ve Zhu (2019)	Fuzzy-ANP	L18
Carlos vd. (2020)	CRITIC-WASPAS	L18
Avikal vd. (2020)	GRA	L9
Mojaver vd. (2020)	AHP-TOPSIS	L25
Jena vd. (2021)	GRA	L16
Mandal ve Mondal (2021)	MOPSO-TOPSIS	L9

ACS:Ant Colony System, HTPCA:Hybrid Taguchi Principal Component Analysis, ANN: Artificial Neural Network, RDEA:Robust Data Envelopment Analysis, DEA:Differential Evolution Algorithm

3. MATERYAL VE METODOLOJİ

3.1. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu

3.1.1. Deney Tasarımı

Araştırmacılar tarafından bir prosesin, sistemin veya ürünün belirli bir karakteristiğini, özelliğini veya o proses veya sistemin bir parçasına ait detayları incelemek üzere yapılan gözlemlere deney denilmektedir. İstatistikte deney, planlanmış bir iş olarak yeni gerçekler elde etmek, önceki sonuçları doğrulamak, desteklemek veya reddetmek üzere yapılmaktadır (Şanyılmaz, 2006). Bir deney, iki duruma ait sonuçların karşılaştırılması gibi basit bir uygulama gerektirebilecekken, çok karmaşık bir deney tasarım uygulamasını da gerektirebilmektedir (Taylan, 2009).

Herhangi bir proses, ürün veya sistem tasarımında karşılaşılan vakalarda en iyi sonuçların elde edileceği şartları sağlayabilmek için performans özelliği belirlenerek bu özelliği etkileyen faktörler incelenmektedir. Bu faktörlerin performans yanıtı üzerindeki etkilerinin ve en uygun kombinasyonunun tespit edilebilmesi için kontrol edilemeyen faktörlerle deneyler yapılır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen performans göstergesi değerlendirilerek en uygun şartlar bulunur. Bu yaklaşım ile deneyler sisteme sorulan soru, deney sonuçları da sistemin verdiği cevap olarak algılanabilir. Kritik olan nokta ise doğru cevabın alınabilmesi için doğru sorunun sorulmasıdır (Yıldırım, 2011; Himmetoğlu, 2016).

Deney tasarımı, bir prosesteki girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin yapılmasıyla yanıt değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlemlenmesi, elde edilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanabilir (Besterfield vd., 1995). Deney tasarımı ile sonuç üzerinde en etkin olan girdi faktörü ile bu faktörlere ait iyileştirilmesi istenen performans karakteristiğini hedef değere en yakın ulaştıracak seviyeleri belirlenebilmekte ve kontrol edilemeyen girdi faktörlerinin yanıt üzerindeki etkisinin en az olacağı kontrol edilebilen girdi faktörleri kombinasyonu oluşturulabilmektedir (Şanyılmaz, 2006).

Deney tasarımında kullanılan temel kavramlar aşağıda ifade edilmektedir.

Kalite: Kullanım için uygunluk olarak tanımlanmaktadır.

Kalite İyileştirmesi: Ürün veya üretim sürecindeki varyasyonun (değişkenliğin) azaltılmasıdır.

Kalite (Respos) Değişkeni: Deney tasarımı yapılarak incelenmek istenen ve süreçte

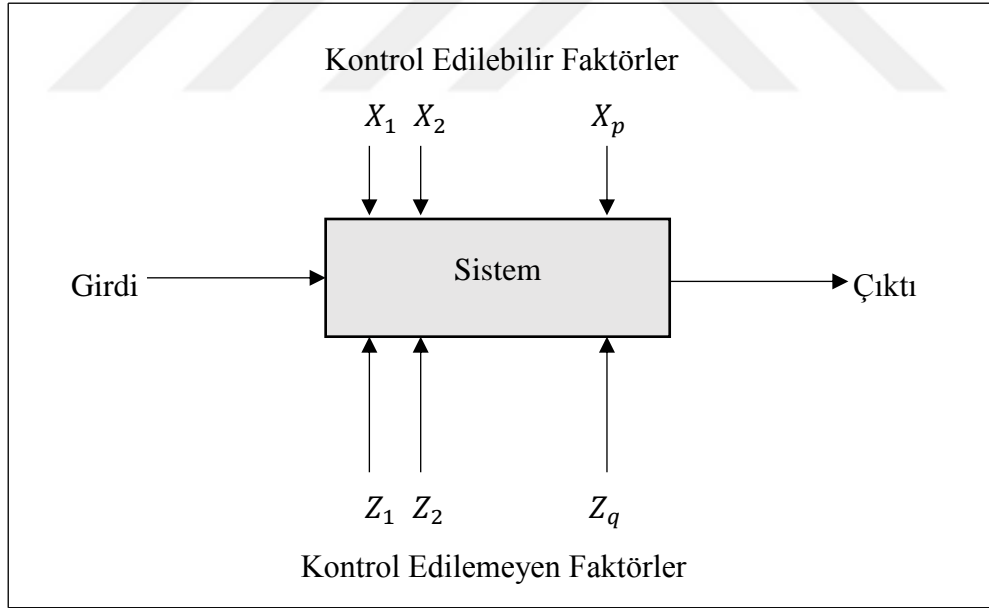
iyileştirilmesi istenen değişkendir. Yanıt değişkeni olarak da söylenir.

Faktör: Deneyde iyileştirilmesi istenen yanıt değişkeni üzerinde etkisi bulunan kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenlere denir.

Seviye (Düzye): Yanıt değişkeni üzerinde etkili olan faktörlerin eşit aralıklı olarak denenecekleri değerlerdir (Taylan, 2009; Karagöz, 2014). Seviye değerleri yanıt değişkeni sütununda eşit sayıda dizilirler.

Ayrıca kalite mühendisliğinde deney tasarımının kazanımlarından bir tanesi de süreçteki değişkenliğin azaltılarak kalitenin geliştirilmesidir. Bilindiği üzere kalite mühendisliğinin temel noktası değişkenliğe neden olan faktörlerin tespit edilip giderilmesi ile prosesteki değişkenliğin en küçüklenmesi, başka bir ifadeyle kararlılığın sürdürülmesidir (Şanyılmaz, 2006).

Bir sistemin veya prosesin genel işlev akış modeli Şekil 2’de gösterilmiştir. Burada X_1, X_2, \dots, X_p sistem veya prosesteki kontrol edilebilir değişkenleri ifade ederken Z_1, Z_2, \dots, Z_q kontrol edilemeyen değişkenleri ifade etmektedir (Lunani vd., 1997).



Şekil 2. Bir sistem veya sürece ait genel akış gösterimi (Okumuş, 2015)

Deney tasarımı teknikleri, yeni bir süreç geliştirmede, sürecin performansını arttırmada ve mevcut süreci iyileştirmede çok önemli bir yere sahiptir. Burada amaç, sağlam (Robust) bir tasarımı yani kontrol edilemeyen değişkenlerin (Z_1, Z_2, \dots, Z_q) etkisinin en az olduğu prosesi geliştirmektir (Montgomery, 1991).

3.1.2. DeneY Tasarımının Tarihçesi

DeneY tasarımı ilk olarak 1920'lerde istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir A. Ronald Fisher tarafından tarım ürünlerinin üretimindeki verimi arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. Fisher ürünlerin verimine en yüksek katkıyı sağlayan gübre çeşidini bulmak amacıyla yaptığı çalışmada, ilk olarak ürün yetistirilecek olan toprağı, verimliliğı aynı olacak şekilde bloklara ayırıp daha sonra ayırdığı bloklara ürün çeşitlerini ve gübreleri rastgele olarak dağıtarak bu bloklarda ürünlerini yetiştirmiştir. Fisher'in yaptığı bu denemeler aynı zamanda deneY tasarımının temellerini teşkil etmektedir (Montgomery, 1991). Fisher aynı zamanda deneY verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem kısa sürede Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünler üzerindeki etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır. İmalat sektöründeki uygulamaları 1970'lere kadar sınırlı kalmış olsa da ilaç ve kimya sektörlerinde uygulanmaya devam edilmiştir. (Şirvancı, 1997; Cengiz, 2021).

DeneY tasarımının teknolojik çalışmalarda kullanılmaya başlandığı 1950'li yıllara kadar, kullanımı ve gelişimi çok hızlı olmamıştır. Ancak parçalı faktöriyel tasarımın Japon endüstrisinde güvenilir, etkili ve düşük maliyetli çalışmalarda başarı göstermesi deneY tasarımı tekniklerinin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Edwards Deming'in Japonya'da, kalite ve verimliliğı geliştirme felsefesi ve yöntemleri üzerine verdiği konferanslardan sonra, bu teknikler Japon istatistikçileri tarafından hayata geçirilmiştir. Böylece düşük maliyette ve yüksek kalitede ürün geliştirmeye yardımcı deneY tasarımı yöntemleri geliştirilmiştir. İlk olarak Fisher'in uyguladığı deneY tasarımlarından sonra Taguchi de bu olguya kendi yaklaşımlarını katmıştır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Amerika'da üretim sektörü, 1980'lerde Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken deneY tasarımını yeniden keşfetmiştir. DeneYin tasarımı, o tarihlerde Japonya'da Profesör Genichi Taguchi ile yoğun ve etkili olarak uygulanmaktaydı. Taguchi, deneY tasarımına teorik olarak yenilikler getirmemiştir. Ancak, üretimdeki uygulamalarda çeşitli yenilikler yapmış ve sonucunda başarılı uygulamalarıyla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini hızlandırmıştır (Şirvancı, 1997; Taylan, 2009; Okumuş, 2015).

3.1.3. Taguchi Metodu

Deney tasarımı 1920'lerde Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiş olmasına rağmen, sürece ait varyasyonun azaltılmasında deney tasarımını ilk uygulayan Japon Mühendis Genichi Taguchi'dir. Kalite konularına ilişkin olarak, varyasyon, hedef değerden sapma, değişkenlik olarak tanımlanabilir (Şirvancı, 1997). Taguchi yönteminin amacı hedef değerden sapmaları en aza indirmektir. Temeli deney tasarımına dayanmaktadır. Bu yöntem kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemine ortogonal diziler, sinyal/gürültü oranı ve robust tasarım gibi kavramlar ekleyerek kendine özgü hale gelmiştir (Taylan, 2009). Dr. Taguchi, deney tasarımı yöntemine kattığı yeniliklerle, ikinci dünya savaşı sonrasında Japonya'daki en önemli projelerden birisi olan Japon telefon sisteminin geliştirilmesi projesinde yaptığı çalışmalardaki başarısıyla adını dünyaya duyurmuştur. Bu projeye ABD'deki AT&T Bell telefon şirketinin laboratuvarlarında kullanılan iletişim sisteminin aynısını Japonya'ya kurmak amaçlanmıştır. Ancak Nippon Telefon ve Telgraf araştırma merkezinin büyüklüğü AT&T'nin %2'si kadar olduğundan projenin bitirilmesinin yaklaşık 20 yıl süreceği tahmin edilmekteydi. Dr. Taguchi ise sisteme robust tasarım ve kesirli faktöriyel tasarım yöntemlerinin kullanılmasını önererek projeyi 4 senede tamamlamıştır. Robust tasarım kavramını geliştiren, birçok ürün ve sürecin iyileştirilmesinde kullanan Taguchi 1962'de bu başarısından dolayı kalite alanında en önemli ödüllerden biri olarak bilinen Deming ödülüne layık görülmüştür (Okumuş, 2015). Farklı sektörlerde artan uygulama sayısı ile yöntemin geçerliliği ispatlanmıştır. Amerikan Tedarikçiler Derneği'nin 2008 yılında yayınladığı Taguchi Yöntemi kullanan firmalar listesinde Ford'dan Toyota'ya; NASA'dan U.S. Army'e kadar farklı sektörlerden 100 civarında firma görülmektedir (Taphasanoğlu, 2020).

Taguchi yöntemi, faktör ve seviyelerine bağlı olarak fazla deney sayısı içeren problemler için ortogonal diziler kullanarak daha az deney sayısı ile sonuçlara ulaşabilmektedir. Ortogonal diziler, dengelenmiş dizi anlamında kullanılmaktadır. Yani ortogonal dizinin sütunlarına atanan faktörlerin her seviyesi eşit sayıda yer alır. Bu diziler kontrol edilemeyen faktörlerin sisteme etkisini en aza indirmeyi, daha az deneyle işlemleri gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır (Özkan, 2018).

Ortogonal diziler $L_a(b^c)$ ya da L_a şeklinde gösterilir. Burada ortogonal diziler latin kare tasarımından türetiltiği için L latin kare tasarımını temsil eder. "a" deneylerin sayısına, "b" seviye sayısına ve "c" faktör seviyesine karşılık gelmektedir. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre iki kademeli, üç kademeli, iki ve üç kademeli olarak

belirlenmektedir. Bu dizilere tasarım matrisi de denmektedir. Genel olarak 2 seviyeli ortogonal diziler L_4, L_8, L_{16} ve L_{32} ; 3 seviyelilerde L_9, L_{18} ve L_{27} dizileridir. İki seviyeninde karışık kullanıldığı dizilerde L_{18}, L_{36} ve L_{54} dizileridir (Taguchi, 2005).

Dizilerin seçimi düzey sayısı ve faktör grubunun toplam serbestlik derecesine bakılarak yapılır. Faktör grubunun serbestlik derecesi, tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur (Ekincioğlu, 2016).

3.1.4. Taguchi Ürün/Kalite Sistemi

Taguchi'ye göre kalite, ürün veya prosesdeki değişkenliğin azaltılmasıyla hedef değere daha sağlam yaklaştırılması ve buna bağlı olarak tüketici gereksinimlerinin optimum şekilde karşılanmasıdır. Bu sebeple Taguchi'nin önerdiği metod, kalite ile uğraşan diğer bilim insanlarının süregelen çalışmalarından farklıdır. Geleneksel kalite anlayışına göre kalite maliyeti arttırırken Taguchi'nin kalite anlayışına göre kalite maliyeti düşürür. Aynı şekilde geleneksel kalite anlayışına göre kaliteyi geliştirmenin, üretim sürecinin istatistiksel olarak kontrol edilmesi ile sağlanacağına inanılırken Taguchi'ye göre biraz daha geri giderek kalitenin, ürün veya sürecin daha tasarım aşamasındayken geliştirilmesi gerektiğini savunmuştur (Şanyılmaz, 2006). Ayrıca Taguchi'ye göre bir ürünün kalitesi, müşterinin ürünü kullanım sırasında toplumda meydana getirdiği kayıpla ölçülür. Yani bir ürünün fabrikadan çıkıp müşterinin eline ulaşmasından sonra meydana gelebilecek olumsuzluklar toplumsal bir kayıp olarak görülmelidir. Bu kayıp, müşteri memnuniyetsizliğini ve işletmelerin itibar kayıplarını kapsar. Bu tanım geleneksel tanımdan büyük ölçüde farklıdır. Geleneksel tanımda odak üreticidedir ve kalite maliyeti olarak hurda, garanti, servis ve yeniden işleme maliyetlerini içerir. Taguchi'de odak müşteridir ve müşteri üretim sürecinin en önemli parçası olmalıdır anlayışı vardır. Ürünün veya servisin kalitesi; müşterilerin memnuniyetine ve böylece itibar kazanılmasına ve pazar payının artmasına sebep olacaktır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Toplumda kayıp oluşturan bir ürün aynı zamanda talebini de düşürecektir. Talebin düşmesi de ürün için piyasa da kalma ömrünü düşürecek ve varlığını sürdürmeyecektir. İşletmelerin pazar dinamizmine adapte olabilmeleri için sürekli bir kalite geliştirmeye ve maliyetlerinin minimizasyonuna çalışmaları gerekmektedir. Bu yüzden kalite önemlidir (Ünal, 2001). Ayrıca burada söz edilen toplumsal kayıp, ürünün kullanım amacına ve

dolayısıyla tüketici gereksinimlerine uygunsuzluğu ve kullanımı sırasında ortaya çıkan zararlarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenlerle meydana gelen tüm kayıplar, ürünün kalite düzeyini belirlemektedir (Şanyılmaz, 2006).

Taguchi, kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetleri On-Line (Çevrim içi) kalite kontrol ve Off-Line (Çevrim dışı) kalite kontrol olmak üzere iki bölüme ayırmaktadır. On-Line kalite kontrol, ürünün üretimi esnasında ve üretim sonrasındaki kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrol veya muayeneler bu faaliyetlerdendir. Off-Line kalite kontrol, ürün üretilmeden önce yapılan kalite geliştirme faaliyetleridir. Pazar araştırması ile başlayıp ürün ve proses geliştirme ile devam eder. Ürün üzerinde doğrudan yapılan faaliyetler yerine, ürünün üretime girmeden gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır (Cengiz, 2021). Buna göre deney tasarımı çalışmaları, Taguchi'nin kalite sisteminde off line kalite kontrol içinde yer almaktadır (Şirvancı, 1997).

Taguchi, off line kalite kontrolü ürün tasarımı ve proses tasarımı şeklinde olmak üzere ikiye ayırmaktadır. Ürün tasarımı aşamasında mühendislik tecrübesi ve teknik bilgi kullanılarak müşteri gerekliliklerini karşılayacak biçimde bir prototip ürün geliştirilir veya mevcut ürün üzerinde değişiklikler yapılır. Proses tasarımı aşamasında, ürün tasarımı aşamasında ürün hakkındaki bilgilere ve imalat tekniklerine dayanarak uygun proses seçilir (Taylan, 2009).

Taguchi, istenilen kalite düzeyi için her iki aşamadaki çevrim dışı kalite kontrolün, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olarak üç adım halinde olması gerektiğini söylemiştir (Himmetoğlu, 2016).

Sistem Tasarımı, ürünün arzu edilen ve gerekli fonksiyonlarını yerine getiren bir prototipin geliştirildiği aşamadır ve Taguchi off-line kalite stratejisinin ilk aşamasıdır. Sistem tasarımının esas amacı; ürünü belirlenmiş tolerans sınırları içerisinde ve en düşük maliyetle üretmeyi sağlayacak üretim prosesini geliştirmektir. Gerekli malzeme, ekipman ve üretim tekniklerinin belirlendiği aşamadır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Parametre Tasarımı, Taguchi metodunun en önemli aşamasıdır. Ürün kalitesini etkileyen faktörlerin belirlendiği ve bu faktörlerin içinde gürültü faktörlerinin ürüne olan etkisinin en az kılınmaya çalışıldığı bir tasarımı gerçekleştirme aşamasıdır. Uygun ortogonal dizininin seçimini, bu diziye göre deneylerin yapılmasını, verilerin analizinin gerçekleştirilmesini ve optimum şartlar belirlenerek bütün parametrelerin optimal seviyeleri için doğrulama deneylerinin yapılmasını sağlamaktır (Cengiz, 2021)

Tolerans Tasarımı, parametre tasarımı yetersiz kalmışsa bu aşamaya başvurulur. Taguchi

toleranslarla çalışmayı sevmemekle beraber tünden de reddetmemektedir. Tolerans tasarımı aşaması kalite geliştirme değil kalite değerlendirme aşamasıdır. Taguchi dar toleranslarla çalışılarak üründe meydana gelen değişkenliği azaltmayı amaçlar. Ancak bazen toleransları daraltmak maliyet arttırıcı bir etkiye sahip olmaktadır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

3.1.5. Robust Tasarım

Robust tasarım, bir ürünün hiçbir durumda sorun yaratmayan tasarımı anlamına gelir. Bununla birlikte farklı koşullar altında düzgün çalışabilecek bir ürünün tasarlanmasını ifade eder (Hamzaçebi, 2020).

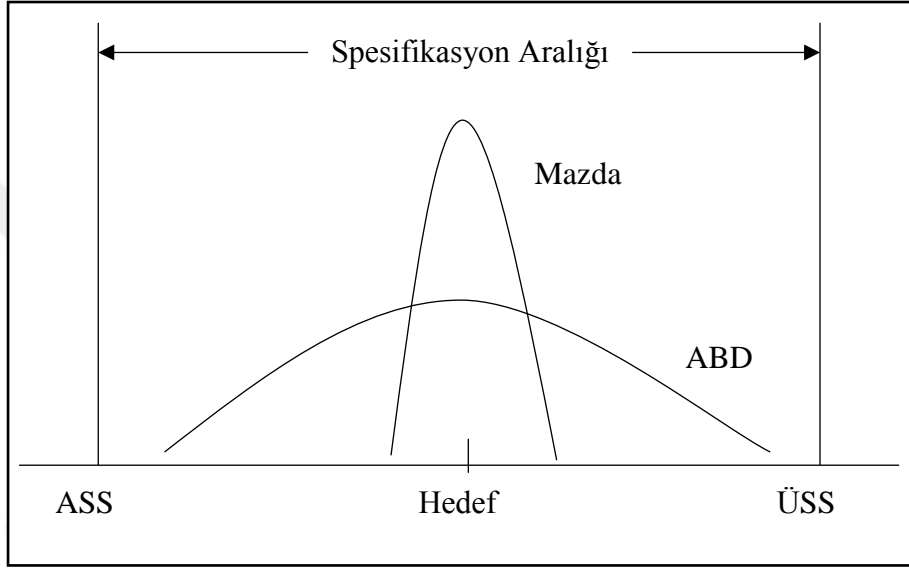
Parametre tasarımı aşamasında ürün veya prosese ait varyasyonun minimize edilmesi gerekir. Sistemde oluşan ve kalitesizliğe sebep olan gürültü faktörlerine karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek ürün veya prosteki varyasyonun en düşük seviyede olmasının amaçlandığı ürün ve proses tasarımına “robust (sağlam) tasarım” denmektedir. Sağlam tasarım, örnek olarak nem, toz, sıcaklık gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımlarına ve malzemedeki farklılıklara karşı onlardan etkilenmeyen ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır. Şekil 2’de bir sisteme ait kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler gösterilmiştir (Şahin, 2019).

Klasik kalite sisteminde gürültü faktörlerinin ortadan kaldırılması maliyet oluşturabilmektedir. Ancak robust tasarımda kalitesizliği oluşturan kontrol edilemeyen faktörün etkisi, kontrol edilebilen faktörlerin optimizasyonu ile azalmaktadır. Deney tasarımı bu amaçla uygulandığı zaman, maliyeti arttırmadan kaliteyi iyileştirmek mümkün olmaktadır (Şirvancı, 1997).

3.1.6. Taguchi’nin Kayıp Fonksiyonu

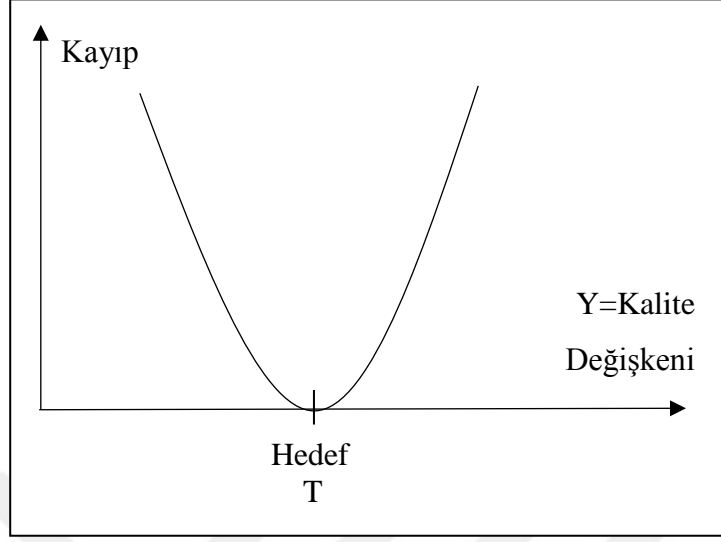
Parça üretiminde hedeften sapma sonucu oluşan varyasyonun, firmaya parasal kayıp olarak döndüğünü Ford firmasının 1980’lerdeki bir deneyimiyle bize göstermektedir. Ford, imal etmekte olduğu otolara şanzıman üretmek üzere iki ayrı firmaya sipariş verir. Bu firmalardan biri Amerikan firması diğeri Japon Mazda firmasıdır. Her iki firmada şanzımanları Ford’un spesifikasyonlarına göre üretip teslim ederler. Garanti süresi içinde şanzıman sorunlarından kaynaklanan garanti talepleri oluşur. Ford yetkilileri, sorunlu şanzımanları üretici firmaya göre sınıflandırdıkları zaman Amerikan firmasının ürettiği

grubun, sayısal olarak diğerinden birkaç kat daha fazla olduğunu görürler. Bunun üzerine, şanzımanların bazı kritik performans değişkenlerinin olasılık dağılımını hesap ederler. Durum Şekil 3'te gösterildiği gibidir. Her iki firmanın da ürettiği şanzımanlar, Ford'un belirlediği spesifikasyon sınırları içindedir. Ancak Amerikan firmasının ürettiği şanzımanlarda varyasyon daha fazladır. Bu şanzımanlar daha sık ve daha erken arıza yaparak firmanın maliyetini arttırmaktadır (Şirvancı, 1997).



Şekil 3. Ford'un tedarikçilerinin kıyaslanması (Şirvancı, 1997)

Geleneksel kalite kontrolde, parçalar, hedef değerden sağmalarına bakılmaksızın, spesifikasyon sınırları içinde olup olmadıklarına göre değerlendirilir. Parçanın değeri sınırın dışındaysa, parça yeniden işleme veya hurdaya sevk edilir; içindeyse, kabul edilir. Firma açısından, kayıp ya tamdır, ya sıfırdır. Taguchi, bu geleneksel görüşün gerçeği aksettirmedeğini düşünerek karesel kayıp fonksiyonu denilen kayıp fonksiyonunu geliştirmiştir. Bu şekilde, Şekil 4'te, 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 dahildir. Hedef değerden sapma arttıkça, sapmanın karesi oranında kayıp artmaktadır (Şirvancı, 1997).



Şekil 4. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu (Şirvancı, 1997)

Kayıp fonksiyonun denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\text{Kayıp} = k(Y - T)^2 \quad (1)$$

Verilen denklemlerde T, hedef değeri; Y, değişkenin ölçülen değerini; k ise sapmayı para birimine çeviren katsayıyı ifade etmektedir (Şirvancı, 1997).

Burada ifade edilen kayıp kalitesizliğin getirdiği maliyettir. Kalitesizliğin gerçek maliyeti, üretim anında hesaplanandan daha yüksektir. Taguchi kayıp fonksiyonu da herhangi bir performans seviyesinde kalite maliyetini tahmin edebilmektedir. Ayrıca kayıp, yalnızca bir parça tam olarak hedef değere göre yapıldığında yok kabul edilir. Buna göre üretim spesifikasyon sınırları dahilinde yapılsa bile kaybın oluşabilmesine dikkat edilmelidir (Ranjit, 2001).

3.1.7. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü Oranları

Taguchi metodu toplanan verilerin, yanıt varyasyonlarının bir ölçüsü olan sinyal gürültü (S / N) oranına dönüştürülmesini önerir. Bu oran ölçülen değerlerden sapan kalite hassasiyetinin ölçülmesine yardımcı olan bir parametredir. S / N oranı aynı zamanda istenen yanıtın ortalama kare sapmasının logaritmik dönüşümüdür (Varala vd., 2017).

Başka bir ifade ile Taguchi, iyileştirilmesi istenen değişkenin, kalite karakteristiğinin ya da performans yanıtının hedef tipine göre en çok bilinen 3 farklı ölçüm fonksiyonu ortaya koymuştur. Ölçülmek istenen sinyalin, gürültü faktörüne oranıyla hesaplanan bu istatistiksel ölçüme sinyal/gürültü oranı denmektedir. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri ifade ederken gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını ifade etmektedir (Cengiz, 2021).

S/N oranı, hem ortalamayı hem de değişkenliği dikkate alır. En basit biçiminde S/N oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranıdır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). S/N oranının anlaşılması için bir örnek verilirse; bir arabayı durdurmak için fren pedaline basılması olayında, arabayı yavaşlatmak için meydana gelen enerji, sinyali temsil eder. Ancak bu işlem sırasında, bir miktar enerji, fren pedalinin yıpranmasından, sıcaklıktan vb. sebeplerden dolayı kaybolacaktır. İşte bu ve benzeri faktörler de gürültüyü temsil etmektedir (Besterfield vd, 1995).

Taguchi, 60'ın üzerinde S/N oranından bahsetmektedir. En çok kullanılan üç tanesi “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” S/N oranlarıdır. Bu problemlerde amaç S/N oranını maksimize etmektir. Taguchi'ye göre, S/N oranlarının maksimize edilmesi, bir yandan sistemden elde edilen sinyal artırılması, diğer yandan da varyasyona sebep olan gürültü faktörleri azaltılmasını ifade etmektedir (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Buna göre S/N oranının büyümesiyle hedef değere ulaşmada ürün varyansı küçülür yorumu yapılabilir.

Performans yanıtı;

En küçük en iyi olduğu durumda

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

En büyük en iyi olduğu durumda

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3)$$

Nominal en iyi olduğu durumda

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (4)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (5)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (6)$$

denklemleri ile ölçülür. Bu denklemlerde y_i performans yanıtının i . gözlem değerini, n bir deneydeki test sayısını, \bar{y} gözlem değerinin ortalamasını, s^2 gözlem değerinin varyansını simgelemektedir.

3.1.8. Taguchi Deney Tasarımının Uygulama Adımları

Taguchi deney tasarımının kullanılmasıyla yapılacak bir çalışmada takip edilmesi gereken adımlar aşağıdaki gibidir (Ekincioğlu, 2016).

Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi: Çalışmaya başlamadan önce problemin tam olarak ifade edilmesi, tanımlanması, tanımını içeren faktörlerin ve performans yanıtının belirlenmesi gerekmektedir. Beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç diyagramı gibi tekniklerin kullanılmasıyla, değerlendirmeye alınacak faktör ve etkileşimler belirlenebilir. Kontrol edilebilen faktörler ve gürültü faktörleri olarak adlandırılan kontrol edilemeyen faktörler ayırt edilip, kontrol edilebilen faktör sayısına göre tasarım yapılmaktadır. Performans yanıtı da ürün veya sürecin kullanım amacı veya hedefine uygun olarak seçilmelidir. Buna göre problemin amacına göre bir veya birden fazla performans yanıtı başka bir deyişle performans karakteristiği seçilebilmektedir.

Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi: Faktörlerin belirlenmesinin ardından faktörlerin düzey sayıları belirlenir. Seviyeler iki, üç veya daha çok olabilir. Düzey sayısı arttıkça deney sayısının artması durumuna ve rassal etkilerin oluşmasına dikkat edilmelidir.

Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi: Ortogonal dizinin seçimi her bir faktörün serbestlik derecelerinin toplamı ile bulunmaktadır. Her bir faktörün serbestlik derecesi ise seviye sayısının bir eksiğidir. Faktör grubunun serbestlik derecesi belirlendikten sonra, serbestlik sayısının uygun düştüğü deneme sayısına sahip olan tasarım seçilmektedir. Serbestlik sayısı en fazla, seçilecek olan ortogonal dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir.

Faktör veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması: Faktör ve/veya etkileşimler seçilen ortogonal dizine göre kolonlara atanması yapılır. Yapılırken Dr. Taguchi tarafından

geliştirilen doğrusal grafikler ve üçgensel tablolar kullanılır. Doğrusal grafikler, faktörlerin atanacağı sütunları ve hangi sütunların bu faktörlerin etkileşimini kullanılacağını göstermektedir. Üçgensel tablolar ise faktörler arasında gerçekleşen tüm etkileşimleri içermektedir.

Testlerin Yapılması: Uygun faktör atamaları gerçekleştirildikten sonra sıra deneylerin gerçekleştirilmesine gelmektedir. Deneyler, problemin belirlediği ortogonal dizi satırlarının öngördüğü denemelerden oluşur. Deney boyunca hatayı minimize edebilmek, gürültü faktörlerinin etkisini görebilmek, gözlem değerleri sayısının çokluğuna bağlıdır. Seçilen her bir deney tasarımı ne kadar çok sayıda test edilirse deneyin güvenilirliği o ölçüde artmaktadır.

Sonuçların Analiz Edilmesi: Elde edilen gözlem değerlerinin analizinde faktör etkilerinin grafiksel gösterimi, varyans analizi ya da hesap tablosu gibi yöntemler kullanılmaktadır (Şahin, 2019). Varyans analizi uygulanan Taguchi sonuçlarının etkinliği görmek amacıyla yapılır. ANOVA, 1926 yılında Ronald Fisher tarafından önerilmiştir. Yanıt verilerinden hesaplanan ortalama kareler toplamını kullanan ve çıktı parametrelerindeki değişkenliği girdi parametreleri arasında bölen istatistiksel bir prosedürdür. Bireysel girdi parametresinin yanıt parametrelerine yüzde katkısının hesaplanmasında kullanışlıdır (Kumar ve Singh, 2019).

Doğrulama Deneyinin Yapılması: Deney, analiz sonucunda bulunan en iyi şartlar altında tekrarlanmaktadır. En iyi şartları belirlenmesiyle doğrulama deneyi yapılır. Deney sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu araştırmacıya iyi performans yanıtı değerine ulaştırırsa hedef durum gerçekleşmiş ve deney amacına ulaşmış olur.

3.2. Çok Yanıtlı Taguchi Yaklaşımı

Bir kalite özelliği için birden fazla parametrenin iyileştirilmesi gereken durumlar söz konusu olabilir. Bu gibi durumlarda genellikle yanıtlara ayrı ayrı Taguchi uygulanır ve birbirinden bağımsızmış gibi düşünülür. Bu da araştırmacı için ekstra zaman kaybı ve maliyet demektir. Ayrıca aynı üretim prosesini veya kalite özelliğini etkileyen yanıtların birbirinden bağımsız düşünülmesi de zamanla alınan sonuçların doğruluğu düşündürücü olmuştur. Bu sebeple yanıtların eş zamanlı değerlendirilmesi fikri literatüre kazandırılmıştır. Bu noktada ÇKKV yöntemlerinden yararlanılarak birden fazla performans yanıtı tek yanıtlı hale dönüştürülmektedir. Sonuçlar, ne kadar çok yanıtımız olursa olsun hepsini bir

değerlendirerek elde edilir. Ayrıca yanıtlar karar vericiler tarafından çeşitli yöntemlerle ağırlıklandırılabilir. Böylece sonuç üzerinde hangi yanıtın etkili veya daha az etkili olması gibi uygulamalar araştırmacı tarafından seçilebilir. Deney sonuçları optimum faktör ve seviye değerlerini verirken tüm yanıtların birlikte değerlendirilmesi çok yanıtlı Taguchi yaklaşımının en önemli vurgusudur. Çünkü yanıtlara ayrı ayrı Taguchi metodunun uygulanmasıyla elde edilen birden fazla ve farklı faktör seviye kombinasyonları da bu entegre yöntem ile araştırmacıyı tek bir optimum sonuca götürmektedir. Problemlerde tek bir performans yanıtına göre karar almak gerekiyorsa klasik yöntemleri kullanmak yeterliyken, birden çok kriteri yani performans yanıtını içeren problemler için çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanmak daha uygun olmaktadır (Himmetoğlu, 2016).

Çok kriterli karar verme, karar verme çalışmalarının bir dalı olarak nitelendirilmektedir. Çok kriterin bulunduğu karar problemlerini içeren yöneylem araştırmasının bir dalı da olduğu söylenebilir. Gerçek hayatta alınan her karar aslında birçok faktörün, kriterin ve etkileşimlerinin dengelenmesini gerektirebilir. Örneğin; bir ev satın alınırken değerlendirme kriterleri; fiyat, taşımacılık araçlarına yakınlık ve güvenlik gibi birçok kriter olabilir (Karaca, 2011). Aynı şekilde bir ürün almayı düşünen müşteri, çoğu zaman sadece fiyata göre karar vermeyecek, teknoloji, garanti, tasarım, kullanım kolaylığı gibi kriterleri de göz önünde bulunduracaktır. Ayrıca bir işveren yeni personel alımında kararını verirken, başvuran adayları sadece deneyimlerine göre değil, eğitimine, istediği ücrete kişisel özelliklerine göre de değerlendirmeye çalışacaktır. ÇKKV, genellikle birden fazla alternatifin içinden birbiri ile çelişen kriterlerin üzerinden yapılan bir seçim işlemidir (Karakışoğlu, 2008).

ÇKKV yöntemleri uygulanırken ilk olarak çalışılan konuya ait amacın ve performans kriterlerinin belirlenmesi gerekir. ÇKKV yöntemlerinin kullanılmasıyla deney tasarımı veya karar verme sürecindeki faktörler ve seviyeler arasından en iyi sonuç belirlenmektedir. En iyi sonuç en iyi kararın seçimi olmaktadır. Kriter ise karar verici için seçenekler yani alternatifler arasında karşılaştırma yapılmasını sağlayan yanıt değişkenleridir. Alternatiflerin elde edilebilmesi için kriterlerin önem düzeyleri belirlenmelidir. Bu işlem genellikle karar vericilerin tecrübelerine göre göreceli olarak yapılmaktadır (Himmetoğlu, 2016).

Paket program gereksinimi bulunmaması ve ileri seviyede matematik gerektirmemesi yönünden yöntemlerin uygulanabilirliği daha kolaydır. Geniş bir uygulama alanına sahip olan ÇKKV yöntemleri bulanık kümeler ve gri sistem teorisi yaklaşımları ile entegre edilerek kullanılabilirliği gibi birbirleri ile de hibrit (melez) olarak modellenmektedir.

ÇKKV yöntemleri bu özelliklerinden dolayı, güncelliğini koruyan ve sürekli geliştirilen bir yöntem sınıfı olma özelliği göstermektedir (Cömert, 2018).

Alternatifler, Taguchi tekniğine göre deneyleri; kriterler ise performans değişkeni olan yanıtları ifade etmektedir. ÇKKV yöntemlerinde alternatifler ve kriterler karar matrisi (D) adı verilen bir matris ile gösterilmektedir (Himmetoğlu, 2016).

$$D = \begin{matrix} & K_1 & \dots & K_2 \\ A_1 & [a_{11} & \dots & a_{1n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & [a_{m1} & \dots & a_{mn}] \end{matrix} \quad (7)$$

Bu matriste A_i , $i = 1, \dots, m$ alternatifleri, K_j , $j=1, \dots, n$ kriterleri, a_{ij} 'ler, A_i alternatifinin, K_j kriteri bazında değerlendirme sonuçlarını gösterir. Matristeki satırlar, birbiri ile rekabet halinde olan alternatifleri, sütunlar ise kriterleri yani yanıt değişkenlerini ifade etmektedir (Yıldırım, 2011).

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemleri; AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi), GRA (Grey Relational Analysis/Gri İlişkisel Analiz), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations), MOORA (Multi-objective Optimization on the basis of Ratio Analysis), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite) Elimination and Choice Expressing REALity), SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis), ARAS (Additive Ratio Assesment), COPRAS (Complex Proportional Assessment/Karmaşık Oransal Değerlendirme) ve WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment/Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi) olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemlerin hiç birisi için diğerlerinden daha üstündür diyemeyiz. Kriterleri değerlendirme ve alternatifleri sıralamada her bir yöntemin kendini özgünleştirdiği bir işlemi vardır.

Bu çalışmada çok yanıt söz konusu olduğundan yanıtların ağırlıklandırılmasında ROC (Rank Order Centroid) metodu kullanılmıştır. Bu yanıtların tek yanıtlı problem sürecine dönüştürülmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden, karar alternatiflerinin negatif ideal çözüme olan uzaklıklarını 2 farklı boyut kullanarak belirleyen CODAS (Combinative Distance-based Assesment) yöntemi uygulanmıştır. CODAS, literatürdeki diğer ÇKKV yöntemlerine kıyasla çok daha yeni bir yöntem olup daha az çalışılmıştır. Taguchi metodu

ile de kullanılmamıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında da karar verici tarafından önemleri belirlenerek ağırlıkları hesaplayan ROC yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca bu yöntemlerin Taguchi ile entegre edilerek hangi aşamalarda kullanıldığı gösterilerek literatüre ROC-CODAS yaklaşımı ile katkı sağlanmıştır.

3.2.1. ROC Yöntemiyle Kriterlerin Ağırlıklandırması

Birden fazla kriterin olduğu seçim problemlerinin çözümünde sonuca etki eden en önemli faktörlerden biriside kriter ağırlıklarının belirlenmesi işlemidir. Her bir kriterin farklı önem seviyesine sahip olması alternatiflerin sıralanmasında değişime neden olmaktadır. ÇKKV yöntemlerinin uygulandığı noktada kriterlerin önem seviyesine göre ağırlıklandırılması bu nedenle önemli bir yere sahiptir. ÇKKV problemlerine yönelik olarak önem seviyesini belirlemede subjektif (öznel ağırlık) ve objektif (nesnel ağırlık) olmak üzere 2 yaklaşım bulunmaktadır (Kao, 2010). Subjektif olarak ağırlık belirleme sürecinde uzmanların-karar vericilerin yargı ve değerlendirmeleri sürece dahil edilerek öznel bir yapı elde edilir. Bu yapıyı elde etmek amacıyla geliştirilen yöntemler arasında Delpy yöntemi, Oran yöntemi, ikilli kıyaslama, merkezi ağırlıklar, AHP, ROC yöntemleri vb. yer almaktadır. Objektif olarak ağırlık belirlemede ise uzmanların-karar vericilerin ön yargılarını dikkate almayan veri yapısından hareketle sonuca ulaşan nesnel bir yapı elde edilir. Objektif olarak ağırlık belirlemede geliştirilen yöntemler ise Entropy, Critic, Standart Sapma yöntemleri vb. olarak ifade edilir (Cömert, 2018).

Çalışma kapsamında karar vericilerin sürece dahil edilmesi istendiğinden subjektif ağırlık belirleme yöntemlerinden ROC tercih edilmiştir. Bu yöntemin içinde yer alan farklı türden denklemlerden karşılıklı önem (rank reciprocal) metodu seçilmiştir. Bu metotta kriterlerin birbirlerine göre önem sırası belirlenerek kriter ağırlıkları aşağıdaki denklem yardımıyla belirlenmektedir (Ahn, 2011). Denklemden w_j , kriterin ağırlığını; r_j , önem derecesini; j , kriter sayısını ifade etmektedir.

$$w_j = \frac{\frac{1}{r_j}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{r_j}} \quad j = 1,2,3 \dots n \quad (8)$$

3.2.2. CODAS Yöntemi

CODAS (Combinative Distance-based Assesment-Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme) metodu, Keshavarz-Ghorabae ve arkadaşları tarafından 2016 yılında ÇKKV problemlerinin çözümüne alternatif yeni bir yaklaşım olarak literatüre sunulmuştur. Bu yöntemde karar problemini oluşturan alternatiflerin birbirlerine göre performansları negatif ideal çözüme olan uzaklıkları dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Negatif ideal çözüme uzaklıklarda iki uzaklık ölçütü olan Öklid ve Taxicab uzaklık yaklaşımları kullanılmaktadır. Yöntemde Öklid ve Taxicab uzaklıkları sırasıyla l^2 ve l^1 normu ilgisizlik uzay ölçütleridir. Ana ve birincil ölçüt olarak Öklid uzaklığı dikkate alınırken alternatiflerin Öklid uzaklığı birbirlerine eşitse, ikincil ölçüt olan Taxicab uzaklık yaklaşımı kullanılarak çözüme ulaşılmaktadır. İlk olarak l^2 -normu kayıtsızlık uzayındaki alternatifler değerlendirilir (Öklid uzaklığı). Bu uzayda alternatifler birbirlerine göre kıyaslanabilir durumda değilse l^1 -normu uzayı dikkate alınmaktadır (Taxicab uzaklığı). Negatif ideal çözüme daha uzak olan alternatifin öncelikli kabul edilir olduğu CODAS metodunda l^2 norm kayıtsızlık uzayı tercih edilmekle birlikte, uygulama sürecinde iki tür kayıtsızlık uzayı düşünülebilir (Keshevarz vd. 2016; Es, 2020).

Keshevarz-Ghorabae vd. (2017) bir sonraki çalışmalarında ÇKKV yöntemlerinin belirsizliği ile başa çıkmak için CODAS yöntemini dilsel değişkenler ve yamuk bulanık sayılarla genişletmişlerdir. Çok kriterli pazar segmenti değerlendirme ve seçiminde bulanık CODAS yönteminin uygulanabilirliğini bir ayakkabı firması örneği problemi üzerinde göstermişleridir. Önerilen yöntemi doğrulamak için sonuçları bulanık EDAS ve bulanık TOPSIS yöntemlerinin sonuçlarıyla karşılaştırıp; Bulanık CODAS yönteminin sıralama sonuçlarının geçerliliğini göstermek için bir duyarlılık analizi yapmışlardır.

Yeni ve Özçelik (2018), çalışmalarında grup karar verme süreçleri için aralık değerli Atanassov sezgisel bulanık CODAS (IVAIF-CODAS) yönteminin bulanık bir uzantısını sunmuşlardır. CODAS ve IVAIF'ın güçlü yönlerini birleştiren ve belirsizliğin modellenmesindeki yeteneklerinden dolayı bulanık koşullarda kolaylık sağlayan IVAIF-CODAS yönteminin uygulanabilirliğini bir personel seçim problemi üzerinde göstermişlerdir. Ardından üç farklı iyi bilinen çok kriterli grup karar verme yöntemi olan IVAIF-TOPSIS, IVAIF-SAW ve IVAIF-VIKOR yöntemleri, IVAIF-CODAS yönteminin sonuçları karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Böylece önerilen yöntemin diğer yöntemler kadar sağlam sonuçlar ürettiğini ve nispeten daha az çaba gerektirmesi açısından da

kullanımının kolay ve etkili bir araç olduğunu doğrulamışlardır.

Badi vd. (2018) çalışmalarında CODAS yöntemiyle Libya'daki demir çelik üretim şirketinin tedarikçilerini sıralamışlardır. Sonuçlarla, önerilen yöntemin altı alternatif tedarikçi arasından en iyi tedarikçiyi etkili bir şekilde seçebildiğini göstermişlerdir.

Bakır ve Alptekin (2018), hava yolu taşımacılığı sektöründe rekabetin devamlılığı için hizmet kalitesine odaklanılmalı düşüncesiyle bu sektördeki 11 hava yolu işletmesini 7 kriteri dikkate alarak farklı ve alternatif metodoloji oluşturmak amacıyla CODAS yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Sonuçların çalışma verilerinin alındığı çalışma bulgularını destekler nitelikte olduğunu göstermişlerdir.

Ayyıldız ve Yalçın (2018), Türkiye'de lojistik dostu şehirlerin belirlenmesinde entropiye dayalı CODAS metodunu kullanmışlardır.

Tuş ve Adalı (2018), Denizli'de faaliyet gösteren bir tekstil firmasında personel seçimi problemi için CRITIC temelli CODAS metodunu uygulamışlardır.

Pamuçar vd. (2018), çalışmalarında CODAS metoduna Dilsel Nötronofik Sayıların (LNN- Linguistic Neutrosophic Numbers) kullanımını entegre ettikleri PW-CODAS metodunu tanıtmışlardır. Kendileri tarafından geliştirilen kriterlerin ağırlık katsayılarını belirlemek için yeni bir LNN Pairwise (LNN PW) modeli önermişlerdir. Önerdikleri LNN PW-CODAS modelini, Libya'da optimum Güç Üretim Teknolojisi (PGT) seçimine ilişkin bir vaka çalışması üzerinde 68 farklı kriter ağırlığı senaryolarıyla test edip kararlılığını doğrulamışlardır. Sonuçları, LNN-TOPSIS, LNN- MABAC, LNN-VIKOR ve LNN-MAIRCA olarak dört çok kriterli karar verme modelinin LNN uzantıları ile karşılaştırarak doğrulamışlardır.

Ayçin ve Arsu (2019), Türkiye'de sınıflandırılmış 12 bölgeye ait yenilebilir enerji kaynakları performanslarını değerlendirmek için entropi entegreli CODAS metodunu uygulamışlardır. Elde edilen sıralamanın bölgesel enerji üretimine uyumlu olduğunu söylemişlerdir.

Maghsoodi vd. (2019), İran'daki baraj inşaatı projesine dayalı olarak optimum çimento malzemesi türünün seçimine ilişkin bir vaka çalışmasında SWARA-CODAS yaklaşımını kullanmışlardır. Aynı şekilde Ulutaş (2020), çalışmasında en uygun kargo şirketi seçim problemini SWARA-CODAS entegreli bir uygulama ile değerlendirmiştir. Bu birleşik yöntemin uygulanmasıyla literatürde az çalışılan bir konu olan kargo hizmetlerinin değerlendirilmesine katkı yapıldığını ifade etmiştir.

Maghsoodi vd. (2020), Tahran'da bir alışveriş merkezi projesi için en uygun konumu

araştıran bir yer seçim probleminde aralık değerli 2 demet dil kümesinin en iyi-en kötü yöntem (BWM-The Best Worst Method) ve hedef değerli kriterlere sahip CODAS kombinasyonu ile entegrasyonunu uygulanmışlardır. 6 kriter 6 alternatifli mega yapı yer seçim problemine karar vericilerin ve politikacıların kriterler hakkındaki tercihlerinin aktarımı için hedef temelli bir normalleştirme benimsemişlerdir. BWM-CODAS kombinasyonu daha evvel bir yer seçim probleminde uygulanmadığından çalışma sonuçlarının sağlamlığıyla mega yapı inşaat alanı gibi karmaşık problemlere uygulanabilirliğini ifade etmişlerdir.

Özdağoğlu vd. (2020), hastalık teşhislerinin doğruluğu için yapılan testlerin analizinde kullanılan bir biyokimya hormon cihazı seçimi probleminde kriterleri SWARA metodu ile ağırlıklandırıp WSM ve CODAS yöntemleri ile alternatifleri sıralamışlardır. Uygulamada sıralamaların uygun olduğunu görmüşlerdir.

Saygın ve Kundakçı (2020), OECD teşkilatına üye olan 36 ülkeyi sağlık göstergeleri açısından WASPAS ve CODAS yöntemlerine göre karşılaştırarak analiz etmişlerdir. Bu yöntemler sonucu elde edilen sıralamalar arasındaki ilişkiyi belirlemek için Sperman korelasyon katsayısını kullanarak 0,995 olarak hesaplamışlardır. Buna göre kullanılan yöntemlerin sağlık göstergeleri altında ülkelerin sıralamasını belirlemede etkin sonuçlar verdiğini söylemişlerdir.

Deveci vd. (2020), yeni birleştirme operatörü ve seçim ölçüsünün kullanılmasıyla değiştirilmiş bir IVIF CODAS yöntemini Türkiye’de yenilenebilir enerji alternatiflerini sıralama problemi üzerinde uygulayarak önermişlerdir. Aralık değerli sezgisel bulanık kümelerde Öklid ve Taksicab mesafesini kullanmanın zayıf yönlerini göstererek ve karar vericinin değerlendirmelerindeki belirsizliği ve belirsizliği daha etkin bir şekilde modellemek için alternatif stratejiler sunmuşlardır. İlk olarak, aralık değerli sezgisel bulanık CODAS'ta Öklid ve Taksiab mesafesini kullanmanın dezavantajlarını ortadan kaldırmak için yeni bir seçim ölçüsü tanımlanmıştır. İkinci olarak, net ağırlıklar kullanmak yerine bulanık ağırlıkları kullanarak karar vericinin değerlendirmelerini toplamak için yeni bir bulanık toplama operatörü önermişlerdir. Modifiye edilmiş CODAS yönteminin etkinliğini göstermek için, Türkiye'de yenilenebilir enerji alternatiflerinin çok kriterli seçimi için bir uygulama ile sonuçlarını literatürdeki diğer iki aralıklı sezgisel bulanık CODAS yöntemi ile karşılaştırmışlardır.

Alioğulları ve Tüysüz (2020), çalışmalarında İstanbul’un 2013-2018 yıllarına ait dış ticaret raporlarını inceleyerek sektörler açısından hangi sektörde açığın ya da fazlalığın

olduğunu belirleyebilmek için Entropi tabanlı EDAS ve CODAS yöntemlerini kullanıp her iki yöntemi kıyaslamışlardır.

Badi ve Kridish (2020), Libya’da Mishura şehri için belediye katı atık sahası için optimum yeri seçmeyi amaçlamışlardır. Çalışmadaki 7 kriterin ağırlıklandırılmasında (FUCOM-Full Consistency Method) tam tutarlılık yöntemini kullanarak, kriterleri uzmanlar tarafından tahmin edilen ağırlıklara göre düzenlemişlerdir. Ardından bu yöntemi CODAS’a entegre ederek uygulamayı gerçekleştirmişlerdir.

Karagoz vd. (2020), çalışmalarında ömrünü tamamlamış araçların hızla artmasıyla İstanbul’da bu konuyla alakalı yetkili bir söküme merkezinin yer seçimi problemi için çeşitli alternatifleri değerlendirmişlerdir. Atık yöneticilerine yardımcı olmak ve sorunlarını çözmek için sezgisel bulanık küme (IFS) tabanlı CODAS yaklaşımını önermişler ve CODAS yönteminin entegre IFS'ler ile belirsizliğin tespit edilmesinde daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Önerilen yaklaşımın etkililiğini doğrulamak için sonuçları IFS tabanlı WASPAS ve TOPSIS yaklaşımlarının sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Tüm yöntemler alternatiflerin sıralamalarını aynı üretmiş, yazarlar bu sonuçlara göre sezgisel bulanık CODAS yaklaşımının geçerliliğini ve tutarlılığını onaylamışlardır.

Katranç ve Kundakçı (2020), çalışmalarında internet üzerinde kullanıcı sayısını giderek arttıran kripto paralara yatırım yapmak isteyenler için piyasadaki kripto para alternatiflerini çeşitli kriterlere göre Bulanık CODAS metodu ile değerlendirmişlerdir.

Es (2020), İç Anadolu Bölgesinde yer alan 13 ili eğitim hizmetlerine göre 5 kriterin dikkate alınarak CODAS yöntemi ile değerlendirdiği bir uygulama gerçekleştirmiştir.

Bir karar verme probleminde n alternatif ve m kriterin olduğu varsayılırsa CODAS metodu aşağıdaki adımların takip edilmesiyle uygulanmaktadır (Keshevarz vd. 2016).

Adım 1. Karar verme matrisinin oluşturulması

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Bu matris karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Karar matrisinde $x_{ij} \geq 0$ olmak üzere x_{ij} i. alternatifin j. kriterine göre performans değerini ifade etmektedir.

Adım 2. Normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesi

X matrisindeki tüm performans değerleri Denklem (10)’da gösterilen kriter tipine göre normalize edilir.

$$n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} & \text{eğer } j \in N_b \\ \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} & \text{eğer } j \in N_c \end{cases} \quad (10)$$

Burada N_b ve N_c sırasıyla fayda ve maliyet kriterlerini temsil eder.

Adım 3. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin elde edilmesi

Kriterlerin ağırlık katsayıları (w_j) belirlendikten sonra normalize edilmiş karar matrisindeki sütun değerleri ilgili ağırlık katsayıları ile çarpılır. Böylelikle ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = w_j n_{ij} \quad (11)$$

Burada w_j ($0 < w_j < 1$ olmak şartıyla) j 'inci kriterin ağırlığını ifade eder. Ayrıca kriterlere ait ağırlık katsayıları toplamı 1'e eşittir ($\sum_{j=1}^m w_j = 1$).

Adım 4. Negatif ideal çözümün belirlenmesi

Negatif ideal çözümün belirlenebilmesi için ağırlıklandırılmış karar matrisinin her bir sütunundaki performans değerlerinin en küçüğü seçilir.

$$ns = [ns_j]_{1 \times m} \quad (12)$$

$$ns_j = \min r_{ij} \quad (13)$$

Adım 5. Öklid ve Taxicab uzaklıklarının hesaplanması

Her bir alternatifin negatif ideal çözüme olan Öklid ve Taxicab uzaklıkları sırasıyla Denklem (14) ve Denklem (15) kullanılarak hesaplanır.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (14)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - ns_j| \quad (15)$$

Adım 6. Göreceli değerlendirme matrisinin (Ra) oluşturulması

Alternatiflerin Öklid ve taxicab uzaklıkları baz alınarak Denklem (16) ve Denklem (17) ile göreceli değerlendirme matrisi elde edilir.

$$Ra = [h_{ik}]_{n \times n} \quad (16)$$

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad (17)$$

Burada $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ ve ψ , iki alternatifin Öklid uzaklığının eşitliğini tanımlayan bir eşik fonksiyonunu ifade eder ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } |x| \geq \tau \\ 0 & \text{eğer } |x| < \tau \end{cases} \quad (18)$$

Denklem (18)'de yer alan τ karar verici tarafından belirlenebilen eşik parametresi olarak tanımlanır. Bu parametrenin 0,01 ile 0,05 arasında bir değer seçilmesi önerilir. Eğer karşılaştırılan iki alternatifin Öklid uzaklıkları arasındaki fark τ 'den küçükse, bu iki alternatif Taxicab uzaklıklarına göre karşılaştırılır. Literatürdeki çalışmalarda τ eşik parametre değeri 0,02 olarak alınmıştır.

Adım 7. Değerlendirme puanlarının hesaplanması

Her bir alternatifin değerlendirme puanı denklem (19) ile hesaplanır.

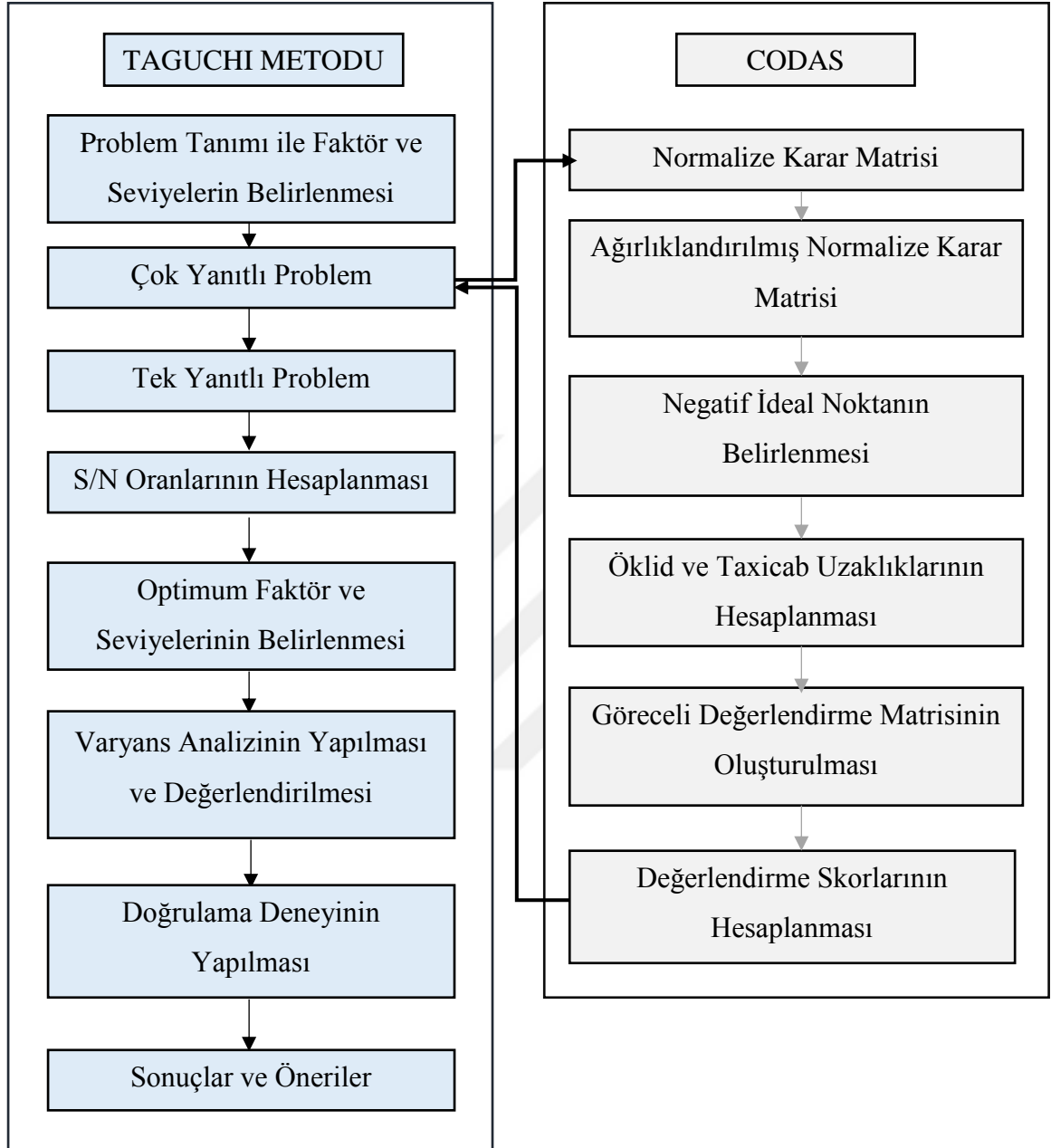
$$H_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (19)$$

Adım 8. Değerlendirme puanlarının azalan değerlere göre sıralanması

Alternatifler değerlendirme puanlarına (H_i) göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. Bu sıralamada en yüksek değerlendirme puanına sahip alternatifin, tüm alternatifler içinde en iyi seçim olduğu ifade edilir.

3.2.3. CODAS Tabanlı Taguchi Metodolojisi

Literatürde ÇKKV yöntemlerinin Taguchi ile kullanılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ortogonal diziye göre yanıt değerlerinin elde edilmesi ve bu yanıtları karar matrisi olarak alıp kullanılacak olan ÇKKV yönteminin uygulanmasıdır. ÇKKV yöntemi uygulandıktan sonra tek bir çıktı elde edilir. Elde edilen bu çıktı yeni bir yanıtmış gibi üzerine Taguchi uygulanır ve sonuçları analiz edilir. Bu tez çalışması kapsamında uygulanacak olan CODAS eklemeli Taguchi yönteminin adımları Şekil 5'te gösterildiği gibidir. Buradan çok yanıtlı bir en iyileme problemine ÇKKV yönteminin hangi aşamada dahil olacağı açıkça görülebilmektedir.



Şekil 5. CODAS tabanlı Taguchi metodunun işlem adımları

4. UYGULAMA

4.1. Problemin Tanımı

Trafik kazalarının azaltılması ve en azından hasarlarının en aza indirilmesi için araçlarda yaygın olarak kullanılan enerji sönümlenme sistemlerinin tasarımı üzerinde iyileştirmeler yapmak ve uygulamak toplum için oluşabilecek kayıpların ve problemlerin önüne geçmek demektir. Ayrıca taşıt tasarımında sürece ilişkin verileri toplayıp üretimden önce probleme yönelik analizlerin yapılması, zaman ve maliyetten kazanç sağlanması açısından üreticilerin istediği bir durumdur. Bu çalışmada hazırlanan deney düzeği ile enerji sönümlenme performansının hangi faktörlerden ne kadar etkilendiğini ve en uygun sönümlenme sisteminin tasarlanması için hangi faktör seviye kombinasyonun olması gerektiği üzerinde bir araştırma yapılmıştır. Farklı malzemelerden yapılmış tüplerin statik ve dinamik yükler altında enerji sönümlenme performansının optimizasyonu için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen optimum ince cidarlı tüp tasarımı ile kaza esnasında oluşabilecek hasarların en aza indirmesi amaçlanmıştır.

Koşul, malzeme ve kalıp açısı faktörlerinin enerji sönümlenme performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sistemde enerji sönümlenme performansını ifade eden pik kuvvet ve enerji sönümlenme miktarı optimum düzeyde elde edilmek istenen 2 çıktı olarak ele alınmıştır. Deneysel çalışma için uygun ortogonal dizi, belirlenen faktör ve ilgili faktörlerin seviye sayıları baz alınarak L18 ($2^1 3^2$) karma dizisi seçilmiştir. Belirlenen L18 ortogonal dizisine göre gerçekleştirilecek deneylerin sonuçlarına göre elde edilen pik kuvvet ve enerji sönümlenme miktarı Taguchi yöntemine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Daha sonra bu iki performans yanıtın ayrı ayrı sonuçlarının farklılığı sebebiyle birlikte değerlendirilmeye katılmıştır. Bunun için Taguchi metodunu destekleyen ÇKKV yöntemlerinden CODAS uygulanmıştır. Yanıtların ağırlıklandırılmasında karar vericilerin görüşlerinin dahil edildiği ROC metodu kullanılmıştır. Karar verici bu alanda çalışmalar yapan bir makine mühendisidir. ROC metodu için istenen önem dereceleri karar verici tarafından atanmıştır. ROC-CODAS yaklaşımı ile iki performans yanıtı tek bir yanıtı dönüştürülmüş, problem tüm yanıtların eş zamanlı değerlendirildiği tek yanıtı bir eniyileme problemi haline getirilmiştir. Ardından tek yanıtı problem Taguchi yöntemi ilkelerine uygun olarak çözümlenerek en iyi faktör seviye kombinasyonu elde edilmiştir. Taguchi metodunda faktörlerin ya da

parametrelerin değerlendirilmesinde ve ölçülmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenilen sinyal değerinin, işlemde oluşabilecek gürültü değerlerine oranı olduğunu söylemiştik. Burada sinyal değeri, ölçülmek istenen ve sistemin verdiği gerçek değerdir ki bu değer yüksek olması beklenilir. Gürültü değeri ise ölçülmek istenen değerde karşımıza çıkan istenmeyen durumları temsil eder. İstenmeyen durumların kontrolü zor olacağından bu değer de küçük olması beklenir. Böylelikle S/N oranının büyük olduğu deney numarasının seçilmesiyle iyileştirilmesi istenilen işlemin optimum tasarım değerlerine ulaşılmaktadır. Bu oranın hesaplanması deney çıktılarının hedeflerine göre değişmektedir. Bu çalışmada hedefe göre S/N oranı hesaplandıktan sonra %95 güven aralığında varyans analizi ile faktörlerin etki durumları incelenmiştir. Tüm bu çalışmalar Minitab 17 programı kullanılarak analiz edilmiştir.

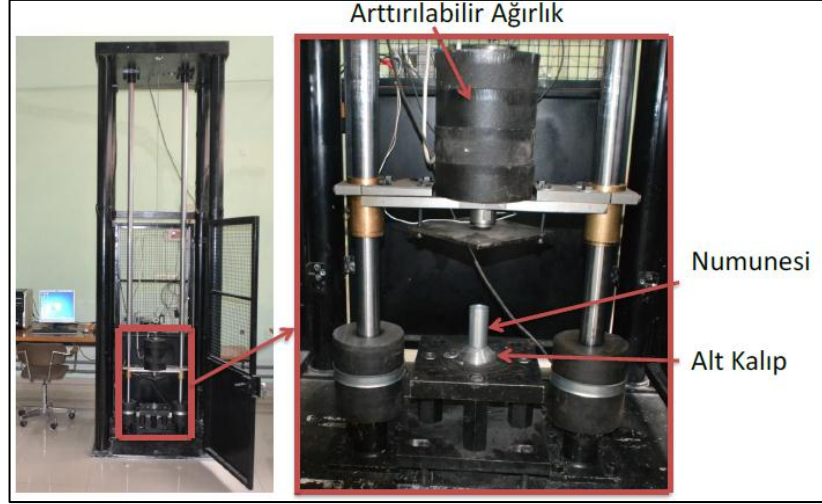
4.2. Deney Düzenegi

Deneyler, belirlenen faktör ve seviye değerleri baz alınarak seçilen L18 deney tasarımına göre statik ve dinamik koşullarda yapılmıştır. Ayrıca deneyler tüp yapısında kullanılan malzemenin temininde ve maliyette sıkıntılar yaşandığından tek tekrarlı olarak yapılmıştır. Statik deneyler genel olarak 0,0015 m/s'ye kadar düşük deformasyon hızlarında gerçekleştirilirler. Bu testlerde deformasyon hızları düşük olduğundan deformasyon sertleşmesi etkisi genelde görülmez (Meriç, 2014). Statik deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü'nün laboratuvarlarında bulunan MTS Criterion 45 Serisi Elektromekanik Üniversal Test Sistemi ile yapılmıştır. Sistem MTS Test Suite TW yazılımı içermekte ve testler bu program vasıtasıyla bilgisayar kontrollü olarak yapılmıştır. Bu sistemin genel görünümü Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. MTS Criterion 45 serisi universal test sistemi

Dinamik deneyler ise malzemelerin enerji sönümlene kabiliyetini ve hasar davranışlarını dinamik şartlarda anlamak için yapılır. Bu deneyler genellikle bir kütlenin belirli bir yükseklikten serbest bırakılması veya atış testleri gibi şartlandırılarak yapılırlar. Dinamik deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik laboratuvarında bulunan ve Şekil 7’de verilen serbest düşme deney sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Deney sisteminde hem plakaların delinme testleri hem de tüplerin hasar testleri çarpan uç değişimi yapılarak gerçekleştirilebilmektedir. Sistemde serbest düşen kütle 15 kg’ dan 60 kg’ a kadar değişebilirken hızı da maksimum 6.5 m/s’ye çıkabilmektedir. Çarpma anındaki kuvvet ve ivme değerleri sistem üzerindeki algılayıcılar vasıtasıyla ölçülerek uygun bir yazılımla kalibre edilmektedir. Dinamik testler (deformasyon deneyleri), alt zemine sabitlenmiş ve Şekil 10’da görülen farklı açılardaki alt kalıplar üzerine tüplerin yerleştirilmesiyle gerçekleştirildi (Meriç, 2014).



Şekil 7. Serbest düşme test sistemi

4.3. Tek Yanıtlı Uygulama

Enerji sönümlenme performansının optimizasyonunun sağlanması için ince cidarlı tüplere ait pik kuvvet değerleri ve enerji sönümlenme miktarları statik ve dinamik koşullarda yapılan deneylerle elde edilmiştir. Her iki yanıt için Taguchi uygulanmış sonuçları Minitab 17 programı ile analiz edilmiştir. Parametrelerin yanıtlara etkisini görmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Ayrıca giriş parametreleri olarak koşul, malzeme ve açı kullanılarak %95 güven seviyesinde her iki yanıt için çoklu regresyon denklemlerine dayalı ikinci dereceden doğrusal olmayan regresyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin doğruluğunu belirlemek için belirleme katsayısı (R^2) değeri kullanılmıştır.

4.3.1. Pik Kuvvet Büyüklüğü (kN)

Pik kuvvet yanıtı için Taguchi yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir.

Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerinin Belirlenmesi: Çalışmada tüp tasarımına ait alt kalıp açısının ve malzeme yapısının pik kuvvete olan etkisi Şekil 6 ve Şekil 7'de kurulan koşullar ile araştırılmıştır. Buna göre çalışmada kullanılacak faktörler koşul, malzeme ve açı olarak belirlenmiştir.

Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi: Pik kuvvete etki eden faktörlerin belirlenmesinden sonra bu faktörlere ait seviye değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada karar verici tarafından belirlenen her bir faktöre ait seviye değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

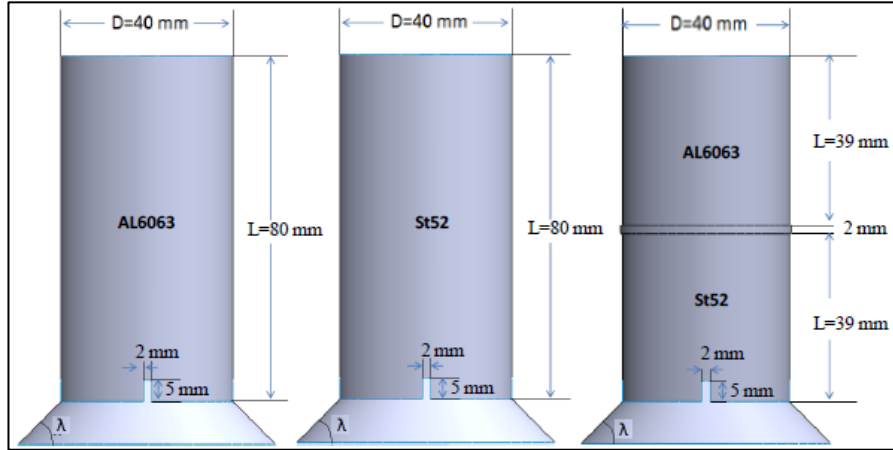
Tablo 3. Faktör ve karşılık gelen seviye değerleri

Faktör	Birim	Seviye		
		1	2	3
Koşul	-	Statik	Dinamik	-
Malzeme	-	Al6063	St52	Al&St
Açı	°	0°	15°	30°

Belirlenen faktörlere göre oluşturulan deney numuneleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Numuneler; 1.5 mm cidar kalınlığında, 40 mm çapında ve toplamda 80 mm uzunluğunda olacak şekilde hazırlanmıştır. Şekil 9'da görülen deney numuneleri; 80 mm uzunluğunda Al6063, 80 mm uzunluğunda St52 malzemeden ve 39 mm uzunluklu Al6063 ve 39 mm uzunluklu St52 malzemelerinden oluşturulmuştur.



Şekil 8. Deney numunelerinin görünümü



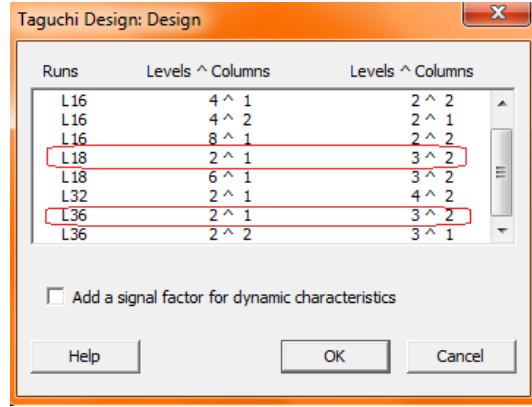
Şekil 9. Deney numunelerinin geometrik görünümü ve özellikleri

Son tip numunelerde Şekil 9'da görülen 2 mm kalınlığa sahip ara aparat kullanılmıştır. Ara aparat kullanılmasının nedeni alüminyum ve çelik gibi farklı malzemelerin kaynak edilmesinde karşılaşılan zorluklardır. Bu aparat yardımı ile alüminyum ve çelik numuneler birbirine sıkı bir şekilde bağlanmıştır. Deney numunelerinin alt uç kısımlarına 5 mm uzunluğunda ve 2 mm genişliğinde eşit açılı dört adet çentik açılmıştır. Ayrıca Şekil 10'da verilen farklı açılara (0° , 15° , 30°) sahip alt kalıplar üretilmiştir.



Şekil 10. Alt kalıp açılarının görünümü (0° , 15° , 30°)

Uygun Ortogonal Dizin Seçilmesi: Tablo 3 incelendiğinde problemde hem 2 seviyeli hemde 3 seviyeli faktörlerin olduğu görülmektedir. Belirlenen faktör ve seviye sayıları için en uygun dizi $2^1 \times 3^2$ 'den L18 olmaktadır. Ayrıca bu verileri Minitab 17 programına girdiğimizde bize L18 ve L36 ortogonal dizilerini önermektedir (Şekil 11). Yapılacak deneylerle zaman kaybetmemek ve maliyeti düşürmek için L18 ortogonal dizisi seçilmiştir.



Şekil 11. L18 dizi seçim ekranı

Faktör veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması: Probleme uygun ortogonal dizin seçildikten sonra faktörler herhangi bir sütuna atanabilir. Minitab 17 yardımıyla L18 deney diziliminin seçilmesiyle faktörler kolonlara Tablo 4'teki gibi yerleştirilir.

Tablo 4. L18 ortogonal dizisine göre oluşturulan deney düzeneği

Deney No	Koşul	Malzeme	Açı
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3

Tablo 5. L18 ortogonal dizilimine karşılık gelen seviye değerleri

Deney No	Koşul	Malzeme	Açı
1	Statik	Al6063	0
2	Statik	Al6063	15
3	Statik	Al6063	30
4	Statik	St52	0
5	Statik	St52	15
6	Statik	St52	30
7	Statik	Al&St	0
8	Statik	Al&St	15
9	Statik	Al&St	30
10	Dinamik	Al6063	0
11	Dinamik	Al6063	15
12	Dinamik	Al6063	30
13	Dinamik	St52	0
14	Dinamik	St52	15
15	Dinamik	St52	30
16	Dinamik	Al&St	0
17	Dinamik	Al&St	15
18	Dinamik	Al&St	30

Ayrıca Tablo 5’te, Tablo 4’teki ortogonal dizilime karşılık gelen faktörlerin seviye değerleri ile ifade edilmiş hali verilmiştir. Faktör ve seviye değerlerinin belirlenmesinin ardından iyileştirilmesi istenilen performans yanıtı pik kuvvet değerinin hesaplanması için deney düzeneği kurulmuştur.

Testlerin Yapılması: Pik kuvvetin büyük olması ilk çarpışma esnasında araca ve içindekilere yüksek kuvvetlerin etki etmesiyle ciddi yaralanmalar ya da iç kanama gibi durumlar meydana getirebilmektedir. Dolayısıyla çarpmada pik kuvvet büyüklüğü dezavantaj bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple pik kuvvet değerlerinin Taguchi’nin en küçük en iyi (smaller is better) performans karakteristiğine göre hesaplanan S/N verilerine göre değerlendirilmesi gerekmektedir. L18 ortogonal dizilimine göre gerçekleştirilen deneylerin sonucunda elde edilen pik kuvvet değeri ile en küçük en iyi denkleminin kullanılmasıyla hesaplanan S/N oranlarına ait değerler Tablo 6’daki gibidir.

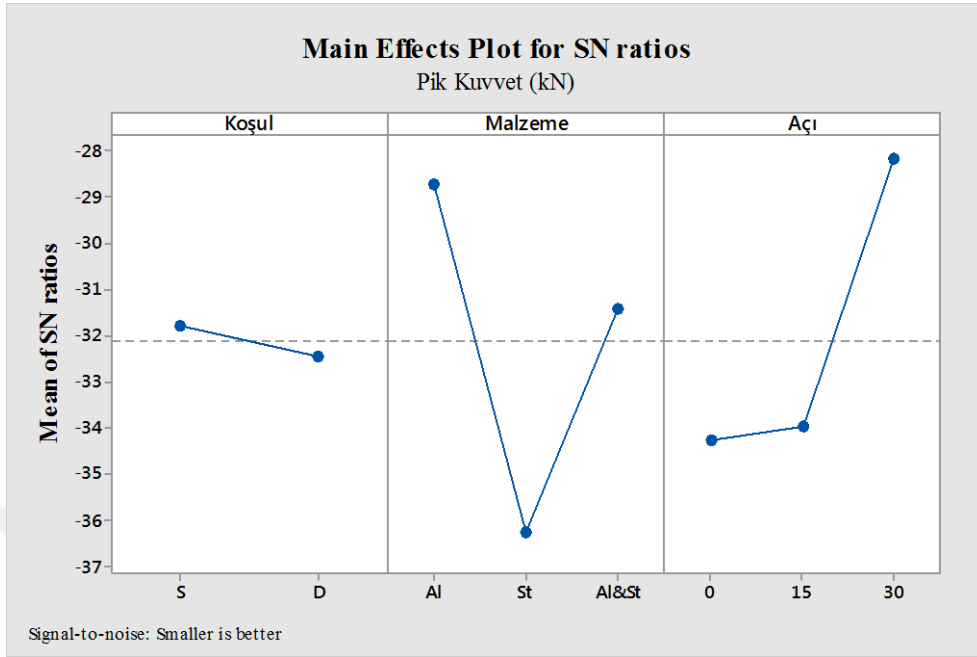
Tablo 6. Yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen pik kuvvet değerleri

Deney No	Koşul	Malzeme	Açı	Pik Kuvvet (kN)	S/N
1	Statik	Al6063	0	41,36	-32,3316
2	Statik	Al6063	15	38,7	-31,7542
3	Statik	Al6063	30	17,5	-24,8608
4	Statik	St52	0	69,38	-36,8247
5	Statik	St52	15	68,37	-36,6973
6	Statik	St52	30	33,22	-30,428
7	Statik	Al&St	0	40,07	-32,0564
8	Statik	Al&St	15	40,48	-32,1448
9	Statik	Al&St	30	28,5	-29,0969
10	Dinamik	Al6063	0	37,83	-31,5567
11	Dinamik	Al6063	15	31,63	-30,002
12	Dinamik	Al6063	30	12,1	-21,6557
13	Dinamik	St52	0	113,57	-41,1053
14	Dinamik	St52	15	114,63	-41,186
15	Dinamik	St52	30	37,32	-31,4388
16	Dinamik	Al&St	0	38,4	-31,6866
17	Dinamik	Al&St	15	39,89	-32,0173
18	Dinamik	Al&St	30	37,39	-31,4551

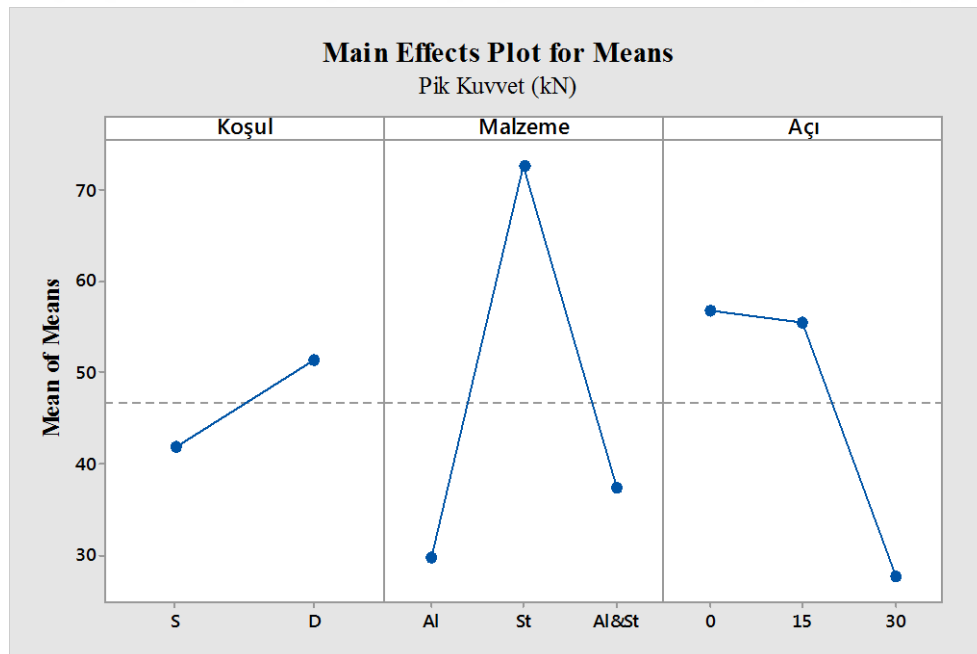
Sonuçların Analiz Edilmesi: Şekil 12’de deney sonuçlarına göre elde edilen pik kuvvet değerlerine ait ‘smaller is better’ hedefine göre hesaplanan S/N oranlarının grafiği verilmiştir. Şekil 12’de minimum pik kuvvet değerini elde etmek optimum parametrelerin statik koşulda Al6063 malzemeli ve 30° alt kalıp açısına göre tasarlanması gerektiği görülmektedir. Pik kuvvet üzerinde faktörlerin ne kadar farkla etki ettiğini bulabilmek için faktörlerin seviyeleri arasındaki değişime bakılabilir. Şekil 13’de her bir faktörün kaç seviyesi varsa bu seviyelere göre pik kuvvetin ortalama değerleri verilmiştir. Bu grafikte faktörler arasından koşul faktörünün seviye ortalamalarının birbirine yakın olduğu, malzeme faktörüne ait seviye ortalamalarının ise birbirinden uzaklık farkının en fazla olduğu görülebilmektedir. Örnek olarak koşul faktörü statik ve dinamik seviyelerine ait ortalama değerleri sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{41,36 + 38,7 + 17,5 + 69,38 + 68,37 + 33,22 + 40,07 + 40,48 + 28,5}{9} = 41,953$$

$$\frac{37,83 + 31,63 + 12,1 + 113,57 + 114,63 + 37,32 + 38,4 + 39,89 + 37,39}{9} = 51,417$$



Şekil 12. Pik kuvvet için S/N grafiği



Şekil 13. Pik kuvvet için ortalamalar grafiği

Şekil 13'ün tablolaştırıldığı Tablo 7'de bu seviyeler arasındaki farklar verilmiştir. Her bir seviyeye ait ortalamalar arasındaki farkın büyük olması o faktörün en etkili faktör

olduğunu ifade etmektedir. Buna göre Tablo 7 yardımıyla en etkili faktörün malzeme olduğu, malzemeyi de sırasıyla açığı ve koşul faktörlerinin takip ettiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre Al6063 malzeme kullanılmış düz tüplerin kullanımı araçlarda pik kuvvetin düşürülmesinde önemli bir role sahiptir denilebilir.

Tablo 7. Pik kuvvet için yanıt tablosu

Seviye	Koşul	Malzeme	Açı
1	41,953	29,85	56,77
2	51,417	72,75	55,62
3	-	37,45	27,67
Fark	9,46	42,89	29,10
Sıralama	3	1	2

Deney sonuçlarına göre koşul, malzeme ve açığı faktörlerinin pik kuvvet değeri üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Tablo 8 incelendiğinde pik kuvvetin minimizasyonuna %45,9 katkı ile malzeme faktörü olduğu görülmektedir. Sırasıyla diğer faktörlerin yüzde katkısı açığı için %36,82, koşul için %0,50’dir. Aynı tabloda P değerleri incelendiğinde malzeme ve açığı faktörlerinin P değeri 0,05’ten küçük olduğu görülür. Bu değerlere göre malzeme ve açığı faktörünün pik kuvvet değeri üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu sonucuna varılmaktadır. Diğer yandan koşul faktörü P değeri 0,05’ten büyük olduğu için sonuç üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğundan bahsedilemez.

Tablo 8. Pik Kuvvet ANOVA tablosu

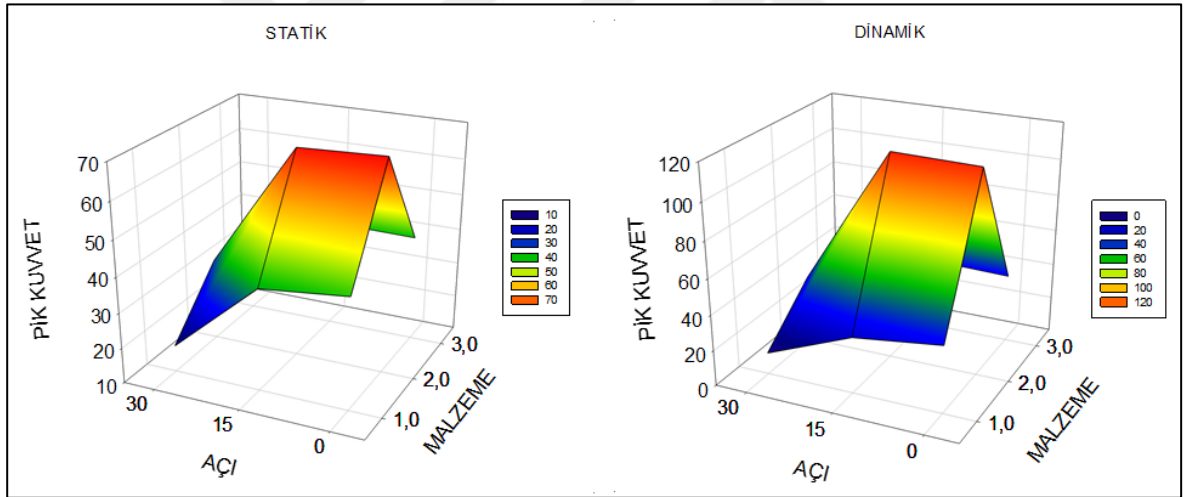
Kaynak	DoF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri	Katkı(%)
Koşul	1	1,940	1,940	0,36	0,560	0,50%
Malzeme	2	177,307	88,654	16,41	0,000	45,90%
Açı	2	142,234	71,117	13,17	0,001	36,82%
Hata	12	64,821	5,402			16,78%
Toplam	17					100%

Veriler kullanılarak Pik kuvvet değerine ait regresyon denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{Pik kuvvet} = & 38,5979 + 2,61317e + 016 * \text{koşul} + 1,81984 * \text{malzeme} + \\ & 2,28684e + 015 * \text{açı} - 5,08927 * \text{koşul} * \text{malzeme} - 0,00057999 * \text{koşul} * \text{açı} - \\ & 0,196813 * \text{malzeme} * \text{açı} - 2,61317e + 016 * \text{koşul} * \text{koşul} + 4,41354 * \text{malzeme} * \\ & \text{malzeme} - 2,28684e + 015 * \text{açı} * \text{açı} \end{aligned}$$

Geliştirilen modelin doğruluğunu belirlemek için kullanılan R^2 değeri 0,821'dir. Bu değer girdi olarak kullanılan faktörlerin pik kuvvet üzerindeki etkisinin %82,1'ini geliştirilen modelle ifade edilebildiğini gösterir.

Ayrıca pik kuvvet değerleri malzeme ve açı faktörleri açısından 3 boyutlu olarak Şekil 14'teki gibi çizilmiştir. Bunun için Sigma Plot 14 programından yararlanılmıştır. Bu grafikler üzerinden de 1 numaralı Al malzemesi ve 30 derece açı değerlerinin minimum pik kuvvet değerlerini verdiği görülebilmektedir.



Şekil 14. Statik ve dinamik koşulda açı ve malzeme faktörlerinin pik kuvvet değerleri üzerinde etkileşimi

4.3.2. Enerji Sönümleme Miktarı (J)

Çalışmaya ait diğer performans yanıtımız olan enerji sönümleme miktarı için Taguchi yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir.

Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi: Enerji sönümleme miktarı yanıtına ait faktörler aynı probleme aittir. Faktörler Tablo 3'te verildiği gibidir.

Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi: Problem aynı olduğu için pik kuvvet için belirlenen seviye değerleri enerji sönümleme miktarı için de geçerlidir. Seviye değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Uygun Ortogonal Dizin Seçilmesi: Faktör ve seviye değerleri aynı olduğundan burada da tasarım için belirlenen L18 dizisidir.

Faktör veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması : Yapılacak olan deneylerin tasarım düzeneğini veren L18 ortogonal dizisine göre faktörlere ait seviye dizilimleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Bu tablo çalışmanın amacına ulaşması için 18 tane deneyin yapılması gerektiğini göstermektedir.

Testlerin Yapılması: Enerji sönümleme miktarı çarpma boyunca gelen kuvvetin sönümlenmesi şeklinde ifade edildiğinden bu miktarın büyük olması amaçlanmaktadır. Olası çarpmalarda oluşan enerjinin sönümlenmesi hem aracın hem de araç içindeki insanların güvenliğini arttıracaktır. Bu sebeple enerji sönümleme miktarı Taguchi'nin en büyük en iyi (higher is better) performans karakteristiğine göre hesaplanan S/N verilerine göre değerlendirilmesi gerekmektedir. L18 ortogonal dizilimine göre gerçekleştirilen deneylerin sonucunda elde edilen enerji sönümleme miktarı ile en büyük en iyi denkleminin kullanılmasıyla hesaplanan S/N oranlarına ait değerler Tablo 9'daki gibidir.

Tablo 9. Yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen enerji sönümleme miktarı

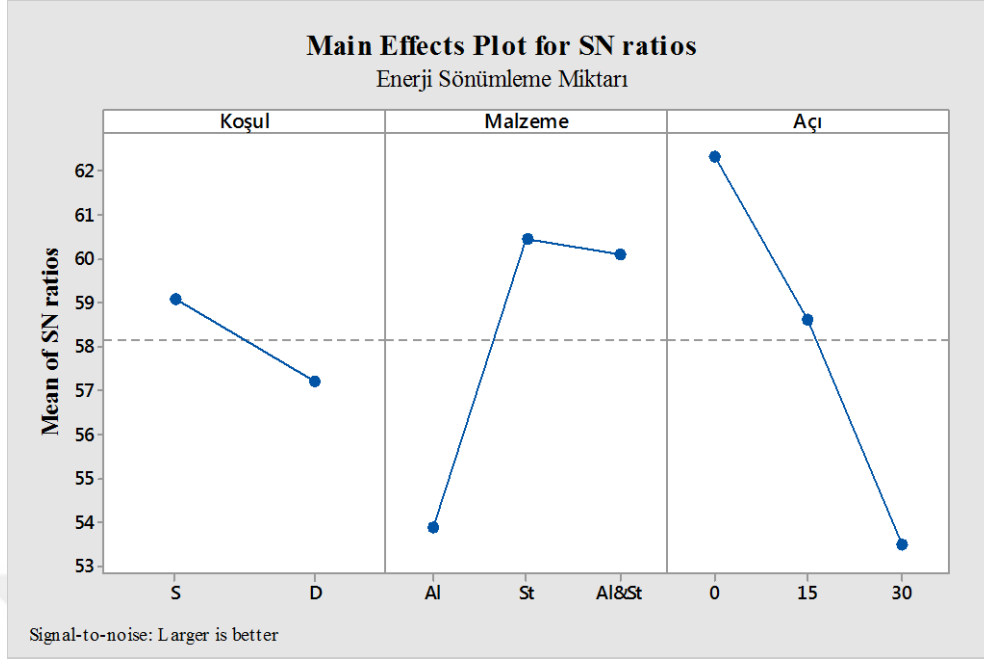
Deney No	Koşul	Malzeme	Açı	Enerji Sön. Miktarı (J)	S/N
1	Statik	Al6063	0	1350	62,6067
2	Statik	Al6063	15	430	52,6694
3	Statik	Al6063	30	230	47,2346
4	Statik	St52	0	2590	68,266
5	Statik	St52	15	1690	64,5577
6	Statik	St52	30	600	55,563
7	Statik	Al&St	0	1370	62,7344
8	Statik	Al&St	15	1250	61,9382
9	Statik	Al&St	30	640	56,1236
10	Dinamik	Al6063	0	970	59,7354
11	Dinamik	Al6063	15	510	54,1514
12	Dinamik	Al6063	30	220	46,8485
13	Dinamik	St52	0	1060	60,5061
14	Dinamik	St52	15	830	58,3816
15	Dinamik	St52	30	590	55,417
16	Dinamik	Al&St	0	1010	60,0864
17	Dinamik	Al&St	15	1000	60
18	Dinamik	Al&St	30	970	59,7354

Sonuçların Analiz Edilmesi: Şekil 15'te deney sonuçlarına göre elde edilen enerji sönümleme miktarına ait 'higher is better' hedefine göre hesaplanan S/N oranlarının grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre optimum tasarım parametrelerinin statik koşulda, St52 malzemeli, 0° alt kalıp açısı şeklinde olduğu görülmektedir. Şekil 16'da her bir faktörün kaç seviyesi varsa bu seviyelere göre enerji sönümleme miktarı ortalama değerleri verilmiştir. Bu grafikte açı faktörüne ait seviye ortalamalarının birbirinden uzaklık farkının en fazla olduğu görülebilmektedir. Örnek olarak malzeme faktörü Al6063, St52 ve Al&St seviyelerine ait ortalama değerleri sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

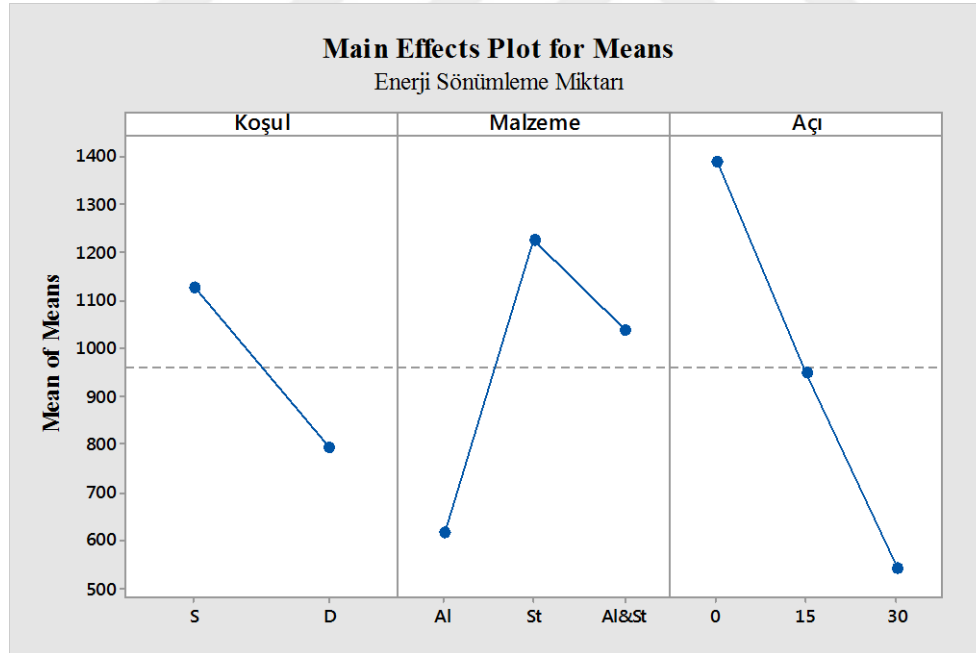
$$\frac{1350 + 430 + 230 + 970 + 510 + 220}{6} = 618,33$$

$$\frac{2590 + 1690 + 600 + 1060 + 830 + 590}{6} = 1226,67$$

$$\frac{1370 + 1250 + 640 + 1010 + 1000 + 970}{6} = 1040$$



Şekil 15. Enerji sönümlenme miktarı için S/N grafiği



Şekil 16. Enerji sönümlenme miktarı için ortalamalar grafiği

Şekil 16'dan maksimum enerji sönümlenme miktarı üzerinde en çok katkısı olan faktörün açı faktörü olduğu faktörlerin seviyeleri arasındaki değişime bakılarak gözlemlenebilmektedir. Tablo 10'da bu seviyeler arasındaki farklar ve etki sıralaması verilmiştir. Yanıt tablosuna göre en etkili faktörün açı olduğu, açığı da sırasıyla malzeme ve

koşul faktörlerinin takip ettiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre 0° alt kalıp açısı ile tasarlanan düz tüplerin enerji sönümlenme miktarını arttıracığı ve böylece araç içinde hissedilen çarpmanın en aza indirilebileceği söylenir.

Tablo 10. Enerji sönümlenme için yanıt tablosu

Seviye	Koşul	Malzeme	Açı
1	1127,8	618,33	1391,7
2	795,6	1226,67	951,7
3		1040	541,7
Fark	332,2	608,3	850
Sıralama	3	2	1

Deney sonuçlarına göre faktörlerin enerji sönümlenme miktarı üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 11’de verilmiştir. Tablo 11 incelendiğinde enerji sönümlenme miktarının maksimizasyonuna %44,77 katkı ile açı faktörü olduğu görülmektedir. Sırasıyla diğer faktörlerin yüzde katkısı malzeme %31,14, koşul %2,98’dir. Aynı tabloda P değerleri incelendiğinde malzeme ve açı faktörlerinin p değerinin 0,05’ten küçük olduğu görülür. Bu değerlere göre malzeme ve açı faktörünün enerji sönümlenme miktarı üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu sonucuna varılır. Diğer yandan koşul faktörü p değeri 0,05’ten büyük olduğu için sonuç üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğundan bahsedilemez.

Tablo 11. Enerji sönümlenme miktarı ANOVA tablosu

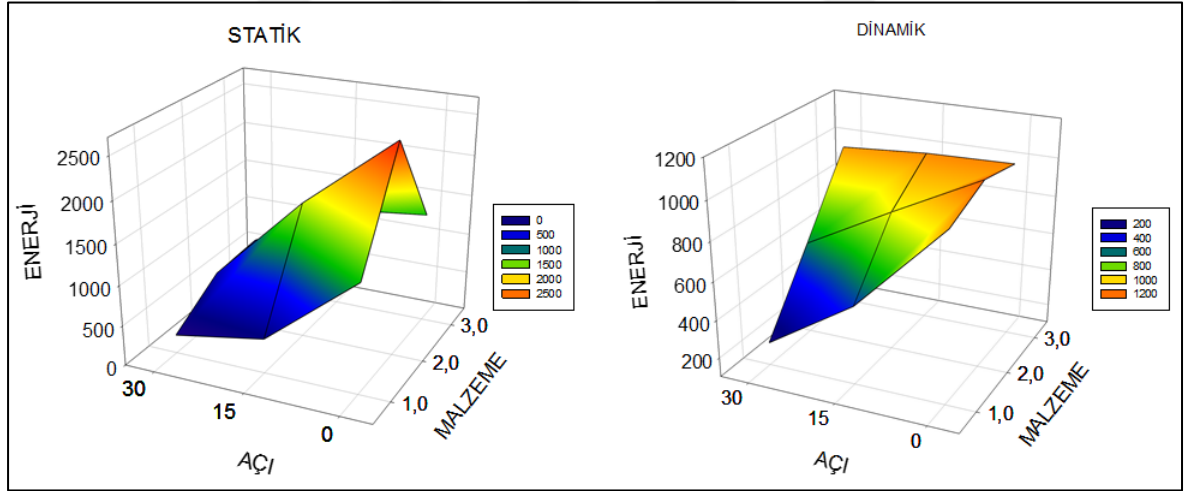
Kaynak	DoF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri	Katkı(%)
Koşul	1	15,74	15,739	1,70	0,217	2,98%
Malzeme	2	164,27	82,137	8,85	0,004	31,14%
Açı	2	236,22	118,112	12,73	0,001	44,77%
Hata	12	11,35	9,280			21,11%
Toplam	17					100%

Enerji sönümlenme miktarı yanıtına göre geliştirilen regresyon modeli aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{Enerji sönümlenme miktarı} = & 66,7485 + 4,08428e + 015 * \text{Koşul} - 0,219263 * \\ & \text{Malzeme} - 0,270982 * \text{Açı} - 0,378115 * \text{Koşul} * \text{Malzeme} + 0,172798 * \text{Koşul} * \text{Açı} - \\ & 0,175 * \text{Malzeme} * \text{Açı} - 4,08428e + 015 * \text{Koşul} * \text{Koşul} - 3,68409 * \text{Malzeme} * \\ & \text{Malzeme} - 0,00385621 * \text{Açı} * \text{Açı} \end{aligned}$$

Geliştirilen modelin doğruluğunu belirlemek için kullanılan R^2 değeri 0,952'dir. Bu değer girdi olarak kullanılan faktörlerin enerji sönümlenme üzerindeki etkisinin %95,2'sinin geliştirilen modelle ifade edilebildiğini gösterir.

Ayrıca enerji sönümlenme miktarı malzeme ve açı faktörleri açısından 3 boyutlu olarak Şekil 17'deki gibi çizilmiştir. Bunun için Sigma Plot 14 programından yararlanılmıştır. Bu grafikler üzerinden de 2 numaralı St malzemesi ve 0 derece açı değerlerinin maksimum enerji sönümlenme miktarını verdiği okunabilmektedir.



Şekil 17. Statik ve dinamik koşulda açı ve malzeme faktörlerinin enerji sönümlenme miktarı üzerindeki etkileşimi

Sonuçlar, pik kuvvet ve enerji sönümlenme çıktılarının farklı düzeylerde farklı faktörlerde etkilendiğini ve yanıtların optimum değerlerinin de farklı seviyelerde olduğunu göstermiştir. Ayrıca karar vericiler tarafından pik kuvvet minimize edilmek istenirken enerji sönümlenme miktarı ise maksimize edilmek istenmektedir. Oluşan bu çelişkilerin ortadan kaldırılması için Taguchi yöntemine eşlik eden bir ÇKKV yönteminin ve aynı zamanda yanıtları farklı önem düzeylerine göre değerlendirilerek yanıtların tek yanıtla dönüştürülmesi

gerektiği düşünölmüştür. Buna göre problemin tek yanıtli olarak değil çok yanıtli olarak da incelenmesi gerekli görölmüştür.

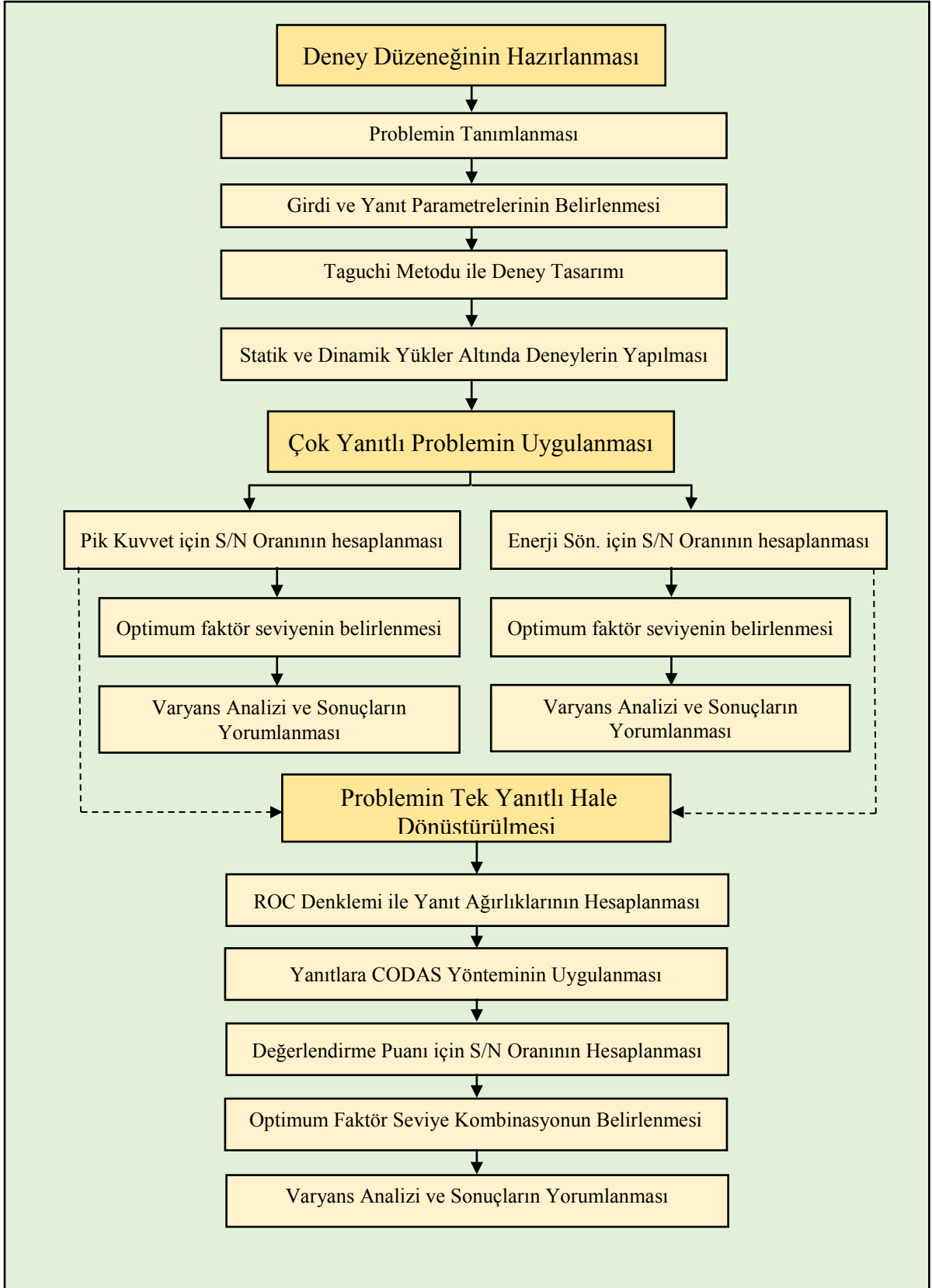
4.4. Çok Yanıtli Uygulama

Çalışma kapsamında belirlenen performans yanıtları pik kuvvet değeri ve enerji sönümlenme miktarıdır. Çok yanıtli olan problemin tek yanıtli hale dönüştürölmeye işlemine ÇKKV yöntemlerinin sürece dahil olduğu metot bölümünde belirtilmiştir. Entegre edilmiş ÇKKV – Taguchi yöntemlerinin uygulanmasında yanıtlar, çok kriterli yöntemlerin kriterleri gibi düşünölerek uygulanmaktadır. Yani 2 yanıtli olmasi 2 adet kriterin olduğu anlamına gelmektedir. Faktör ve seviye sayılarına göre seçilen ortogonal dizi tablosuna göre yapılan deneyler de probleme ait alternatifler olmaktadır. Çok yanıtli uygulamanın akış şeması şekil 18’de gösterildiği gibidir.

Bu çalışmada ilk olarak yanıtların yani kriterlerin ağırlıklandırılmasında ROC yöntemi kullanılacaktır. Ardından yanıtların tek yanıtli dönüştürölmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden CODAS yöntemi uygulanacaktır. Bu yöntem literatürde araştırma yapılarak daha önceden kullanılmamış olmasıyla literatüre kazandırılmak istenmektedir. Ayrıca CODAS yöntemi literatürdeki yöntemlere göre çok daha yeni bir yöntemdir. Bu yöntemin Taguchi ile entegre edilerek kullanılması da gösterilmek istenmektedir.

Son aşamada ise kullanılan kontrol faktörlerinin enerji sönümlenme performansına yakınlığını araştırmak için % 95 güven aralığında çoklu regresyon denklemlerine dayalı ikinci dereceden doğrusal olmayan matematiksel model geliştirilecektir. Geliştirilen modelin doğruluğunu belirlemek için R^2 değeri kullanılacaktır.

Regresyon modellerindeki doğrusal denklemler, deneysel değerlere yakın değerler vermezler çünkü neredeyse tüm endüstriyel süreçler doğrusal değildir ve doğası gereği karmaşıktır. İkinci dereceden regresyon denklemleri, işlemlerde doğrusal olmamaları nedeniyle sonuçları daha tatmin edici bir şekilde tahmin edebilmektedir. Bu nedenle, ikinci dereceden regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlıdır ve deneyi fiilen gerçekteştirmeden önce sonuçları tahmin etmek için güvenle kullanılabilir (Kumarve Singh, 2019). Ayrıca genel olarak, ikinci dereceden regresyon modeli, hibrit tipte bir tasarımıdır ve tahmin edicinin değişkenlerinin tüm etkileşim etkilerini içerir (Sivapragash vd., 2016).



Şekil 18. Uygulamanın akış şeması

4.4.1. ROC Metoduna Göre Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında ROC metodu kullanılırken önem sırası yerine önem derecesi kullanılmıştır. Önem derecesinin kullanılmasındaki amaç karar vericinin kriterleri subjektif olarak değerlendirebilmesine imkan sağlamaktır. Kriterlere önemliden önemsizye doğru 1 ile 5 arasında önem derecesi atanması istenmiştir. Alanında uzman olan bir makine mühendisi tarafından pik değeri yanıtına 3, enerji sönümlenme miktarı yanıtına 1 önem derecesi atanmıştır. Bu atamalara göre kriterlere ait ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Pik kuvvet değeri yanıtı için;

$$w_{pik} = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{3} + \frac{1}{1}} = 0,25$$

Enerji Sönümlenme Miktarı için;

$$w_{enerji} = \frac{\frac{1}{1}}{\frac{1}{3} + \frac{1}{1}} = 0,75$$

Pik kuvvet yanıtını için belirlenen ağırlık 0,25 ve enerji sönümlenme miktarı yanıtı için belirlenen ağırlık ise 0,75 olarak hesaplanmıştır. Tüm bu değerler Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12. Yanıtların önem dereceleri ve ağırlıkları

	Pik Kuvvet	Enerji Sön. Miktarı
Önem Derecesi	3	1
W_j	0,25	0,75

4.4.2. CODAS Tabanlı Taguchi Yaklaşımının Uygulanması

CODAS tabanlı Taguchi yönteminin uygulamasına yönelik adımlar aşağıda verilmiştir.

Adım 1. Problemin tanımlanması ve faktör-seviye değerlerinin belirlenmesi

Problem pik kuvvet ve enerji sönümlenme yanıtlarının eş zamanlı en iyilendiği optimum ince cidarlı tüp tasarımı verilerini elde etmektir. Bunun için belirlenen faktör ve

seviyeler Tablo 3'te verilmiştir.

Adım 2. Uygun Taguchi deney tasarımına göre deney sonuçlarının elde edilmesi

Burada L18 ortogonal dizilimine göre deneyler yapılmış olup pik kuvvet ve enerji sönmleme miktarı yanıtlarına ait deneysel veriler Tablo 13'te gösterildiği gibidir.

Adım 3. Yanıtların amaçlarına uygun S/N oranlarının hesaplanması

S/N oranları denklem 2, 3 ve 4'e göre hesaplanır. Pik kuvvet için en küçük en iyi ve enerji sönmleme miktarı için en büyük en iyi denklemleri ile hesaplanan S/N oranları Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Yanıtlar ve karşılık gelen S/N oranları

Deney No	Koşul	Malzeme	Açı	Pik Kuvvet	S/N Oranı	Enerji S.M.	S/N Oranı
1	1	1	1	41,36	-32,3316	1350	62,6067
2	1	1	2	38,7	-31,7542	430	52,6694
3	1	1	3	17,5	-24,8608	230	47,2346
4	1	2	1	69,38	-36,8247	2590	68,266
5	1	2	2	68,37	-36,6973	1690	64,5577
6	1	2	3	33,22	-30,428	600	55,563
7	1	3	1	40,7	-32,0564	1370	62,7344
8	1	3	2	40,48	-32,1448	1250	61,9382
9	1	3	3	28,5	-29,0969	640	56,1236
10	2	1	1	37,83	-31,5567	970	59,7354
11	2	1	2	31,63	-30,0020	510	54,1514
12	2	1	3	12,1	-21,6557	220	46,8485
13	2	2	1	113,57	-41,1053	1060	60,5061
14	2	2	2	114,63	-41,186	830	58,3816
15	2	2	3	37,32	-31,4388	590	55,417
16	2	3	1	38,4	-31,6866	1010	60,0864
17	2	3	2	39,89	-32,0173	1000	60
18	2	3	3	37,39	-31,4551	970	59,7354

Adım 4. CODAS yöntemi için başlangıç karar verme matrisi X_{ij} 'nin oluşturulması

Bu karar matrisi verileri adım 2 de hesaplanan S/N oranlarından oluşur. 18 satırlı 2 sütunlu karar matrisi Tablo 14'te S/N oranı sütununda gösterilmiştir.

Adım 5. Normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesi

X matrisindeki tüm performans değerleri Denklem 10'da gösterilen kriter tipine göre normalize edilir. Hesaplamalara örnek verecek olursak; maliyet kriteri olan pik kuvvet

satırından $n_{10 \times 1}$ yanıtının normalize edilmesi için tüm sütundan min olan değer bulunur. Yanıt değerine bölünür ve normalize edilmiş sonuç elde edilir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta karşımıza çıkmaktadır. Pik kuvvet değerleri negatif değerler aldığı için normalizasyon işleminde en küçük sayı her ne kadar pay kısmında olsa da sayılar bölündüğünde negatifin negatife oranından 1'den büyük değer almaktadır. Bu sebeple burada denklemin tersi yapılarak işlem devam ettirilmiştir.

$$\frac{-31,557}{-41,186} = 0,766$$

Fayda kriteri olan enerji sönümlenme miktarı satırından $n_{10 \times 2}$ yanıtının normalize edilmesi için tüm sütundan max olan değer bulunur. Yanıt değerinin bu değere oranı normalize edilmiş sonucunu verir.

$$\frac{59,735}{68,266} = 0,875$$

Tablo 14. Normalize karar matrisi

Deney No	S/N Oranı		Normalize Matris	
	Pik (Maliyet)	Enerji (fayda)	Pik (Maliyet)	Enerji (fayda)
1	-32,332	62,607	0,785	0,917
2	-31,754	52,669	0,771	0,772
3	-24,861	47,235	0,604	0,692
4	-36,825	68,266	0,894	1
5	-36,697	64,558	0,891	0,946
6	-30,428	55,563	0,739	0,814
7	-32,192	62,734	0,782	0,919
8	-32,145	61,938	0,780	0,907
9	-29,097	56,124	0,706	0,822
10	-31,557	59,735	0,766	0,875
11	-30,002	54,151	0,728	0,793
12	-21,656	46,848	0,526	0,686
13	-41,105	60,506	0,998	0,886
14	-41,186	58,382	1	0,855
15	-31,439	55,417	0,763	0,812
16	-31,687	60,086	0,769	0,880
17	-32,017	60	0,777	0,879
18	-31,455	59,735	0,764	0,875

Adım 6. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin elde edilmesi

ROC metoduyla iki yanıt için hesaplanan ağırlıklar karşılık geldiği her bir sütun değeri ile çarpılır ve ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir. Denklem 11'in kullanılmasıyla hesaplanan matris Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi

Deney No	Pik Kuvvet	Enerji Sön.Mik.
1	0,1963	0,6878
2	0,1927	0,5786
3	0,1509	0,5189
4	0,2235	0,7500
5	0,2228	0,7093
6	0,1847	0,6104
7	0,1954	0,6892
8	0,1951	0,6805
9	0,1766	0,6166
10	0,1916	0,6563
11	0,1821	0,5949
12	0,1315	0,5147
13	0,2495	0,6647
14	0,2500	0,6414
15	0,1908	0,6088
16	0,1923	0,6601
17	0,1943	0,6592
18	0,1909	0,6563

Pik kuvvet sütunundan $n_{10 \times 1}$ satırının ağırlıklandırılmış değeri Denklem 11'den $r_{10 \times 1} = 0,25 \times 0,766 = 0,1916$ olarak hesaplanır. Aynı şekilde enerji sönümlene miktarı sütunundan $n_{10 \times 2}$ satırının ağırlıklandırılmış değeri Denklem 11'den $r_{10 \times 2} = 0,75 \times 0,875 = 0,6563$ olarak hesaplanır.

Adım 7. Negatif ideal çözümün belirlenmesi

Negatif ideal çözümün belirlenebilmesi için ağırlıklandırılmış karar matrisinin her bir sütunundaki performans değerlerinin en küçüğü seçilir. Buna göre pik kuvvete ait en küçük değer 0,1315 ve enerji sönümlene miktarına ait en küçük değer 0,5147'dir.

Adım 8. Öklid ve Taxicab uzaklıklarının hesaplanması

Her bir alternatifin negatif ideal çözüme olan Öklid ve Taxicab uzaklıkları sırasıyla Denklem 14 ve Denklem 15 kullanılarak hesaplanır. Tüm sonuçlar Tablo 16'da verilmiştir.

Örnek bir hesaplama verecek olursak 1. Deneye ait öklid ve taxicab uzaklıkları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E_1 = \sqrt{(0,1963 - 0,1315)^2 + (0,6878 - 0,5147)^2} = 0,1849$$

$$T_i = |0,1963 - 0,1315| + |0,6878 - 0,5147| = 0,2379$$

Tablo 16. Öklid ve taxicab uzaklıkları

Deney No	Öklid Uzaklık	Taxicab Uzaklık
1	0,1849	0,2379
2	0,0886	0,1252
3	0,0199	0,0237
4	0,2527	0,3274
5	0,2149	0,2859
6	0,1096	0,1490
7	0,1859	0,2385
8	0,1776	0,2295
9	0,1115	0,1471
10	0,1538	0,2017
11	0,0949	0,1309
12	0,0000	0,0000
13	0,1909	0,2681
14	0,1735	0,2453
15	0,1113	0,1535
16	0,1577	0,2063
17	0,1576	0,2074
18	0,1536	0,2011

Adım 9. Göreceli değerlendirme matrisinin (Ra) oluşturulması

Alternatiflerin Öklid ve taxicab uzaklıkları baz alınarak Denklem 16 ve Denklem 17 ile göreceli değerlendirme matrisi elde edilir. Denklem 18’de yer alan τ karar verici tarafından belirlenebilen eşik parametresi olarak tanımlanır. Bu çalışmada τ eşik parametre değeri 0,02 olarak alınmıştır. Eğer karşılaştırılan iki alternatifin Öklid uzaklıkları arasındaki fark τ ’den küçükse, bu iki alternatif Taxicab uzaklıklarına göre karşılaştırılır. Bu karşılaştırmalardan elde edilen matris Tablo 17’deki gibidir.

Tablo 17. Göreceli değerlendirme matrisi

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,000	0,209	0,379	-0,157	-0,078	0,164	-0,001	0,007	0,164	0,067	0,197	0,423	-0,006	0,011	0,158	0,059	0,058	0,068
2	-0,209	0,000	0,170	-0,366	-0,287	-0,045	-0,211	-0,193	-0,045	-0,142	-0,006	0,214	-0,245	-0,205	-0,051	-0,150	-0,151	-0,141
3	0,379	0,170	0,000	-0,536	-0,457	-0,215	-0,381	-0,363	-0,215	-0,312	-0,182	0,020	-0,415	-0,375	-0,221	-0,320	-0,321	-0,311
4	0,157	0,366	0,536	0,000	0,079	0,322	0,156	0,173	0,322	0,225	0,354	0,580	0,121	0,161	0,315	0,216	0,215	0,225
5	0,078	0,287	0,457	-0,079	0,000	0,242	0,076	0,094	0,242	0,145	0,275	0,501	0,042	0,082	0,236	0,137	0,136	0,146
6	-0,164	0,045	0,215	-0,322	-0,242	0,000	-0,166	-0,148	-0,002	-0,097	0,015	0,259	-0,200	-0,160	-0,002	-0,105	-0,106	-0,096
7	0,001	0,211	0,381	-0,156	-0,076	0,166	0,000	0,008	0,166	0,069	0,199	0,424	-0,005	0,012	0,160	0,060	0,059	0,070
8	-0,007	0,193	0,363	-0,173	-0,094	0,148	-0,008	0,000	0,149	0,052	0,181	0,407	-0,013	0,004	0,142	0,020	0,042	0,052
9	-0,164	0,045	0,215	-0,322	-0,242	0,002	-0,166	-0,149	0,000	-0,097	0,017	0,259	-0,201	-0,160	0,000	-0,105	-0,106	-0,096
10	-0,067	0,142	0,312	-0,225	-0,145	0,097	-0,069	-0,052	0,097	0,000	0,130	0,355	-0,104	-0,020	0,091	-0,004	-0,004	0,000
11	-0,197	0,006	0,182	-0,354	-0,275	-0,015	-0,199	-0,181	-0,017	-0,130	0,000	0,226	-0,233	-0,193	-0,016	-0,138	-0,139	-0,129
12	-0,423	-0,214	-0,020	-0,580	-0,501	-0,259	-0,424	-0,407	-0,259	-0,355	-0,226	0,000	-0,459	-0,419	-0,265	-0,364	-0,365	-0,355
13	0,006	0,245	0,415	-0,121	-0,042	0,200	0,005	0,013	0,201	0,104	0,233	0,459	0,000	0,017	0,194	0,095	0,094	0,104
14	-0,011	0,205	0,375	-0,161	-0,082	0,160	-0,012	-0,004	0,160	0,020	0,193	0,419	-0,017	0,000	0,154	0,016	0,016	0,020
15	-0,158	0,051	0,221	-0,315	-0,236	0,002	-0,160	-0,142	0,000	-0,091	0,016	0,265	-0,194	-0,154	0,000	-0,099	-0,100	-0,090
16	-0,059	0,150	0,320	-0,216	-0,137	0,105	-0,060	-0,020	0,105	0,004	0,138	0,364	-0,095	-0,016	0,099	0,000	0,000	0,004
17	-0,058	0,151	0,321	-0,215	-0,136	0,106	-0,059	-0,042	0,106	0,004	0,139	0,365	-0,094	-0,016	0,100	0,000	0,000	0,004
18	-0,068	0,141	0,311	-0,225	-0,146	0,096	-0,070	-0,052	0,096	0,000	0,129	0,355	-0,104	-0,020	0,090	-0,004	-0,004	0,000

Adım 10. Değerlendirme puanlarının hesaplanması

Her bir alternatifin değerlendirme puanı denklem 19 ile hesaplanır. Örnek bir hesaplama ile 1 numaralı alternatifin değerlendirme puanı; $H_1 = 0 + 0,209 + 0,379 - 0,157 - 0,078 + 0,164 - 0,001 + 0,007 + 0,164 + 0,067 + 0,197 + 0,423 - 0,006 + 0,011 + 0,158 + 0,059 + 0,058 + 0,068 = 1,723$ olarak bulunur. Buna göre yapılan tüm hesaplamalarla Tablo 18'deki H_i sütunu elde edilir.

Adım 11. Her bir değerlendirme puanının normalize edilmesi

Değerlendirme puanları hem negatif hem pozitif sayılar içerdiğinden “en büyük en iyi” denklemine göre S/N oranının hesaplanması için satırların normalize edilmesi gerekir. Sayılar 11 ile 20 arasında olacak şekilde normalize edilmişlerdir. Normalize işlemine göre elde edilen sonuçlar Tablo 18'de Normalize H_i sütununda verilmiştir.

Adım 12. Normalize edilmiş H_i değerlerinin “en büyük en iyi” denklemine göre S/N oranının hesaplanması

Çok yanıtli problemde normalize edilmiş H_i 'ler tek yanıtli indirgenmiş yanıt değişkenini simgelemektedir. Buna göre Taguchi uygulaması için tek yanıtli dönüştürülerek elde edilen değerlendirme puanlarının S/N oranları ve alternatiflerin sıralaması Tablo 18'de verilmiştir. Problem Taguchi uygulanması için tek yanıtli hale gelmiştir. Buradan sonra tekrar faktör ve seviye değerlerinin belirlenmesi gerekmez. Çünkü hesaplanan değerlendirilme puanları önceden belirlenen faktör ve seviyelere göre elde edilen tek yanıtli değişkene karşılık gelen değerleri olmuştur.

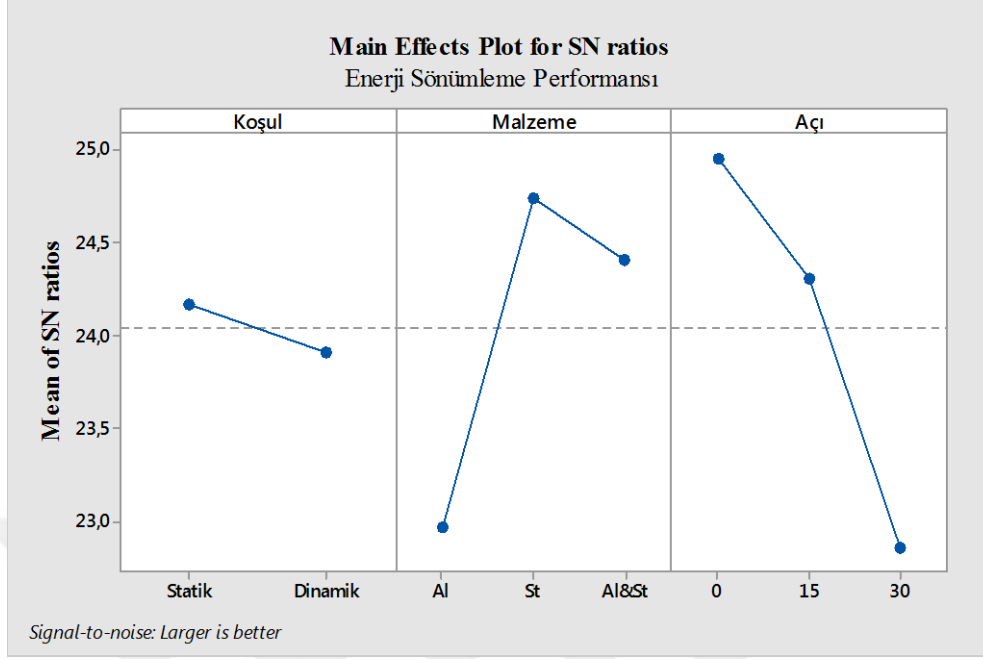
Benzer şekilde, ROC-CODAS yaklaşımı tüm deney setlerinin değerlendirme puanlarına göre sıralanmasını sağlamıştır. Bu nedenle, en yüksek değerlendirme puanına sahip deneysel tasarım, yapılan tüm deneyler arasında optimum koşul olarak kabul edilir. Tablo 18, “en büyük en iyi” denklem ile hesaplanan değerlendirme puanı değerlerini göstermektedir. Alternatiflerin sıralaması ve değerlendirme puanları değerlerine göre, 4 numaralı deney en iyi alternatif olarak belirlenmiş ve bunu 5 numaralı deneysel tasarımı takip etmiştir. Genel olarak, alternatiflerin sıralaması (en çok tercih edilene doğru) 4-5-13-7-1-8-14-16-17-10-18-15-9-6-11-2-3-12 şeklinde bulunmuştur.

Tablo 18. Değerlendirme puanları

Deney No	H_i	Normalize H_i	S/N	Sıralama
1	1,723	17,580	24,9003	5
2	-2,062	14,310	23,1126	16
3	-5,156	11,637	21,317	17
4	4,524	20	26,0206	1
5	3,097	18,767	25,468	2
6	-1,279	14,987	23,5142	14
7	1,748	17,602	24,9112	4
8	1,459	17,352	24,7868	6
9	-1,271	14,993	23,5179	13
10	0,535	16,554	24,378	10
11	-1,802	14,535	23,2483	15
12	-5,893	11	20,8279	18
13	2,224	18,013	25,1118	3
14	1,449	17,344	24,7828	7
15	-1,184	15,069	23,5616	12
16	0,688	16,686	24,4471	8
17	0,677	16,677	24,4421	9
18	0,523	16,543	24,3724	11

Adım 13. Sonuçların analiz edilmesi

Çoklu yanıtlar hesaplanan değerlendirme puanları kullanılarak kolayca analiz edilebilir. Sonuçların analiz edilmesiyle optimum faktör seviye kombinasyonları elde edilir. Buradaki analiz minimum hedefli pik kuvvet ve maksimum hedefli enerji sönümlene miktarının eş zamanlı değerlendirilmesi anlamına gelmektedir. Şekil 19'da enerji sönümlene performansını 2 farklı yanıt ile optimize edebileceğimiz faktör ve seviyeleri görülmektedir. Buna göre optimum parametreler statik koşul, St52 malzemesi ve 0 derece alt kalıp açısı olarak bulunmuştur.



Şekil 19. Enerji sönümlenme performansı S/N oranları için ana etkiler

Şekil 20’de her bir faktörün kaç seviyesi varsa bu seviyelere göre enerji sönümlenme performansları ortalama değerleri verilmiştir. Bu grafikte açı faktörüne ait seviye ortalamalarının birbirinden uzaklık farkının en fazla olduğu görülebilmektedir. Şekil 20’den enerji sönümlenme performansı üzerinde en çok katkısı olan faktörün açı faktörü olduğu faktörlerin seviyeleri arasındaki değişime bakılarak gözlemlenebilmektedir. Örnek olarak açı faktörü 0, 15 ve 30 seviyelerine ait ortalama değerleri sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Bu değerler Tablo 19’da da gösterilmiştir.

$$\frac{17,580 + 20 + 17,602 + 16,554 + 18,013 + 16,686}{6} = 17,7392$$

$$\frac{14,31 + 18,767 + 17,352 + 14,535 + 17,344 + 16,677}{6} = 16,4973$$

$$\frac{11,637 + 14,987 + 14,993 + 11 + 15,069 + 16,543}{6} = 14,0382$$



Şekil 20. Enerji sönümlenme performansı ortalamaları için ana etkiler

Ayrıca Tablo 19’da seviyeler arasındaki farklar ve etki sıralaması verilmiştir. Yanıt tablosuna göre en etkili faktörün açı olduğu, açığı da sırasıyla malzeme ve koşul faktörlerinin takip ettiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre 0° alt kalıp açısı ile tasarlanan düz tüplerin optimum enerji sönümlenme performansını sağlayacağı ve böylece araç içindekilerin çarpma hissinin en aza indirilebileceği söylenir.

Tablo 19. Ortalamalar için yanıt tablosu

Seviye	Koşul	Malzeme	Açı
1	16,36	16,64	17,74
2	15,82	17,36	16,5
3	-	14,27	14,04
Fark	0,53	3,09	3,70
Sıralama	3	2	1

CODAS ile tek yanıtlı hale gelen problemin değerlendirme puanları sonuçlarına göre faktörlerin enerji sönümlenme performansı üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 20’de verilmiştir. Tablo 20 incelendiğinde enerji sönümlenme performansının maksimizasyonuna %46,23 katkı ile açı faktörü olduğu görülmektedir. Sırasıyla diğer faktörlerin yüzde katkısı malzeme %35,51 ve

koşul %01,04'dir. Aynı tabloda P değerleri incelendiğinde malzeme ve açılı faktörlerinin p değerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Bu değerlere göre malzeme ve açılı faktörünün enerji sönümlenme performansı üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu demek oluyor ki açılı ve malzeme üzerinde yapılan bir değişiklik optimum tasarımın elde edilmesinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Diğer yandan koşullu faktörü p değeri 0,05'ten büyük olduğu için sonuç üzerinde anlamlı bir ilişkisinin olduğundan bahsedilemez. Yani koşullu ister statik olsun ister dinamik olsun deney sonuçları için kuvvetli bir farklılığa sebep olmamaktadır.

Tablo 20. Çok yanıtli sonuçların ANOVA tablosu

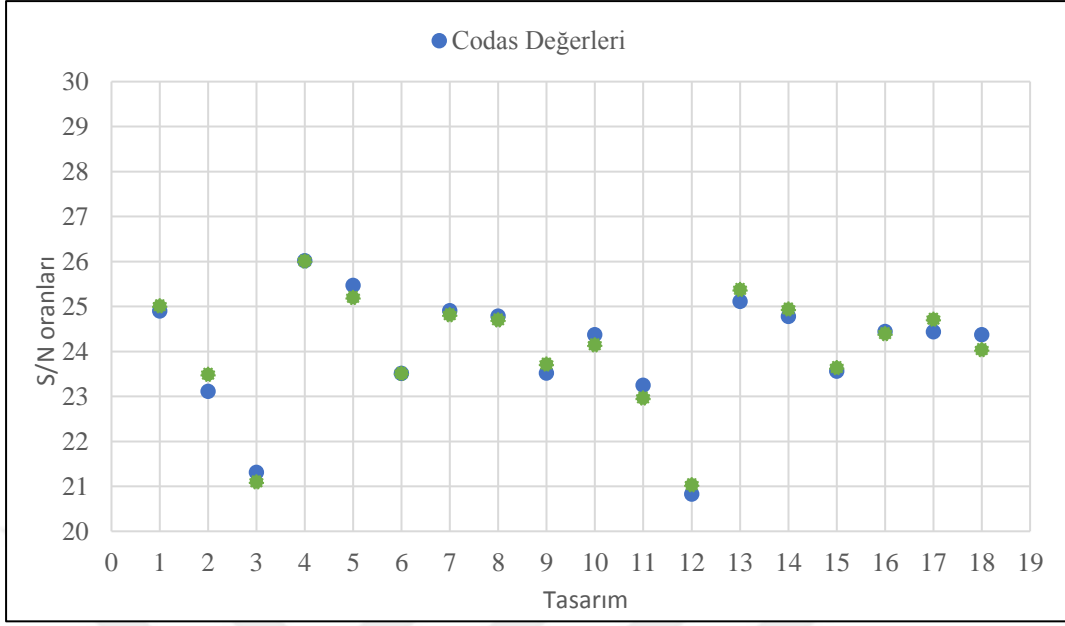
Kaynak	DoF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri	Katkı(%)
Koşul	1	0,3138	0,3138	0,72	0,412	1,04
Malzeme	2	10,7476	5,3738	12,37	0,001	35,51
Açılı	2	13,9928	6,9964	16,1	0,000	46,23
Hata	12	5,2149	0,4346			17,23
Toplam	17					100%

Yanıtların eş zamanlı değerlendirildiği enerji sönümlenme performansına göre geliştirilen regresyon modeli aşağıdaki gibidir. Bu model ve R^2 değeri Minitab 17 programı ile bulunmuştur.

$$\begin{aligned} \text{Enerji Sönümlenme Performansı} = & 26,0155 + (9,38133e + 014) * \text{Koşul} + \\ & 0,0997519 * \text{Malzeme} + 0,0256218 * \text{Açılı} - 0,197954 * \text{Koşul} * \text{Malzeme} + 0,0231722 * \\ & \text{Koşul} * \text{Açılı} - 0,0469325 * \text{Malzeme} * \text{Açılı} - (9,38133e + 014) * \text{Koşul} * \text{Koşul} - \\ & 1,10258 * \text{Malzeme} * \text{Malzeme} - 0,0019265 * \text{Açılı} * \text{Açılı} \end{aligned}$$

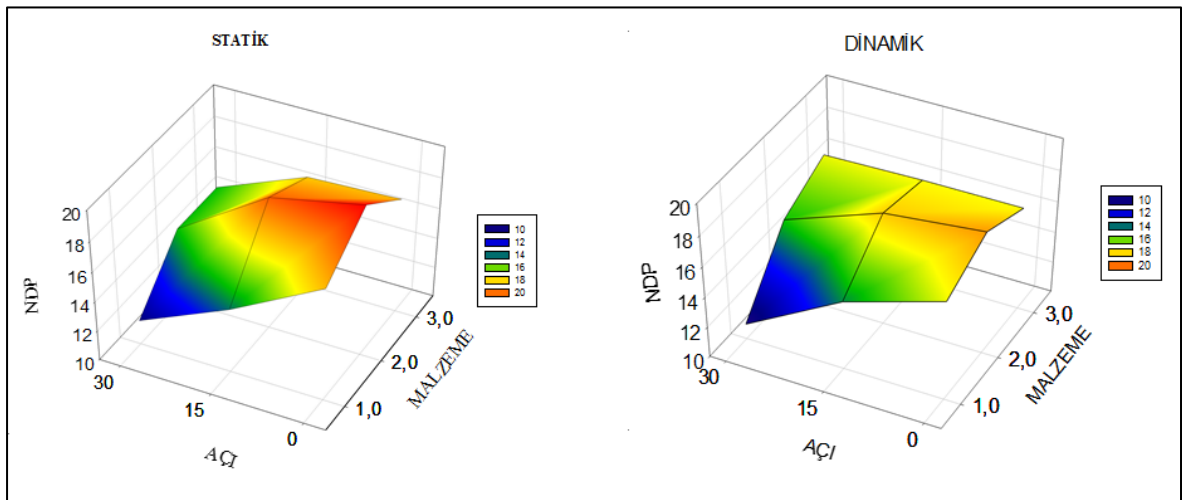
Enerji sönümlenme performansı modelinin doğruluğunu belirlemek için kullanılan R^2 değeri 0,993'tür. Bu değer girdi olarak kullanılan faktörlerin enerji sönümlenme performansı üzerindeki etkisinin %99,3'ünün geliştirilen modelle ifade edilebildiğini gösterir.

Şekil 21, Taguchi metodolojisine dayalı ROC-CODAS uygulandıktan sonra deneysel sonuçlardan elde edilen S/N değerlerinin ve geliştirilen regresyon modeli tarafından tahmin edilenlerin karşılaştırmasını göstermektedir. Deney sonuçlarından ve tahmin edilen değerlerden elde edilen ortalama hata yaklaşık % 0,76'dır. Sonuçlar ayrıca, test edilen ve tahmin edilen sonuçlar arasındaki statik koşullu sapmanın dinamik koşula göre daha düşük olduğunu göstermektedir.



Şekil 21. S/N oranı sonuçları ile regresyon modelinin karşılaştırılması

Ayrıca normalize edilmiş değerlendirme puanları statik ve dinamik koşullarda malzeme ve açı faktörleri açısından 3 boyutlu olarak aşağıdaki gibi çizilmiştir. Bunun için Sigma Plot 14 programından yararlanılmıştır. Bu grafikler üzerinden de 2 numaralı St malzemesi ve 0 derece açı değerlerinin maksimum enerji sönmleme performansını ifade ettiği söylenebilmektedir.



Şekil 22. Statik ve dinamik koşulda açı ve malzeme faktörlerinin pik kuvvet değerleri üzerinde etkileşimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, araç gövdesinde kullanılan ince cidarlı silindirik tüplerin optimum tasarım parametreleri, çarpma esnasında enerjiyi kontrollü olarak maksimum miktarda sönümleyecek ve pik kuvvet değerini minimize edecek şekilde belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Bu parametrelerin belirlenmesinde Taguchi deney tasarım yönteminden faydalanılmıştır. Taguchi'nin kalitesizliği toplumsal kayıp olarak görme anlayışına karşılık bu çalışmada çarpma sonucu oluşan hasarların minimize edilmesi, toplumda maddi ve manevi kaybın en az olması anlamına gelmektedir. Bu da kaliteyi getirmektedir.

Çalışmada enerji sönümleme performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Enerji sönümleme performansı da pik kuvvet ve enerji sönümleme miktarı sonuçlarına göre değerlendirilmektedir. Pik kuvvetle çarpma esnasında deformasyonlar oluşur ve bu durum istenmemektedir. Bu sebeple minimize sonuçları aranır. Ayrıca enerji sönümleme miktarı da çarpma esnasındaki sönümlenen enerjiyi ifade etmektedir ki bu özelliğin maksimum olması istenmektedir. İlk olarak enerji sönümleme performansını etkileyen faktörler ve düzeyler karar vericiler tarafından oluşturulmuştur. Bunlar statik ve dinamik olmak üzere 2 düzeyli koşul faktörü; Al6063, St52 ve Al6063&St52 olmak üzere 3 düzeyli malzeme faktörü ve 0^0 , 15^0 ve 30^0 olmak üzere 3 düzeyli açı faktörüdür. Bu faktör ve seviye değerlerine göre uygun L18 (2^1 , 3^2) ortogonal dizisi seçilmiştir. Belirlenen L18 ortogonal dizisine göre deney düzeneği oluşturulmuştur. Tüm bu işlemler için Minitab 17 programından yararlanılmıştır.

Uygulamada ilk olarak pik kuvvet ve enerji sönümleme miktarı Taguchi yöntemine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Deney sonucu elde edilen pik kuvvet değerleri Taguchi'nin en küçük en iyi denklem yapısına göre S/N oranına dönüştürülmüş, bu sonuçlara göre 3. deney dizilimi statik koşul, Al6063 malzemeli ve 30^0 alt kalıp açısı optimum parametreleri elde edilmiştir. Bu faktör ve seviyelere göre tasarım yapmanın pik kuvvet değerini düşürdüğünü söyleyebiliriz. Böylelikle çarpma esnasında araç içindekilerin hissedeceği kuvvet en aza indirilerek hasar oluşumu engellenir diyebiliriz. Ayrıca pik kuvvet için elde edilen ANOVA tablosundan malzeme ve açı faktörlerinin sonuç üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu, koşul faktörünün ise anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yine

bu tablodan hareketle %45,9 katkı ile malzeme faktörünün ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Diğer faktörlerin yüzde katkısı; açığı %36,82, koşul %0,50'dir. Geliştirilen regresyon modeline göre R^2 değeri 0,821'dir.

Deney sonucu elde edilen enerji sönümlenme miktarı Taguchi'nin en büyük en iyi denklem yapısına göre S/N oranına dönüştürülmüş, bu sonuçlara göre 4. deney dizilimi statik koşul, St52 malzemeli ve 0° alt kalıp açısı optimum parametreleri elde edilmiştir. Bu faktör ve seviyelere göre tasarım yapmanın enerji sönümlenme miktarını maksimum yaptığını söyleyebiliriz. Böylelikle çarpma esnasında oluşan enerji maksimum sönümlenerek enerjinin başka enerjilere dönüşmesi minimize edilir ve hasar oluşumu engellenir diyebiliriz. Ayrıca enerji sönümlenme miktarı için elde edilen ANOVA tablosundan malzeme ve açığı faktörlerinin sonuç üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu, koşul faktörünün ise anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yine bu tablodan sonuçla %44,77 katkı ile açığı faktörünün ilk sırada etkisinin olduğu görülür. Diğer faktörlerin yüzde katkısı malzeme %31,14 ve koşul %2,98'dir. Enerji sönümlenme miktarı için regresyon modeline göre R^2 değeri 0,952 olarak bulunmuştur.

Daha sonra çok yanıtli optimizasyon problemini tek yanıtli optimizasyon problemine dönüştürmek için ROC-CODAS çok kriterli karar verme analizi yapılmıştır. Problemden yer alan 2 yanıt kriter şeklinde düşünülendiğinden kriterlerin ağırlıklandırılması gerekir. Bunun için de ROC metodu kullanılmıştır. Karar vericiler pik kuvvet yanıtına 3 önem değerini ve enerji sönümlenme miktarı yanıtına 1 önem değerini vermişlerdir. Buna göre pik kuvvet yanıtının ağırlığı 0,25 ve enerji sönümlenme miktarı yanıtının ağırlığı 0,75 olarak hesaplanmıştır. Kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra CODAS metoduna göre değerlendirme puanları bulunmuş, en büyük en iyi denklemine göre S/N oranları hesaplanmış ve alternatiflerin sıralaması elde edilmiştir. Bu sıralama 4-5-13-7-1-8-14-16-17-10-18-15-9-6-11-2-3-12 şeklinde bulunmuştur. Bu sonuçlara göre statik koşul, St52 malzemesi ve 0 derece dizilimli 4 numaralı tasarım optimum alternatif olduğu görülmüştür. Enerji sönümlenme performansı için elde edilen ANOVA tablosundan P değeri kontrol edilerek malzeme ve açığı faktörlerinin sonuç üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu, koşul faktörünün ise anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yine bu tablodan sonuçla %40,23 katkı ile açığı faktörünün ilk sırada etkisinin olduğu görülür. Diğer faktörlerin yüzde katkısı malzeme %34,27 ve koşul %0,82'dir. Yine ANOVA tablosundaki P değerlerine göre malzeme ve açığı faktörünün enerji sönümlenme performansı üzerinde anlamlı bir etkisinin

olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çok yanıtlı problem için geliştirilen nonlinear regresyon modeline göre R^2 , 0,993 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu regresyon modeli, deneysel çalışma yapmadan yaklaşık %1 hata ile enerji sönümlenme performansına ait verileri doğru olarak tahmin edebilmektedir. Son olarak Taguchi metodolojisine dayalı ROC-CODAS deneysel sonuçlarına göre elde edilen S/N değerleri ile geliştirilen regresyon modeli tarafından tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. Statik koşulda elde edilen verilere ait sapmanın dinamik koşuldaki sapmadan daha küçük olduğu görülmüştür. Buradan hareketle Taguchi sonucu bulunan optimum parametrelerden biri olan statik koşulunun doğruluğu tekrar görülmektedir. Optimum parametrelere göre tasarlanan tüplerin çarpma boyunca kalıcı plastik deformasyona uğramaları çarpışma enerjisinin sönümlenmesine dolayısıyla iletilen çarpışma kuvvetinin araca ve araç içindeki yolculara en az derecede ulaşmasına sebep olacağı söylenebilir.

Optimum parametrelerin değerlendirilmesi için faktörlere sırasıyla A, B ve C olarak isimlendirilirse tek yanıtlı uygulama pik kuvvet değerinin minimizasyonu probleminde optimum parametreler A1B1C3 ve enerji sönümlenme miktarının maksimizasyonu probleminde optimum parametreler A1B2C1 olarak bulunmuştur. Çok yanıtlı uygulama enerji sönümlenme performansının maksimizasyonu için bulunan parametreler ise A1B2C1'dir. Çok yanıtlı uygulama sonuçlarının enerji sönümlenme miktarının maksimizasyonuna ait sonuçlarla aynı olmasının sebebi karar vericilerin bu kriterlere daha büyük önem derecesini atamalarından kaynaklı olduğu söylenebilir. Buna göre sonuçlar benzer çıkmıştır.

Çalışmadaki her Taguchi uygulamasının sonuçlarında koşul faktörünün deney sonuçları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı ve her birinde katkı oranlarının çok düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda koşul faktörünün çalışmaya dahil edilmemesi gerektiği söylenebilir. Açık ve malzeme faktörleri değerlendirildiğinde ise deney düzeneğine anlamlı etkilerinin olduğu ve katkı oranlarının yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre açık ve malzeme faktörlerinin seviye değerlerinin yeterli olduğu söylenebilir.

Taguchi metodolojisine dayalı ROC-CODAS yaklaşımı, çoklu deneysel çalışmaların optimizasyonunda kullanılmak üzere faydalı yeni bir araç olarak düşünülebilir. Bu çalışma kapsamında belirlenen faktör ve seviye değerleri çeşitlendirilip farklı tüp yapıları kullanılarak yeni çalışmalar gerçekleştirilebilir. Çalışma kapsamında deneylerde kullanılan malzemelerin temininde yaşanan problemler ve maliyet durumları nedeniyle deneylerin tek deneme ile elde edilmesi durumuyla karşı karşıya kalınmıştır. Bu durum çalışmanın kısıtı

olarak ifade edilebilir. Deneyler tekrarlı halde yapıp ortalama değerlerin kullanılmasıyla daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca çok yanıtlı Taguchi uygulaması için çalışmaya farklı ÇKKV yöntemleri ve kriter ağırlıklandırma yöntemleri dahil edilip karşılaştırılabilir, benzer Şekilde yeni problemlerde uygulanabilir.

Bu tez çalışmasına özgün gerçekleştirilen işlemler zet halinde aşağıda ifade edilmiştir.

- İnce cidarlı düz tüplerin tasarımı için uygun parametre ve seviye değerleri minimum pik ve maksimum enerji snleme miktarı için optimize edilmiştir.
- Yanıtların, karar vericiler açısından önemini yalın bir Şekilde belirlemek amacıyla ROC yöntemi sürece dahil edilmiştir.
- Deney tasarımlarının sıralanması ve optimum deney diziliminin elde edilmesinde son dönemlerde geliştirilmiş olan CODAS metodolojisi kullanılmıştır. Böylece çok yanıtlı optimizasyon probleminin tek yanıtlı optimizasyon problemine dönüştürülmesi sağlanmıştır.
- Gerçek hayat problemlerini daha iyi açıkladığı için ikinci dereceden doğrusal olmayan regresyon model kurulumları gerçekleştirilmiştir.
- ROC-CODAS destekli Taguchi uygulaması yeni bir yaklaşım olarak sunulmuştur.

6. KAYNAKLAR

- Ahn, B. S., 2011. Compatible Weighting Method With Rank Order Centroid: Maximum Entropy Ordered Weighted Averaging Approach. European Journal of Operational Research, 212, 3, 552–559.
- Akgül, E., Aydoğan, E. K., Akay, D. ve Türksoy, H. G., 2016. MOORA Based Taguchi Optimization For Selection of Murata Vortex Spinner Machine Parameters, Textile and Apparel, 26, 3, 249-255.
- Ali Raza, Z., Ahmad, N. ve Kamal, S., 2014. Multi-Response Optimization of Rhamnolipid Production Using Grey Rational Analysis in Taguchi Method, Biotechnology Reports, 3, 86-94.
- Alioğulları, E. ve Tüysüz, F., 2020. Edas ve Codas Yöntemiyle İstanbul İlinin Dış Ticaret Kapasitesinin İncelenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı), 240-248.
- Alizadeh, A. ve Omrani, H., 2019. An Integrated Multi Response Taguchi- Neural Network- Robust Data Envelopment Analysis Model for CO2 Laser Cutting, Measurement, 131, 69-78, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.08.054>.
- Arıcı, E. ve Keleştimur, O., 2018. Tufal Katkılı Harçların Basınç Dayanımının Taguchi Metodu ile Analizi, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 30, 3, 145-151.
- Arıcı, E. ve Keleştimur, O., 2019. Analysis Of Some Engineering Properties Of Mortars Containing Steel Scale Using Taguchi Based Grey Method, Journal of Building Engineering, doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.101015>.
- Avikal, S., Kumar, K. C. N., Singh, A. R. ve Jain, R., 2020. Grey Based Taguchi Optimization For Multi-Lobe Bearing, Materials Today: Proceeding.
- Ayçin, E. ve Arsu, T., 2019. CODAS ve ENTROPI Yöntemleri İle Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Düzey 1 Bölgelerine Göre İncelenmesi, Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi, 7, 18, 425-447.
- Ayyıldız, E. ve Yalçın, S., 2018. Türkiye’de Yer Alan Lojistik Dostu Şehirlerin Bütünleşik Entropi-Codas Kullanılarak Belirlenmesi, Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 23, 4,127-140.
- Azadeh, A., Elahi, S., Farahani, H. ve Nasirian, B., 2017. A Genetic Algorithm-Taguchi Based Approach to Inventory Routing Problem of a Single Perishable Product with Transshipment, Computers & Industrial Engineering, 104, 124-133, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.12.019>.

- Badi, I.A., Abdulshahed, A.M., ve Shetwan, A.G., 2018. A Case Study of Supplier Selection For A Steelmaking Company In Libya By Using The Combinative Distance-based Assessment (CODAS) Model, Decision Making: Applications in Management and Engineering, 1, 1, 01-12.
- Badi, İ. ve Kridish, M., 2020. Landfill Site Selection Using A Novel FUCOM-CODAS Model: A Case Study In Libya, Scientific African 9, e00537.
- Bakır, M. ve Alptekin, N., 2018. Hizmet Kalitesi Ölçümüne Yeni Bir Yaklaşım: CODAS Yöntemi ile Havayolu İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama, Business & Management Studies An International Journal, 6, 4, 1336-1353. <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v6i4.409>
- Baynal, K., 2003. Çok Yanıtlı Kalite Karakteristiklerinin Eş Zamanlı Eniyilenmesinde Taguchi Yöntemi ve Otomatik Endüstrisinde Bir Uygulama, Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi, 16, 2.
- Baynal, K. ve Gencel, İ., 2015. Taguchi Yönteminin Gıda Sektöründe Çok Yanıtlı Problemin Eniyilenmesinde Uygulanması, Sakarya University Journal of Science, 19, 1, 107-121.
- Besterfield, D.H., Besterfield, C., Besterfield, G.H. ve Besterfield, M., 1995. Total Quality Management, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Biswas, S.A., Datta, S., Bhaumik, S. ve Majumdar, G., 2009. Application of VIKOR Based Taguchi Method For Multi-Response Optimization: A Case Study in Submerged Arc Welding (SAW), Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering 2009 (ICME2009), 26- 28 December 2009, Dhaka, Bangladesh.
- Canpolat, A.S., Bademlioğlu, A.H., Arslanoğlu, N. ve Kaynaklı, O., 2019. Performance Optimization of Absorption Refrigeration Systems Using Taguchi, ANOVA and Grey Relational Analysis Methods, Journal of Cleaner Production, doi:10.1016/j.jclepro.2019.05.020.
- Carlos, J.S., Ingrid M.S., Pedro L., Pablo, P. ve Daniel C., 2020. Multiple Response Optimization of Open Graded Friction Course Reinforced with Fibers Through CRITIC-WASPAS Based On Taguchi Methodology, Construction and Building Materials, 233, 117274.
- Cengiz M., 2021. Ahşap Levha Yüzeylerine Uygulanan Melamin Kağıtlarda Taguchi Deney Tasarımı ile Ürün Geliştirme, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Cömert, H. G., 2018. Akdeniz Ülkelerinin Turizm Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

- Das, D.K., Sahoo, A.K., Das, R. ve Routara B.C., 2014. Investigations On Hard Turning Using Coated Carbide Insert: Grey Based Taguchi and Regression Methodology, Procedia Materials Science, 6, 1351-1358.
- Datta, S., Nandi, G. ve Bandyopadhyay, A., 2009. Application of Entropy Measurement Technique In Grey Based Taguchi Method For Solution of Correlated Multiple Response Optimization Problems: A Case Study In Welding, Journal of Manufacturing Systems, 28, 55-63.
- Deveci, K., Cin, R.ve Kağızman, A., 2020. A Modified Interval Valued Intuitionistic Fuzzy CODAS Method and Its Application To Multi-criteria Selection Among Renewable Energy Alternatives In Turkey, Applied Soft Computing Journal 96, 106660.
- Dodo, R.M., Ause, T., Dauda, E.T., Shehu, U. ve Popoola, A.P.I., 2019. Multi-Response Optimization Of Transesterification Parameters of Mahogany Seed Oil Using Grey Relational Analysis in Taguchi Method For Quenching Application, Heliyon, 5, e02167.
- Ekincioglu C., 2016. Ergonomik Risk Değerlendirme ve Gri Esaslı Taguchi Yöntemleri ile Bir SMED Yaklaşım Önerisi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Erdem, V., Belevi, M. ve Koçhan, C., 2010. Taguchi Metodu ile Plastik Enjeksiyon Parçalarda Çarpılmanın En Aza İndirilmesi, DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 12, 2, 17-29.
- Erkan, Ö. ve Yücel, E., AA7075 Malzeme Üzerine Delinen Delik Yüzeylerinin Pürüzlülük Optimizasyonu ve İstatistiki Analizi, International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, November 22-23, 2018, Ankara, Turkey.
- Es, H.A., 2020. CODAS Yöntemi ile Eğitim Hizmetlerine Göre İç Anadolu Bölgesindeki İllerin Değerlendirilmesi, Çok Kriterli Karar Verme: MS Excel Çözümlü Uygulamalar, Kabak Mehmet, Çınar Yetkin, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, ss.319-332.
- Haq, A.N., Marimuthu P. ve Jeyapaul,R., 2007. Multi Response Optimization of machining Parameters of Drilling Al/SiC Metal Matrix Composite Using Grey Relational Analysis In The Taguchi Method, Int J Adv Manuf Technol, 37, 250-255.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F., 2003. Taguchi Metodu: Bir Uygulama, Gazi Üniversitesi Teknoloji Dergisi, Sayı 3-4, 7-17.
- Hamzaçebi, C., 2020. Taguchi Method as a Robust Design Tool, Quality Control - Intelligent Manufacturing, Robust Design and Charts, Pengzhong Li, Paulo António Rodrigues Pereira and Helena Navas, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.94908.

- Himmetoğlu S., 2016. Yüksek Dayanımlı Betonun Optimum Karışım Oranlarını Belirlemek İçin ROUGH-AHP ve MOORA Tabanlı Taguchi Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Hsiao, Y.F., Kuo, W.M., Chang Y.T. ve Tarng Y.S., 2010. An Optimization Study of The Motion Table Performance, ISA Transactions, 49, 138-144.
- İç, Y. T. ve Yıldırım, S., 2012. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Birlikte Taguchi Yöntemini Kullanarak Bir Ürünün Tasarımının Geliştirilmesi. Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, 27, 2.
- İç, Y. T., Duran, H., Keçeci, B., İlik, E. ve Bilgiç, B., 2016. Çok Yanıtlı Taguchi Eniyilemesine Yönelik Bir Bilgisayar Uygulamasının Geliştirilmesi, Politeknik Dergisi, 19, 3, 311-323.
- Jena, S.P., Mahapatra S. ve Acharya S.K., 2021. Optimization of Performance and Emission Characteristics of A Diesel Engine Fueled with Karanja Biodiesel Using Grey-Taguchi method, Materials Today: Proceedings, 41, 2, 180-185.
- Kamble, P.D., Waghmare, A.C., Askledkar, R.D. ve Sahare, S.B., 2017. Multi Objective Optimization of Turning Parameters Considering Spindle Vibration By Hybrid Taguchi Principal Component Analysis (HTPCA), Materials Today: Proceedings, 4, 2077-2084.
- Kandemir, Y., 2018. Kompozit Malzemelerin Enerji Sönümlenme Performansına Numune ve Tetikleyici Geometrik Değişkenlerin Etkisinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kao, C., 2010. Weight Determination for Consistently Ranking Alternatives in Multiple Criteria Decision Analysis, Applied Mathematical Modelling 34, 1779-1787.
- Karaca, T., 2011. Proje Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerini Kullanarak Kritik Yolun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karagoz, S., Deveci, M., Simic, V., Aydın, N. ve Bolukbas, U., 2020. A Novel IntuitionisticFuzzy MCDM-Based CODAS Approach For Locating An Authorized Dismantling Center: A Case Study of Istanbul, Waste Management & Research, 38, 6, 660-672.
- Karagöz, N., 2014. Taguchi Metodunun Hava Aracı Kanat Tasarımı Sürecine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Karakaşoğlu, N., 2008. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.

- Katrançı, A. ve Kundakçı, N., 2020. Bulanık CODAS Yöntemi ile Kripto Para Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 22, 4, 958-973.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z. ve Antuchevičienė, J., 2016. A New Combinative Distance-based Assessment (CODAS) Method for Multi-criteria Decision Making, Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, 50, 3, 25-44.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Hooshmand, R., ve Antuchevičienė, J., 2017. Fuzzy Extension of The CODAS Method For Multi-criteria Market Segment Evaluation, Journal of Business Economics and Management, 18, 1, 1-19.
- Kopac, J. ve Krajnik, P., 2007. Robust design of flank milling parameters based on grey-Taguchi method, Journal of Materials Processing Technology, 191, 400-403.
- Kumar, M.V., Meignanamoorthy, M., Sakthivelu, S., Kumar, S.D., Chanakyan, C. ve Alagarsamy, S.V., 2020. Optimization of Meterial Removal Rate in CNC Turning of AA2024 via Taguchi Technique, Materials Today: Proceedings.
- Kumar, S. ve Singh, R., 2019. Optimization of Process Parameters of Metal Inert Gas Welding with Preheating on AISI 1018 Mild Steel Using Grey Based Taguchi Method, Measurement, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106924>.
- Kuo, Y., Yang T. ve Huang G.W., 2008. The use of a Grey Based Taguchi Method for Optimizing Multi Response Simulation Problems, Engineering Optimization, 40, 6, 517-528.
- Li, Y. ve Zhu, L., 2019. Optimization of User Experience in Mobile Application Design By Using A Fuzzy Analytic Network Process Based Taguchi Method, Applied Soft Computing Journal, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.048>.
- Liao, H.C., 2003. Using PCR-TOPSIS to optimise Taguchi's Multi Response Problem, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 22, 649-655.
- Lunani, M., Nair, V.N. ve Wasserman, G.S., 1997. Graphical metods for robust design with dynamic characteristics, Journal of Quality Technology, 29, 327-338.
- Maghsoodi, A.I., Maghsoodi, A.I., Poursoltan, P., Antucheviciene, J. ve Turskis, Z., 2019. Dam Construction Material Selection By Implementing The Integrated SWARA-CODAS Approach With Target-Based Attributes, Archives of Civil and Mechanical Engineering I9, 1194-1210.
- Maghsoodi, A.I., Rasoulipناه, H., Martínez López, L., Liao, H., ve Zavadskas, E.K., 2020. Integrating Interval-valued Multi-granular 2-tuple Linguistic BWM-CODAS Approach with Target-based Attributes: Site Selection For A Construction Project. Computers and Industrial Engineering, 139, 106147.

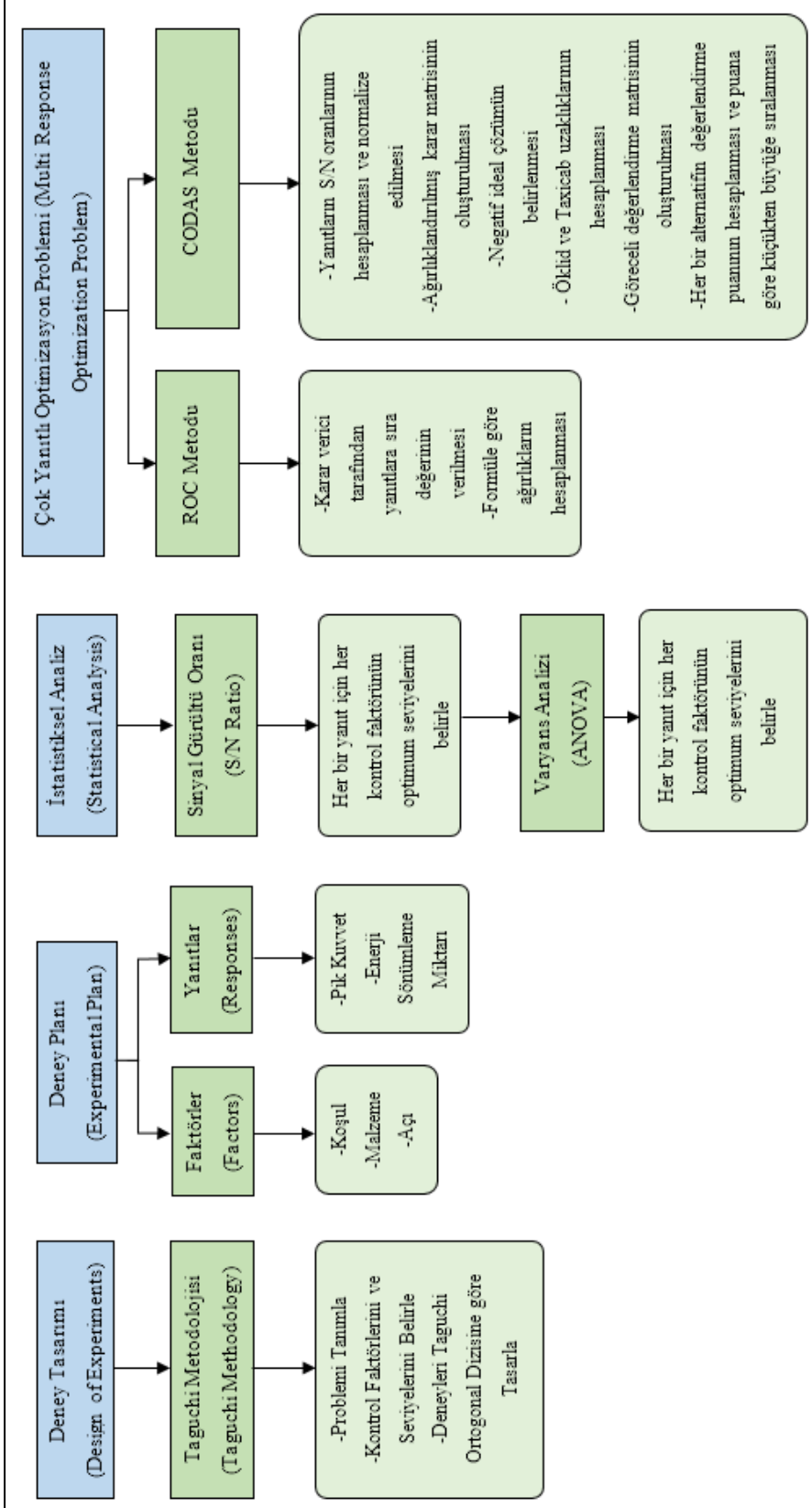
- Mandal, P. ve Mondal, S.C., 2021. Multi-Objective Optimization Of Cu-MWCNT Composite Electrode In Electro Discharge Machining Using MOPSO-TOPSIS, Measurement, 169, 108347.
- Meriç, D., 2014. Farklı Malzemelerden Yapılmış Tüplerin Statik ve Dinamik Yükler Altında Enerji Sönümleme Karakteristiklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Mohan, B. ve Muthuramalingam, T., 2014. Application of Taguchi-Grey Multi Responses Optimization on Process Parameters in Electro Erosion, Measurement, 58, 495–502.
- Mojaver, P., Khalilarya, S., Chitsaz, A. ve Assadi, M., 2020. Multi Objective Optimization of A Power Generation System Based SOFC Using Taguchi/AHP/TOPSIS Triple Method, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 38, 100674.
- Montgomery, D.C., 1991. Design and analysis of experiment, John Wiley& Sons, Newyork.
- Nagel, G., 2005. Impact and Energy Absorption of Straight and Tapered Rectangular Tubes, Doktora Tezi, Queensland University of Technology, Avusturalya.
- Okumuş, F., 2015. Taşyünü Üretim Tesisinde Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Taguchi Deney Tasarımının Birlikte Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Ouyang, K., Wu, H-W., Huang, S-C. ve Wu, S-J., 2017. Optimum Parameter Design For Performance of Methanol Steam reformer Combining Taguchi Method With Artificial Neural Network and Genetic Algorithm, Energy, 138, 446-458.
- Özakın, A.N. ve Kaya, F., 2020. Experimental Thermodynamic Analysis of Air-based PVT System Using Fins In Different Materials: Optimization of Control Parameters By Taguchi Method and ANOVA, Solar Energy, 197, 199-211.
- Özdoğan, A., Keleş, M. K. ve Yörük Eren, F., 2020. SWARA Tabanlı WSM ve CODAS Yöntemleri ile Biyokimya Hormon Cihazı Seçimi, Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi, 10, 1, 371-396.
- Özkan E., 2018. Taguchi Metodu Kullanılarak Sızıntı Suyunun Elektrokoagülasyon ile Arıtılabilirlik Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özlu, B., Akgün, M. ve Demir, H., 2019. AA6061 Alaşımının Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Analizi ve Optimizasyonu, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 2, 151-158.

- Öztürk, İ. Ve Kaya, N., 2008. Otomobil Ön Tampon Çarpışma Analizi ve Optimizasyonu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13, 6, 119-127.
- Özyonar, F., Yılmaz, Z., ve Karagözoğlu B., 2013. Taguchi Metodu Kullanılarak Gerçek Tekstil Atıksuyunun Arıtımında Elektrokoagülasyon Prosesinin Optimizasyonu, Uluslararası Katılımlı Çevre Sempozyumu, 24-26 Ekim, Gümüşhane.
- Pattanaik, A.D., Pradhan, S., Panda, S.N., Bagal, D.K., Pal, K. Ve Patnaik, D., 2018. Effect of Process Parameters on Friction Stir Spot Welding Using Grey Based Taguchi Methodology, Materials Today: Proceedings, 5, 12098-12102.
- Pamuçar, D., Badi, I., Sanja, K., ve Obradović, R., 2018. A Novel Approach For The Selection of Power-generation Technology Using A Linguistic Neutrosophic CODAS Method: A case study in Libya, Energies, 11, 9, 2489.
- Ranjit, K.R., 2001. Design of Experiments Using the Taguchi Approach : 16 Steps to Product and Process Improvement, John Wiley & Sons, Inc.
- Salehghaffari, S., Tajdari, M., Panahi, M. ve Mokhtarnezhad, F., 2010. Attempts to Improve Energy Absorbtion Characteristics of Circular Metal Tubes Subjected to Axial Loading, Thin-Walled Structures, 48, 6, 379-390.
- Sarıkaya, M. ve Güllü, A., 2015. Multi Response Optimization of Minimum Quantity Lubrication Parameters Using Taguchi Based Grey Relational Analysis In Turning of Difficult-To-Cut Alloy Haynes 25, Journal of Cleaner Production, 91, 347-357.
- Sarpkaya, Ç., Özgür, E. ve Sabır, E.C., 2015. The Optimization Of Woven Fabric Tensile Strength With Taguchi Method Based On Grey Relational Analysis, Tekstil ve Konfeksiyon, 25, 4, 293-299.
- Saygın, Z.Ö. ve Kundakçı, N., 2020. WASPAS ve CODAS Yöntemleri ile OECD Ülkelerinin Sağlık Göstergeleri Açısından Kıyaslamalı Analizi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 23, 1, 23-42.
- Sharma, A., Belokar, R.M. ve Kumar, S., 2018. Multi-Response Optimization of Al2024/Red Mud MMC Using Hybrid Taguchi-GRA-Entropy Optimization Technique, Materials Today: Proceedings, 5, 4748-4760.
- Shinde, A.B. ve Pawar, P.M., 2017. Multi-Objective Optimization Of Surface Textured Journal Bearing By Taguchi Based Grey Relational Analysis, Tribology International, 114, 349-357.
- Sivapragash, M., Kumaradhas, P., Stanly B.J.R., Felix, X.J. ve Pillai U.T.S., 2016. Taguchi Based Genetic Approach for Optimizing the PVD Process Parameter for Coating Zrn on AZ91D Magnesium Alloy, Materials and Design, 90, 713-722.

- Subbaya, K.M., Suresha, B., Rajendra, N. ve Varadarajan, Y.S., 2012. Grey-based Taguchi Approach For Wear Assessment of SiC Filled Carbon-Epoxy Composites, Materials and Design, 41, 124-130.
- Şahin, Ş., 2019. Taguchi Yöntemi Kullanılarak Wc/Co, Wc/CoCr HVOF Kaplamanın Optimizasyonu ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Şanyılmaz, M., 2006. Deney Tasarımı Ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi İle Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Şimşek, B., İç, Y.T. ve Şimşek, E.H., 2013. A TOPSIS-based Taguchi Optimization to Determine Optimal Mixture Proportions of The High Strength Self-Compacting Concrete, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 125, 18-32.
- Şirvancı M, 1997. Kalite İçin Deney Tasarımı, Literatür Yayınları:23, İstanbul, 110 s.
- Taguchi, G., Chowdhury, S. ve Wu, Y., 2005. Taguchi's Quality Engineering Handbook, John Willey & Sons Inc., New Jersey.
- Taphasanoğlu, S., 2020. Çok Yanıtlı Problemlere Sürekli-Sürekli Kalite Karakteristikleri İçin Dinamik Taguchi Yöntemi Yaklaşımı, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Taylan, D., 2009. Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Tsai, T., ve Liukkonen, M., 2016. Robust parameter design for the micro-BGA stencil printing process using a fuzzy logic-based Taguchi method, Applied Soft Computing.
- Tuş, A. ve Aytaç, Adalı, E., 2018. Personnel Assessment with CODAS and PSI Methods, Alphanumeric Journal, 6, 2, 243-256.
- Ulutaş, A., 2020. SWARA Tabanlı CODAS Yöntemi ile Kargo Şirketi Seçimi, Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 9, 3, 1640-1647.
- URL-1, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2019-33628>. 16 Haziran 2021.
- Ünal, Y. A., 2001. Şanzıman Giriş Mili İmalatındaki Proses Parametrelerine Taguchi Metodunun Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Varala, S., Parthasarathy, R., Bhargava, S.K ve Bankupalli, S., 2017. Desorption studies for the recovery of radionuclides (Th and Zr) and optimization using Taguchi mixed design L18 (2^13^2) – A regeneration step for loaded biosorbent, general mathematical model for multistage operation, Journal of Environmental Chemical Engineering, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.046>
- Yeni, F.B., ve Özçelik, G., 2019. Interval-valued Atanassov Intuitionistic Fuzzy CODAS Method For Multi Criteria Group Decision Making Problems, Group Decision and Negotiation, 28, 2, 433-452.
- Yıldırım, S., 2011. Ürün Tasarımı Geliştirmesi: Taguchi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yildiz, A.R., 2013. Hybrid Taguchi-Differential Evolution Algorithm For Optimization of Multi-pass Turning Operations, Applied Soft Computing, 13, 1433-1439.
- Yang, T. ve Chou, P., 2005. Solving A Multiresponse Simulation-Optimization Problem With Discrete Variables Using A Multiple-Attribute Decision-Making Method, Mathematics and Computers in Simulation, 68, 1, 9-21.
- Yuan-Kang, W., Chih-Cheng, H. ve Chun-Liang, L., 2013. Resolution of The Unit Commitment Problems By Using The Hybrid Taguchi-Ant Colony System Algorithm, Electrical Power and Energy Systems, 49, 188-198

7. EKLER



Ek Şekil 1. Çok Yanıtlı Taguchi Optimizasyonunda ROC-CODAS Yaklaşımının Uygulama Özeti

ÖZGEÇMİŞ

İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 2012 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. 2018 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.

AKADEMİK YAYINLAR

Yıldız, Ü.G., Es, H.A., Meriç, D. ve Gedikli, H., 2021. Farklı Malzemelerden Yapılmış Tüplerin Statik Ve Dinamik Yükler Altında Enerji Sönümlenme Kabiliyetinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, 1. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Kongresi, 16-17 Ocak 2021, İstanbul, Kongre Kitabı: 94-95.