



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



# GÜVEN ARALIKLARINA DAYALI İKİLİ YANIT YÜZEY YAKLAŞIMI

Yüksek Lisans Tezi

Atakan BAYDAR

İstatistik Anabilim Dalı

İzmir  
2023



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

# GÜVEN ARALIKLARINA DAYALI İKİLİ YANIT YÜZEY YAKLAŞIMI

Atakan BAYDAR

Danışman: Doç. Dr. Melis ZEYBEK

İstatistik Anabilim Dalı  
İstatistik Yüksek Lisans Programı

İzmir  
2023



# EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Güven Aralıklarına Dayalı İkili Yanıt Yüzey Yaklaşımları” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

04 / 09 / 2023

Atakan BAYDAR



**ÖZET****GÜVEN ARALIKLARINA DAYALI İKİLİ YANIT YÜZEY  
YAKLAŞIMI**

BAYDAR, Atakan

Yüksek Lisans Tezi, İstatistik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Melis ZEYBEK

Eylül 2023, 50 sayfa

Bu tez kapsamında, mevcut literatürden farklı olarak, dayanıklı güven aralıkları olarak adlandırılan  $MAD_t$  güven aralığı,  $Sn_t$  güven aralığı ve  $Qn_t$  güven aralığı yaklaşımları kullanılarak, ortalama ve standart sapma için ikili yanıt yüzeyi modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller optimize edilerek, deney tasarımı için optimal faktör düzeyleri elde edilmiştir. Özellikle normal olmayan ve normallikten sapmış veriler için, verinin çarpıklığını da göz önüne alan bir yöntem benimsendiğinden, daha etkin ve daha doğru sonuçlar vermiştir.

Önerilen optimizasyon yaklaşımları, hedef en iyi (Nominal the Best, NTB) ve en büyük en iyi (Larger the Better, LTB) olmak üzere iki temel duruma uyarlanarak oluşturulmuştur ve önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı sonuçlarının literatürde var olan popüler iki örnek üzerinde karşılaştırmaları yapılmıştır.

**Anahtar sözcükler:**  $MAD_t$ ,  $Sn_t$ ,  $Qn_t$ , güven aralığı, optimizasyon, ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı



**ABSTRACT****DUAL RESPONSE SURFACE APPROACH BASED ON  
CONFIDENCE INTERVAL**

BAYDAR, Atakan

MSc in Statistics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Melis ZEYBEK

September 2023, 50 pages

Within the scope of this thesis, unlike the existing literature, dual response surface models for the mean and standard deviation were constructed using the  $MAD_t$  confidence interval,  $Sn_t$  confidence interval and  $Sn_t$  confidence interval approaches, which are called robust confidence intervals. The models were optimized to obtain the optimal factor levels for the experimental design. Especially for non-normal data and contaminated data, a method that also takes into account the skewness of the data has been adopted, resulting in more efficient and more accurate results.

The proposed optimization approaches are adapted to two basic cases, nominal the best (NTB) and larger the better (LTB), and the results of the proposed dual response surface approach are compared on two popular examples available in the literature.

**Keywords:**  $MAD_t$ ,  $Sn_t$ ,  $Qn_t$ , confidence interval, optimization, dual response surface approach



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada literatürde var olan popüler iki örnek üzerinde karşılaştırmaları yapılarak, özellikle verilerin normal olmayan, normallikten sapma durumları ve verilerin çarpıklığını da göz önüne alarak güven aralıklarına dayalı ikili yanıt yüzeyi modeli tasarlanması hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki destek ve katkılarından dolayı tez danışmanım sayın Doç. Dr. Melis ZEYBEK'e teşekkürlerimi sunarım.

İZMİR

04 / 09 /2023

Atakan BAYDAR



**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
ÖNSÖZ .....	xi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xvii
TABLolar DİZİNİ .....	xix
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxi
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	3
2.1. Taguchi Metodolojisine Kısa Bir Bakış .....	3
2.2. Taguchi'nin Analizlerine Alternatif Yöntemler .....	10
3. ÖNERİLEN YAKLAŞIM: GÜVEN ARALIKLARINA DAYALI İKİLİ YANIT YÜZEY YAKLAŞIMLARI .....	23
3.1. Kitle Ortalaması için Dayanıklı Güven Aralıkları .....	23
3.2. Önerilen İkili Yanıt Yüzeyi Yaklaşımı .....	26
3.2.1 MAD – t Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı .....	27

**İÇİNDEKİLER (devam)**

3.2.2 $S_n - t$ Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı .....	28
3.2.3 $Qn - t$ Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı .....	29
4. UYGULAMA .....	31
4.1. Baskı Süreci Çalışması.....	31
4.1.1 MAD – t Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı .....	33
4.1.2 $S_n - t$ Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı .....	34
4.1.3 $Qn - t$ Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı .....	35
4.2. Lastik Sırtı Bileşimi Çalışması .....	37
4.2.1 MAD – t Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı .....	39
4.2.2 $S_n - t$ Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı .....	40
4.2.3 $Qn - t$ Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı .....	41

**İÇİNDEKİLER (devam)**

5. SONUÇ VE TARTIŞMA .....	44
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	45
TEŞEKKÜR .....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	49





**ŞEKİLLER DİZİNİ**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Taguchi'nin içsel ve dışsal dizimlerine bir örnek.....	7
2.2 MSE dayalı optimizasyon.....	16
4.1 Baskı Süreci Çalışması Dağılımı .....	31
4.2 Lastik Sırtı Bileşimi Dağılımı .....	37



**TABLolar DİZİNİ**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Baskı Çalışması Verileri .....	32
4.2 Hedef en iyi durumu baskı süreci verileri çalışması için karşılaştırmalı çalışma .....	36
4.3 En büyük en iyi durumu baskı süreci verileri çalışması için karşılaştırmalı çalışma .....	36
4.4 Lastik Sırtı Bileşimi Çalışması Verileri .....	38
4.5 Hedef en iyi durumu lastik sırtı bileşimi verileri çalışması için karşılaştırmalı çalışma .....	42



**KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
NTB	Hedef en iyi
LTB	En büyük en iyi
MAD	Medyan mutlak sapma
EOL	Elektrik iletişim laboratuvarı
DOF	Deney tasarımı
OA	Ortogonal dizi
S/N	Sinyal görüntü
MSE	Hata kareler ortalaması
RPD	Dayanıklı parametre tasarımı
DRS	İkili yanıt yüzeyi



## 1. GİRİŞ

Taguchi, 1980'lerin başında dayanıklı parametre tasarımını tanıttı ve farklı endüstriyel alanlardaki kalite geliştirme mühendisleri ve istatistikçiler tarafından büyük ilgi gördü. Dayanıklı parametre tasarımı, sistem ortalamasını önceden belirlenmiş bir hedef değerde tutarken aynı zamanda sistem değişkenliğini azaltmak amacıyla deneysel tasarım ve stratejik modelleme tekniklerini kullanan bir metodolojidir.

Dayanıklı parametre tasarımı, ürün gerçekleştirme faaliyetlerinde ürün tasarımının başarıya ulaşması için ürün parametrelerini etkileyen kontrol edilemeyen veya kontrol edilmesi zor dışsal ve çevresel etkenlerin olumsuz etkilerini karşı koyabilecek bir tasarım oluşturmaya dayanmaktadır. Dayanıklılık bir ürün veya sürecin, dış etkenlerin yarattığı değişkenlikten en az derecede etkilenmesi anlamına gelmektedir. Örneğin, bir ürün hammaddelerindeki değişkenliğe, üretim koşullarına, üretim personeline, son kullanım ortamına, tüketimine ve bozulmaya karşı ne kadar çok direnç gösteriyorsa o kadar dayanıklıdır şeklinde yorumlanabilir. Ürün tasarımında, ürün parametrelerindeki değişkenliği arttıran ve ürün ile ilgili belirlenen hedef değerinden sapmasına yol açan çevresel etkenlerden en az derecede etkilenecek kadar dayanıklı olması gerektiği fikri Taguchi tarafından ortaya atılmıştır ve çeşitli bilim çevreleri tarafından oldukça rağbet görmüştür.

Yanıt Yüzey Metodolojisinin başarısı genellikle veri dağılımına uygun seçilmiş bir modele bağlıdır. Yanıt yüzey modellerini oluştururken veri dağılımı hakkında yanlış varsayımlarda bulunmak, kullanılan kalite iyileştirme stratejisinin etkinliğini etkileyebilir.

Normal olmayan veya normallikten sapmış (contaminated) veriler kalite geliştirme uygulamalarında yaygın bir olgudur. Bazı endüstriyel alanlarda, Poisson (sayım verileri), üstel/gama (zaman-arıza verileri) veya Bernoulli (kusurlu-kusursuz) yanıt dağılımları ile karşılaşılabilir. Dayanıklı parametre uygulamalarında normal olmayan verilerin yaygın olmasına rağmen, kullanıcıların modelleme aşamasında verilerin temeldeki dağılım şeklini görmezden geldiği ve

normal teori tekniklerini saf olarak kullandığı durumdur. Bu naif yaklaşım, işlem ortalaması ve varyansının yanlış tahminleriyle sonuçlanabilir ve sonuçta kalitesizlik ile karakterize edilen bir sürece yol açabilir (Zeybek, Köksoy ve Robinson, 2020).

Normal olmayan veya normallikten sapmış veriler için literatürde çalışmalar mevcuttur. Park and Cho (2003) tarafından önerilen yaklaşımda, medyan mutlak sapma (Median Absolute Deviation, MAD) ve çeyrekler arası açıklık tahmin edicileri kullanılarak ikili yanıt yüzeyi modelleri oluşturulmuştur. Klasik modelleme tekniğine göre (ortalama ve standart sapma tahmin edicileri) daha etkin sonuçlar elde edilmiştir (Park and Cho, 2003). Lee ve ark. (2007) verinin normal olmayan simetrik dağılımları ve sapan değer olduğu durumlarda, medyan, MAD ve Huber tahmin edicileri ile çalışmışlardır. Boylan and Cho (2013)'deki çalışmalarında Park and Cho (2003) ve Lee ve ark. (2007) çalışmalara ek olarak Huber, Tau-m/s, Hodges ve Lehman (HL), en çok olabilirlik tahmin edicileri (Maximum Likelihood Estimation, MLE) üzerinde ikili yanıt yüzey modelleri oluşturularak etkinliklerini tartışmışlardır. Zeybek (2019)'daki çalışmasında ise, normal olmayan ve normallik sapmış veri durumunda, güven aralıklarına dayalı kalite geliştirme üzerine çalışmıştır. Önerilen yaklaşım, verilerin çarpıklık bilgisini kullanarak sistemi ortalama için tarafsız kılan süreç ortalamasının güven aralığı üzerine inşa edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, normal olmayan ve normallikten sapmış deney tasarımı örnekleri için, verinin çarpıklığını da göz önüne alan bir yöntem önerilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda literatürde var olan ve etkinliği gösterilmiş ve yukarıda değinilen nokta tahmin edicileri yerine, bu tahmin edicilerin güven aralıklarını kullanan bir kalite geliştirme yaklaşımı önerilmesi amaçlanmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Taguchi felsefesinin, tasarımlarının ve analiz yöntemlerinin kısa bir değerlendirmesi yapılarak, Taguchi'nin tasarım ve analizlerine yapılan eleştirilere yer verilmiştir. Bu eleştiriler doğrultusunda, Taguchi'nin analizlerine alternatif olarak önerilen ve literatürde en fazla tartışılan yaklaşımlar göz önüne alınarak yapılan çalışmalar incelenmiştir.

### 2.1 Taguchi Metodolojisine Kısa Bir Bakış

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra Müttefik kuvvetler, Japon telefon sisteminin kalitesini son derece düşük ve uzun vadeli iletişim amaçları için tamamen uygunsuz bulmuştur. Sistemi son teknoloji bir düzeye yükseltmek için, Müttefik komutanlığı Japonya'nın Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Bell Laboratuvarlarına benzer araştırma tesisleri kurmasını tavsiye etmiştir. Bunun üzerine Japonlar, Dr. Genichi Taguchi'nin Ar-Ge verimliliğini artırmak ve ürün kalitesini yükseltmekle sorumlu olduğu Elektrik İletişim Laboratuvarlarını (Electrical Communication Laboratories, ECL) kurdular. Taguchi, kaynakların harcanmasını en aza indirmek için yaratıcı beyin fırtınası sürecine çok az vurgu yapıldığını ve mühendislik deneyleri ve testlerine çok fazla zaman ve para harcandığını gözlemlemiştir. Taguchi, mühendislik deney sürecini optimize etmek için yeni yöntemler geliştirmeye başlamıştır ve literatürde Taguchi Yöntemleri olarak bilinen teknikleri geliştirmiştir. Dr. Taguchi'nin en büyük katkısı, deney tasarımının (Design of Experiments, DOE) matematiksel formülasyonunda değil, beraberindeki felsefede yatmaktadır. Onun yaklaşımı, deneyler düzenlemek için bir yöntemden daha fazlasıdır. Geleneksel uygulamalardan farklı, özgün ve güçlü bir kalite iyileştirme disiplini üretmiş bir kavramdır (Roy and Ranjit K.,2010).

Taguchi, imalat sanayilerinde kalite kontrolü için mükemmel bir felsefe benimsemiştir ve aslında bir kalite ürünü sunmuştur. Örneğin, Ford Motor Company, 1990'ların başında, tüm Ford Motor ve tedarikçilerinin mühendislerinin Taguchi metodolojisi konusunda eğitilmesini ve bu ilkelerin kalite sorunlarını çözmek için kullanılmasını kararlaştırmıştır. Taguchi'nin felsefesinin geniş kapsamlı sonuçları vardır, ancak yine de çok basit ve temel üç kavram üzerine

kurulmuştur. Tüm teknoloji ve teknikler, tamamen bu üç fikirden doğmaktadır. Bu kavramlar:

1. Kalite, ürüne göre tasarlanmalı ve denetlenmemelidir.
2. Kalite, hedeften sapmayı en aza indirerek elde edilir. Ürün, kontrol edilemeyen çevresel faktörlere karşı etkilenmeyecek şekilde tasarlanmalıdır.
3. Kalite maliyeti standarttan sapmanın bir fonksiyonu olarak ölçülmeli ve kayıplar sistem genelinde ölçülmelidir (Roy and Ranjit K., 2010).

Taguchi, W.E. Deming'in, kalitesizliğin %85'inin üretim sürecinden ve yalnızca %15'inin işçiden kaynaklandığına dair gözleminde yola çıkarak, "dayanıklı" veya çevrenin günlük ve mevsimsel değişimlerine, makine aşınmasına ve diğer dış etkenlere karşı duyarsız üretim sistemleri geliştirmiştir. Bu üç ilke, sistemleri geliştirmede, kaliteli üretimi etkileyen faktörleri test etmede ve ürün parametrelerini belirlemede Taguchi'nin rehberi olmuştur (Roy and Ranjit K., 2010).

Taguchi, kaliteyi geliştirmenin en iyi yolunun onu tasarlamak ve ürüne entegre etmek olduğunu vurgulamıştır ve "Kalite iyileştirme en başından, yani bir ürünün veya sürecin tasarım aşamalarında başlar ve üretim aşaması boyunca devam eder" yaklaşımını benimsemiştir. Üretim hattındaki bir üründe kaliteyi inceleme girişimi yerine, tasarım aşamalarının başlarında kalite iyileştirme geliştirmek için bir "süreç dışı" strateji önermiştir. Taguchi, kalitesizliğin denetim, eleme veya kurtarma süreciyle iyileştirilemeyeceğini gözlemlemiştir. Bu nedenle kalite kavramları, önleme felsefesine dayandırılmalı ve bu felsefe etrafında geliştirilmelidir. Ürün tasarımı, kontrolsüz uygulama ve çevresel faktörlerin üretim süreçleri üzerindeki etkisinden etkilenmeyecek kadar sağlam olmalıdır. Taguchi, çok daha yüksek yatırım getirisi için tasarımda kaliteyi ön planda tutmakta ısrar etmiştir (Roy and Ranjit K., 2010).

Taguchi'nin ikinci kavramı, ürünlerin kalitesini iyileştirmenin gerçek yöntemleriyle ilgilidir. Kalitenin, bir tasarım parametresinin bazı sabit

spesifikasyonlara uygunlukla değil, hedef değerden sapmasıyla doğrudan ilişkili olduğunu iddia etti. Bir ürün, kabul aralığının bir ucuna doğru eğrilmiş ancak daha kısa ömür beklentisi gösteren özelliklere sahip olarak üretilebilir. Ancak, kritik özellik için bir hedef değer belirleyerek ve hedef değeri çok az sapma ile karşılamak için üretim süreçleri geliştirerek, yaşam beklentisi çok daha iyi hale getirilebilir (Roy and Ranjit K., 2010).

Taguchi'nin üçüncü kavramı, ürünün genel yaşam döngüsü maliyetleri açısından belirli bir tasarım parametresinden sapmaların ölçülmesini gerektiği fikri üzerine yapılandırılmıştır. Bu maliyetler, hurda, yeniden işleme, inceleme, iade, garanti hizmeti çağruları ve/veya ürün değiştirme maliyetlerini içermektedir. Bu maliyetler, kontrol edilecek ana parametrelerle ilgili rehberlik sağlamaktadır (Roy and Ranjit K., 2010).

Taguchi, kalite iyileştirmesini devam eden bir çaba olarak görmektedir. Hedef değer etrafındaki değişkenliği azaltmaya dayalı bir felsefe benimsemiştir. İncelenen bir ürün, hedef değerden farklı bir ortalama değere sahip bir dağılım sergileyebilir. Kaliteyi iyileştirmeye yönelik ilk adım, kitle dağılımını mümkün olduğu kadar hedef değere yakın hale getirmektir. Bunu başarmak için Taguchi, ortogonal diziler (Orthogonal Arrays, OA) olarak bilinen özel olarak oluşturulmuş tabloları kullanarak deneyler tasarlamıştır. Bu tabloların kullanımı deneylerin tasarımını oldukça kolaylaştırır (Roy and Ranjit K., 2010).

Ürünleri ideal bir değere uyacak şekilde üretmenin ikinci amacı, hedef etrafındaki varyansı azaltmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için Taguchi, araştırmacı tarafında deney esnasında kontrol edilemeyen değişkenler olan gürültü faktörlerinden kaynaklanan değişkenliği azaltmaya odaklanmıştır. Gürültü faktörleri, terminolojisine göre, bir sürecin kalite karakteristiğini etkileyen ancak kolayca kontrol edilemeyen faktörlerdir. Hava koşulları, makine aşınması vb. gibi gürültü faktörleri genellikle varyasyonların ana kaynaklarıdır. Taguchi, dış diziler olarak adlandırdığı dizilim formatı kullanımı yoluyla, etkilerini en az sayıda tekrarla incelemek için etkili bir yol tasarlamıştır. Böylece, gürültü faktörlerinden minimum düzeyde etkilenen, yani yüksek bir sinyal-gürültü (Signal to Noise,

$S/N$ ) değerine sahip “sağlam” bir tasarım elde ettiğini iddia etmektedir (Roy and Ranjit K., 2010).

Tasarım yoluyla arzu edilen ürün kalitesine ulaşmak için Taguchi, aşağıdaki gibi üç aşamalı bir süreç önermektedir:

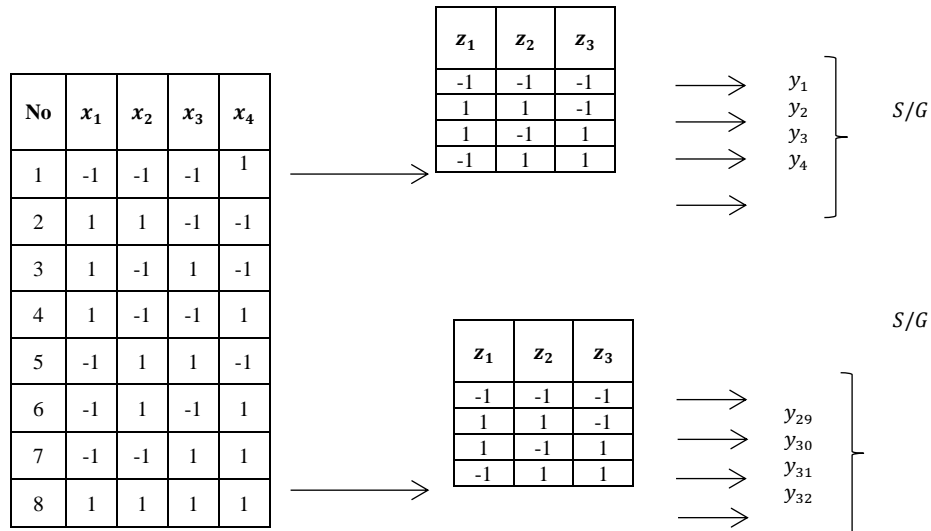
1. Sistem tasarımı
2. Dayanıklı parametre tasarımı
3. Tolerans tasarımı

Sistem tasarım aşamasının odak noktası, tasarım faktörlerinin uygun çalışma seviyelerini belirlemektir. Mevcut teknolojiye dayalı olarak seçilen malzemeler, parçalar ve nominal ürün/süreç parametrelerine ilişkin mühendisin yargısına dayalı olarak bir sistemin tasarlanması ve test edilmesini kapsamaktadır. Çoğu zaman, uygulanabilir bilim ve teknoloji alanlarından yenilik ve bilgiyi içerir. Sistem tasarımı, tasarım faktörlerinin çalışma seviyelerini belirlemeye yardımcı olurken, dayanıklı parametre tasarımı, incelenen ürün/sürecin en iyi performansını üreten faktör seviyelerini belirlemeye çalışır. Optimum koşul, kontrol edilmeyen faktörlerin (gürültü faktörleri) etkisinin sistem performansında minimum değişikliğe neden olması için seçilir. Tolerans tasarımı ise, ürün üzerinde önemli etkisi olan faktörlerin toleransını daraltarak parametre tasarımının sonuçlarına ince ayar yapmak için kullanılan bir adımdır. Bu tür adımlar normalde daha iyi malzeme ihtiyacını belirlemeye, daha yeni ekipman satın almaya, inceleme için daha fazla para harcamaya vb. yol açacaktır (Roy and Ranjit K., 2010). Dayanıklı parametre tasarımı, genellikle kalite iyileştirme amacıyla araştırma topluluğu tarafından hali hazırda çalışılan en önemli tasarım metodolojilerinden biri olarak tanımlanır. Endüstri alanında yer alan birçok firma, ürün kalitesinde ve üretim yöntemlerinde önemli iyileştirmeler yapmak için dayanıklı tasarım teknikleri uygulamıştır. Otomotiv endüstrisinde, plastik teknolojisinde, süreç endüstrisinde ve bilgi teknolojisindeki çeşitli mühendislik problemlerine dayanıklı tasarımın uygulamasına ilişkin örnekler Bendell et al. (1987) ve Dehnad (1989) makalelerinde mevcuttur. Dayanıklı parametre tasarımının temel amacı, ilgilenilen

kalite karakteristiği ile ilişkili değişkenliği en aza indirerek ve aynı zamanda süreç ortalamasını müşteri tarafından belirlenen hedef değerde tutarak kontrol faktörlerinin optimum çalışma koşullarını elde etmektir (Lee et al., 2007).

Taguchi, dayanaklı parametre tasarımı kapsamında çözüme ulaşmak için Taguchi tasarımları adı verilen tasarımlar kullanmıştır. Şekil 2.1' de Taguchi tasarımlarına bir örnek verilmiştir. Şekil 2.1' deki tasarımda, dört kontrol faktörü ( $x_1, x_2, x_3$  ve  $x_4$ ) ve üç gürültü faktörü ( $z_1, z_2$  ve  $z_3$ ) içermektedir. Şekil 2.1'de kontrol edilebilen faktörleri içeren tablo içsel dizim olarak adlandırılır ve bir  $2^4$  çok etkenli tasarımın Çözüm IV kesrine karşılık gelen denemeleri kapsamaktadır. Gürültü faktörlerini kapsayan tablo ise dışsal dizim olarak ifade edilmektedir ve bir  $2^3$  çok etkenli tasarımın Çözüm III kesrine karşılık gelen denemeleri kapsamaktadır. (Myers et al., 1992).

Şekil 2.1' de verilen tasarımda, içsel dizimin her bir satırında aynı dışsal dizim tekrar etmektedir. Sonuç olarak bu tasarım 7 faktörlü ve 32 denemeli bir tasarımdır. Bu tasarıma ilişkin deneyin sonucunda, yanıt değişkeninin değerleri ( $y_1, y_2, \dots, y_{32}$ ) ölçülür. İçsel dizimdeki etkenlerin her bir bileşimi için Sinyal-Gürültü ( $S/G$ ) oranı adı verilen bir istatistik ile elde edilir (Myers et al., 1992).



Şekil 2.1 Taguchi'nin içsel ve dışsal dizimlerine bir örnek

Deney tasarımı tanımlanan bir faktöre yanıt olarak incelenen bir ürünün kalite özelliklerindeki değişiklik, istenen etkinin sinyalidir. Bununla birlikte, bir deney yapıldığında, sonucu etkileyen deneyde tasarlanmayan çok sayıda dış ve iç faktör vardır. Kontrol edilemeyen faktörler olan gürültü faktörlerinin test edilen kalite karakteristiğinin (yanıtın) sonucu üzerindeki etkilerine "gürültü" denir. Sinyal-gürültü ( $S/N$ ) oranı, kontrollü bir şekilde araştırılan kalite karakteristiğinin, kontrol altında olmayan etkileyen faktörlere (gürültü faktörleri) duyarlılığını ölçer.  $S/N$  Kavramı, elektrik mühendisliği alanında ortaya çıkmıştır. Taguchi, deneylerden optimum koşulu oluşturmak için bu kavramı etkili bir şekilde uygulamıştır (Roy and Ranjit K., 2010).

Herhangi bir deneyin amacı, her zaman sonuç için mümkün olan en yüksek  $S/N$  oranını belirlemektir. Yüksek bir  $S/N$  değeri, sinyalin gürültü faktörlerinin rastgele etkilerinden çok daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. En yüksek  $S/N$  ile tutarlı ürün tasarımı veya süreç çalışması her zaman minimum sapma ile optimum kaliteyi sağlar. Kalite geliştirme kapsamında, problemin çözümü için 3 tipik hedeften bahsedilebilir:

1. En küçük en iyi: Süreç ortalamasını mümkün olduğunca küçük yapılmaya ve süreç varyansının uygun bir değerde kontrol altında tutulmaya çalışıldığı durumdur. Örneğin, bir dökme demir silindir bloğu dökümünde minimum büzülme.
2. Hedef en iyi: Süreç ortalamasının belirlenen hedef değerde sabit tutulması ve süreç varyansının en küçük yapılmaya çalışılması durumudur. Örneğin, önceden belirlenen bir varyansla tutarlı bir şekilde elde edilen bir parçanın boyutu.
3. En büyük en iyi: Süreç ortalamasını mümkün olduğunca büyük yapılmaya ve süreç varyansının uygun bir değerde kontrol altında tutulmaya çalışıldığı durumdur. Örneğin, bir bileşenin beklenen maksimum ömrü.

$S/N$  Analizi, kalite özelliklerini ölçmek için tasarlanmıştır. Bir kalite karakteristiğini  $Y$  rasgele değişkeni ile tanımlandığı,  $l$  tane etkenden etkilendiğini ve bu etkenlerden her birinin önceden belirlenmiş sabit düzeyleri olduğunu ve elde edilen  $n$  gözlemlenilen rasgele örneklemin  $y_1, \dots, y_n$  olduğunu varsayalım.  $\bar{y}$  örneklem

ortalaması ve  $s^2$  örneklem varyansı olarak tanımlandığında, sinyal gürültü oranları, aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

- Hedef en iyi:  $10 \log_{10} \left( \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right)$
- En büyük en iyi:  $-10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$
- En küçük en iyi :  $-10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$

$S/N$  değerleri, problemin cinsine bağlı olarak içsel dizimdeki her bir tasarım noktasında hesaplanır ve elde edilen oran değerleri içinden en büyük değerli oranı verecek etken düzeyleri seçilir. Ürün tasarımında, en yüksek  $S/N$  oranına sahip etken düzeyleri, daima en küçük varyanslı ve en kaliteli ürünü üretecek parametreler olarak kabul edilir. Bu oranların en büyük yapılmasının amacı, ilgili beklenen kaybın en küçük yapılması olarak ifade edilebilir.

Taguchi'nin felsefesi beğenilmekle birlikte, önerdiği bazı tasarım ve analiz teknikleri eleştirilmektedir. Bu analiz ve tekniklere yapılan eleştiriler özetlenerek aşağıda verilmiştir:

- Deney tasarımları çaprazlanmış dizim formatı kullandığından, çok sayıda deneme gerektirmektedir. Bu nedenle ekonomik tasarımlar değildir.
- Taguchi, kontrol edilebilir ve gürültü etkenleri arasındaki etkileşimleri ihmal ettiği için dolayı bilgi kaybı olmaktadır.
- Taguchi tasarımları olarak bilinen ortogonal dizi tasarımında ana etki hakkındaki bilgi başka bir etkileşim etkisi ile karışmış olarak karşımıza çıkmaktadır. İki veya daha fazla etkenli etkileşimler konusuna fazla önem vermemesinden dolayı bilgi kaybı yaşanmaktadır. İstatistiksel deney tasarımı kapsamında daha etkin, daha az deney sayısı gerektiren ekonomik deney tasarımları mevcuttur.

- Taguchi'nin analizleri adım adım hedefe yaklaşma ilkesine aykırıdır.
- Taguchi'nin analizleri için önerdiği  $S/N$  oranlarının kullanımı, konum ve dağılım etkilerinin birbirine karışmasına sebep olmaktadır. Örneğin, en küçük en iyi durumu için  $S/N$  oranı,

$$-10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) = -10 \log_{10} \left( \bar{y}^2 + \frac{n-1}{n} s^2 \right)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda, konum ve dağılım parametrelerinin birbirine karıştığı görülmektedir. Bu parametrelerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesi daha uygun ve etkin olmaktadır. Ayrıca, en küçük en iyi durumunu  $y^2$  ve en büyük en iyi durumunu  $\frac{1}{y^2}$  terimlerini içermektedir. Bu terimler, aykırı ve sıfır değerli gözlemlere karşı aşırı duyarlıdır. Bu nedenlerden dolayı  $S/N$  oranlarının kullanımı birçok istatistikçi tarafından sakıncalı bulunmaktadır.

- Taguchi'nin sinyal görüntü oranı üzerinden önerdiği varyans analizinde, bağımlı değişken değerini sinyal görüntü oranları oluşturmaktadır. Analiz sonucunda önemsiz çıkması beklenen etkilerin önemli çıkabileceği literatürde tartışılmıştır (Box, 1985; Box et al., 1988; Nair, 1992; Köksoy and Fan, 2012).

## 2.2 Taguchi'nin Analizlerine Alternatif Yöntemler

Bu bölümde, Taguchi'nin analizlerine alternatif olarak önerilen ve literatürde en çok tartışılan yaklaşımlar incelenmiş ve bu konuda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Yanıt yüzey metodolojisi olarak adlandırılan yöntem, ilk olarak Box and Vilson (1951) tarafından kimya endüstrisi uygulamalarında kullanılmış ve 1990'lı yıllarda Taguchi'ye alternatif yaklaşımlar kapsamında tekrardan gündeme gelmiştir. Myers and Montgomery (1995) yanıt yüzey yöntemini, süreçlerin geliştirilmesi ve optimizasyonu için gerekli istatistiksel ve matematiksel tekniklerin

birlikte kullanıldığı bir yöntem olarak tanımlanmıştır. Süreç değişkenlerinin deneysel uzayını araştırmak için deneysel stratejilerini, sistemin yanıtı ve üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan modelleme tekniklerini ve süreç değişkenlerinin sistem yanıtında arzu edilen etkiyi gösterdiği seviyelerinin bulunması için kullanılan optimizasyon tekniklerini içermektedir (Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010).

Yanıt yüzey metodolojisi aşamaları deney tasarımı, modelleme ve optimizasyon şeklinde sıralanabilir. Arzu edilen deney tasarımı oluşturmak için süreç özelliğine etki ettiği düşünülen bağımsız değişkenlerle eleme denemeleri yapılmakta ve deney tasarımında kullanılacak bağımsız değişkenler yani faktörler belirlenmektedir. Belirlenen faktörler ve yanıt arasındaki ilişkiyi tanımlamak için ise modelleme yapılmaktadır. Burada, yanıt olarak ifade edilen süreç özellikleri; kalite karakteristikleri, süreç ortalaması, süreç varyansı, süreç standart sapması veya aynı ürünün farklı kalite karakteristikleri arasındaki korelasyon katsayısı olabilir.

Modelleme sürecinde, genellikle birinci dereceden ve ya ikinci dereceden polinomiyal denklemler tercih edilmektedir. Yanıt, bağımsız değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu ise birinci dereceden polinomiyal denklemlerin kullanılması uygundur. Ancak, yanıt fonksiyonu genellikle hedef etrafında bir eğrilik göstermekte ve birinci dereceden modeller bu eğriliğin tahmin edilmesi aşamasında yeterli kalmaktadır. Bu nedenle sürecin yanıt yüzeyinde bir eğrilik yapısı varsa, yanıt fonksiyonunun ikinci dereceden polinomiyal denklem olarak modellenmesi daha uygundur. Ayrıca, ikinci dereceden polinomiyal denklemlerin kullanımının bazı avantajları vardır; örneğin, yanıt fonksiyonun tahmin edilmesinde kolaylık sağlaması, en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilebilmesi, sadece bir tane bölgesel minimum veya maksimum noktası olduğu için optimizasyon aşamasında optimum noktasının kolayca belirlenebilmesi gibi. Eğer yanıt bağımsız değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu değilse, uygun dönüştürme tekniklerinin kullanımı ile doğrusal bir yapı elde etmek mümkün olabilmektedir. Uygun bir model elde edildikten sonra, yanıt üzerinde etkili olan bağımsız değişkenlerin hangi değerlerinin hedef değere ulaştırdığını belirlemek

amacıyla optimizasyon teknikleri kullanılır (Montgomery, 2005; Thompson, 1982, Zeybek, 2015).

Vining and Myers (1990), Taguchi felsefesi ile Myers and Carter (1973) tarafından ele alınan ikili yanıt yüzey modelini harmanlayarak ikili yanıt yüzeyi metodolojisi adıyla bilinen yöntemi önermişlerdir. Taguchi'nin sinyal gürültü oranları bir süreç veya ürün karakteristiğinin ortalama ve varyansına dayandığından, ikili yanıt yüzeyi metodolojisinde süreç ortalama ve varyansının yanıt yüzeyi modelleriyle modellenmesi temel yaklaşım olarak kabul edilmiştir. Vining and Myers (1990) tarafından tanıtılan ikili yanıt yüzey metodolojisinde, süreç veya ürün kalite karakteristiğinin ortalama ve varyansı yanıt yüzey modelleriyle ayrı ayrı modellenmekte ve Taguchi'nin tanımladığı 3 temel hedef kapsamındaki kalite problemi temelinde optimize edilme önerilmektedir.

Tek kalite karakteristiğine etki eden  $k$  tane kontrol edilebilir faktörün olduğu varsayımı altında ilgili kalite karakteristiği için iki ayrı yanıt optimizasyonu ile ilgilenildiği problem için,  $\eta_p$  ana yanıt ve  $\eta_s$  ikincil yanıt olsun. Ana ve ikincil yanıtların ikinci dereceden yanıt yüzeyi modelleri,

$$\eta_p = \alpha_0 + x'\alpha + x'Ax + \varepsilon_p \quad (2.1)$$

$$\eta_s = c_0 + x'c + x'Cx + \varepsilon_s \quad (2.2)$$

şekindedir. Eşitlik (2.1) ve Eşitlik (2.2) ile verilen yanıt yüzeyi modellerinin en küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen tahmin edicileri ise,

$$\hat{\eta}_p = \hat{\alpha}_0 + x'\hat{\alpha} + x'\hat{A}x \quad (2.3)$$

$$\hat{\eta}_s = \hat{c}_0 + x'\hat{c} + x'\hat{C}x \quad (2.4)$$

şekindedir. Burada,  $\hat{\alpha} = (\hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_k)'$  ve  $\hat{c} = (\hat{c}_1, \dots, \hat{c}_k)'$ 'dir.  $\hat{A}$  ve  $\hat{C}$  her iki yanıt modelinin ikinci derece terimlerinin tahmin edilen katsayılarını kapsayan simetrik matrislerdir ve

$$\hat{A} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2\hat{\alpha}_{11} & \cdots & \hat{\alpha}_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\alpha}_{1k} & \cdots & 2\hat{\alpha}_{kk} \end{bmatrix} \text{ ve } \hat{C} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2\hat{c}_{11} & \cdots & \hat{c}_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{c}_{1k} & \cdots & 2\hat{c}_{kk} \end{bmatrix}$$

ile tanımlanmaktadır. Model parametre tahminleri için sabit varyans varsayımı yapılmaktadır ve heterojenik varyansların olabileceği şüphesi durumunda ağırlıklı en küçük kareler yöntemi kullanılması önerilmektedir.

Optimizasyon aşamasında, ikincil yanıtı daha önceden belirlenen bir değere sabitleyerek,  $\hat{\eta}_s = \tau$ , ana yanıt  $\hat{\eta}_p$ 'yi optimize eden  $x \in R$  koşullarını elde etmek amaçlanmaktadır. Burada  $\tau$ , kısıt yanıtına ilişkin önceden belirlenmiş bir hedef değerdir. İkinci kısıt ise,  $R$  deneysel bölgenin tanımlanmasıdır. Eğer  $R$  deneysel bölge kısıtlaması  $r$  yarıçaplı bir hiperküre tarzındaki tasarımları ilgilendiriyorsa,  $x'x = r^2$  şeklinde kısıt tanımlaması yapılmaktadır. Diğer taraftan, kübik tasarımları ilgilendiren kısıt ise,  $-1 \leq x_i \leq 1$ , ( $i = 1, \dots, k$ ) şeklindedir. Vining and Myers (1990) çalışmasında, deneysel bölgeyi hiper küre şeklinde tanımlamıştır. Böylece, iki kısıtlı optimizasyon problemi aşağıdaki gibidir.

$$\text{Amaç fonksiyonu : } \text{Min } \hat{\eta}_p = \hat{\alpha}_0 + x'\hat{\alpha} + x'\hat{A}x$$

$$\text{Kısıtlar : } \hat{\eta}_s = \tau \text{ ve } x'x = r^2$$

İkili yanıt yüzey yaklaşımında ana ve ikincil yanıtların ne olacağına karar verebilmek için, araştırmaya konu olan hedeflerin öncelikle tespit edilmesi gerekmektedir. Bazı durumlarda, ana yanıt “süreç ortalaması” olurken bazı durumlarda ise “süreç standart sapması veya varyansı” olabilmektedir. Süreç ortalaması yanıt yüzey modeli tahmin edicisinin  $\hat{\mu}_Y$  ve süreç standart sapması yanıt yüzey modeli tahmin edicisinin ise  $\hat{\sigma}_Y$  şeklinde tanımlandığı varsayımı altında, Taguchi'nin önerdiği 3 durum için kısıtlı optimizasyon problemleri,

- Hedef en iyi:  $\text{Min } \hat{\sigma}_Y$

$$\text{Kısıtlar: } \hat{\mu}_Y = \mu_0 \text{ ve } x'x = r^2$$

- En büyük en iyi:  $\text{Max } \hat{\mu}_Y$

$$\text{Kısıtlar: } \hat{\sigma}_Y = \sigma_0 \text{ ve } \mathbf{x}'\mathbf{x} = r^2$$

•En küçük en iyi:  $\text{Min } \hat{\mu}_Y$

$$\text{Kısıtlar: } \hat{\sigma}_Y = \sigma_0 \text{ ve } \mathbf{x}'\mathbf{x} = r^2$$

şeklinde olmaktadır (Vining and Myers, 1990; Del Castillo and Montgomery, 1993). Vining and Myers (1990) çalışmalarında, Box (1985) makalesinde yer alan Taguchi'nin kullandığı yöntemlere ilişkin eleştirilerine de cevap vermektedir. Örneğin, Vining and Myers (1990) tarafından tanıtılan ikili yanıt yüzey yaklaşımı;

1. Sıralı araştırmaya izin verir.
2. Etkileşimlerin etkisini yansıtan geniş bir tasarım dizisinin kullanımına izin verir,
3. Analiz için etkin, titiz bir istatistiksel teknik kullanır.
4. Sinyal-gürültü oranının kullanımından kaçınırken ortalama ve varyansı ikili yanıt yüzey yaklaşımı modellemektedir. (Vining and Myers, 1990).

Ayrıca, Vining and Myers (1990), süreç veya ürün kalite karakteristiğinin ortalamasını ve varyansını ayrı ayrı modellediği için kullanıcının hangi faktörlerin ortalamayı öncelikli olarak etkilediğini ve hangi faktörlerin varyansı öncelikli olarak etkilediğini doğrudan görmesine sağladığını belirtmiştir. Del Castillo and Montgomery (1993), Vining and Myers (1990) tarafından önerilen optimizasyon yönteminin değer aralığını kısıtlayıcı olduğunu belirtmişlerdir ve doğrusal olmayan programlama yöntemi kapsamında genelleştirilmiş indirgenmiş gradyan algoritması kullanımını önermişlerdir. Bu yöntemin ikili yanıt yaklaşımına göre daha esnek, kullanımı daha kolay olabileceği ve bazı durumlarda ilgilenilen bölgede daha iyi çözümler sunabileceğini göstermiştir. Örneğin, en küçük-en iyi durumu için optimizasyon problemini

$$\text{Min } \hat{\mu}_Y$$

$$\text{Kısıtlar : } \sigma_{alt} \leq \hat{\sigma}_Y \leq \sigma_{üst} \text{ ve } \mathbf{x}'\mathbf{x} \leq r^2$$

şeklinde önermişlerdir. Burada, standart sapma yanıtı için önceden bir aralık tanımlanmaktadır ve bu aralığın alt ve üst sınırları  $\sigma_{alt}$  ve  $\sigma_{üst}$  ile tanımlanmaktadır. Burada, standart sapma yanıtı için tek taraflı bir eşitsizlik de tanımlanabilmektedir. Böylece, tek bir değer kısıtı yerine, en uygun çözüm kümesini bir aralık kısıtı altında arayan bu problemin araştırmacıya bir esneklik sağladığını iddia etmişlerdir. Ayrıca, deneysel bölge ile ilgili kısıtta da esneklik sağlanması açısından küresel bölge yerine kübik bölgenin seçim ile doğrusal olmayan problemine aktarımı oldukça basit olduğunu ifade etmişlerdir. Lin and Tu (1995), Vining and Myers (1990) tarafından önerilen en küçük en iyi problemdeki standart sapma yanıtına ilişkin kısıt değerini, gerçekte bilinmemesi ve dolayısıyla mümkün olduğunca küçültülmeye çalışılmalıdır gerekçesiyle gerçekçi bulmamışlardır. Hata kareler ortalaması (Mean Square Error, MSE) yöntemine dayanan bir optimizasyon problemi önermişler ve ikili yanıt problemini tek yanıtlı probleme indirgemişlerdir. Önerilen MSE yaklaşımında amaç fonksiyonu,

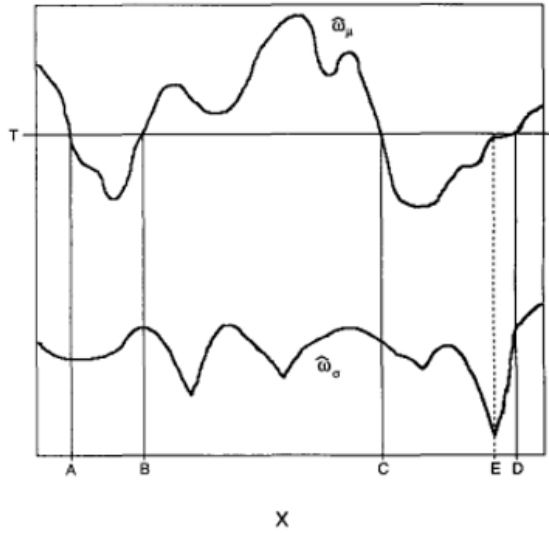
$$MSE = \hat{\sigma}_Y^2 + (\hat{\mu}_Y - \tau)^2$$

şeklinde açıklanmıştır. MSE ifadesi, varyans ve yan bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden,  $\hat{\sigma}_Y$  süreç standart sapmasının yanıt yüzeyi modelinin tahmin edicisi ve  $\hat{\mu}_Y$  süreç ortalaması yanıt yüzeyi modelinin tahmin edicisidir. MSE'yi en küçük yapacak  $\mathbf{x}$  vektörü bulunması önerilmektedir. Önerilen bu yöntem, Vining and Myers (1990)'ın çalışmasında verilen bir örneğe uygulanmıştır ve %25 daha küçük MSE' yi veren çözümler elde edilmiştir.

Lin and Tu (1995), Vining and Mayers (1990) tarafından önerilen yöntemde standart sapma yanıtı ile ilgili kısıtın gerçekte bilinmediği sabit bir değere eşitlenmesi nedeniyle gerçekçi bulmamışlardır ve bu yöntemin en uygun çözüm kümesinin göz ardı edilmesine sebep olabileceğini belirtmişlerdir. Vining and Mayers (1990)'ın Lagrangian çarpanı aracılığıyla optimizasyon yöntemine alternatif olarak hata kareler ortalaması yöntemine dayanan bir optimizasyon problemi önermişlerdir:

$$HKO = (\hat{\mu}_Y - \tau)^2 + \hat{\sigma}_Y^2$$

MSE ifadesinde,  $\hat{\sigma}_Y$  süreç standart sapmasının yanıt yüzeyi modelinin tahmin edicisi ve  $\hat{\mu}_Y$  süreç ortalaması yanıt yüzeyi modelinin tahmin edicisidir. MSE'yi en küçük yapacak  $\mathbf{x}$  vektörü bulunması önerilmektedir. Önerilen bu yöntem, Vining and Myers (1990)'ın çalışmasında verilen bir örneğe uygulanmıştır ve %25 daha küçük MSE'yi veren çözümler elde edilmiştir. Lin and Tu (1995) tarafından önerilen optimizasyon problemi prosedürünü, hedef en iyi durumu için Şekil 2.2' de açıklanmıştır.



Şekil 2.2 MSE dayalı optimizasyon

Şekil 2.2 incelendiğinde, Vining and Myers (1990)'a göre  $\hat{\mu}_Y = \tau$  olması ve  $\hat{\sigma}_Y$ 'nin en küçük olması amaçlanmaktadır.  $\hat{\mu}_Y = \tau$  kısıtı bu amacı dört nokta (A,B,C,D) karşılamaktadır. Bunlar arasında, A noktası minimum  $\hat{\sigma}_Y$ 'ye sahiptir ve bu nedenle Vining and Myers (1990) tarafından önerilen yöntemle göre A noktası optimum çözüm kümesinin sağlandığı noktadır. Lin and Tu (1995)'nin önerdikleri MSE'ye dayalı optimizasyon yöntemi açısından  $\hat{\mu}_Y$  ve  $\hat{\sigma}_Y$ 'nin davranışları incelendiğinde, E noktasının A noktasından daha iyi bir seçim olduğu ifade edilmektedir. Lin ve Tu (1995) önerdikleri optimizasyon yöntemi ile, süreç ortalamasının hedef değerden makul bir sapmasına izin verilerek daha küçük varyans ile en iyi çözüm kümesinin elde edilmesinin mümkün olabileceğini göstermektedir.

Copeland and Nelson (1996) tarafından yapılan çalışmada, Lin and Tu (1995) tarafından önerilen MSE yöntemini ele almışlar ve MSE yaklaşımının optimizasyon aşamasında yanlılığı ortadan kaldırmak amacıyla ortalama yanıtın hedef değerden sapmasına ilişkin kullanıcı tarafından bir üst sınır ( $\Delta$ ) getirilmesini önermişlerdir. Bu yöntemde,  $(\hat{\mu}_Y - \tau)^2 \leq \Delta^2$  şeklinde bir kısıt altında en uygun çözüm kümesinin elde edilmesini önermişlerdir. Burada önemli olan araştırmacı tarafından  $\Delta$  değerinin belirlenmesi yani ne kadarlık yanlılığın göz ardı edileceğine karar verilmesidir.

Koksoy ve Doganaksoy (2003) tarafından yapılan çalışmada ise ikincil yanıt için kabul edilebilir bir değer normalde bilinmediğinden, bu tür kısıtlamaların daha iyi çalışma koşullarını ortadan kaldırdığına belirtmiş ve çözümün daha esnek bir formülasyona dayalı olması gerektiğini vurgulamışlardır. Koksoy ve Doganaksoy (2003) tarafından ikili yanıt yüzeyi yaklaşımını kullanarak süreç ortalama ve standart sapmasının birlikte optimizasyonu yaklaşımı tanıtılmıştır. Önerilen yöntemde, en küçük (büyük) en iyi durumu için, ortalama ve standart sapma yanıt yüzeyi modellerinin tahmin edicilerinin aynı anda ve birlikte minimize (maksimize) edilmesi önerilmiştir. Bu problemlerin çözümünde ise doğrusal olmayan optimizasyon algoritmasının kullanımı önerilmiştir ve çalışmalarında NIMBUS yazılımını (Miettinen, 1999) kullanmışlardır. NIMBUS algoritması, standart çok amaçlı programlamaya dayanır ve otomatik olarak bir dizi Pareto optimal çözümü üretir. Ayrıca, önerilen yöntemin en küçük en iyi ve en büyük en iyi durumları için doğrudan uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. Ancak hedef en iyi durumu için diğer durumlardan elde edilen bir çözümden iterasyon yaparak bulunabileceğini ya da Del Castillo and Montgomery (1993) veya Copeland and Nelson'ın (1996) yaklaşımları kullanılarak hedef en iyi durumu için çözülebilir olduğunu belirtmektedirler. Ortalama yanıt fonksiyonun değerinde ise önceden belirlenmiş bir kısıt olduğunu ve bu nedenle eşzamanlı optimizasyonun gerekli olmadığını belirtmişlerdir (Koksoy ve Doganaksoy, 2003).

Yanıt yüzeyi yaklaşımı, deneysel verilerin normal dağıldığını ve verilerde önemli bir kirlilik olmadığını varsayarak, süreç ortalaması ve varyansı için yeterli yanıt modellerini elde etmek için en küçük kareler yöntemini kullanır. Ancak çoğu

zaman, bu varsayımlar gerçek dünyadaki endüstriyel problemin modellenmesinde geçerli olmayabilir. Özellikle, birçok mühendislik probleminde olduğu gibi, örneklem boyutu küçük olduğunda, süreç ortalaması ve varyansı için uygun yanıt yüzeyi modellerinin tahminleri bu varsayımlara çok duyarlıdır. Başka bir deyişle, bu varsayımlardan en az biri ciddi bir şekilde ihlal edilirse, kontrol faktörlerinin optimum çalışma koşulları, aslında aradığımız gerçek optimum koşullardan çok uzakta olabilir (Park and Cho, 2003).

Normal olmayan veriler, dayanıklı parametre tasarımı uygulamalarında yaygın bir olgudur. Bazı endüstriyel alanlarda, Poisson (sayım verileri), üstel/gama (arızaya kadar geçen süre verileri) veya Bernoulli (kusurlu/kusurlu olmayan veriler) gibi dağılımlarla karşılaşılabılır. Dayanıklı parametre tasarımı uygulamalarında normal olmayan verilerin yaygın olduğu gerçeği, kullanıcıların modelleme aşamasında verilerin temeldeki dağılım biçimini görmezden gelmeleri ve safça normal teori tekniklerini kullanmaları durumu ortaya çıkabilmektedir. Bu naif yaklaşım, süreç ortalamasının ve varyansının yanlı tahminleriyle sonuçlanır ve dolayısıyla optimal çalışma koşullarının zayıf tahminine yol açar. Daha da önemlisi, bu önyargılı tahminler, sonuçta kalitesiz olarak nitelendirilen bir süreçte yol açabilir (Zeybek et al., 2020).

Normallik varsayımı karşılanmadığında, ilk olarak parametrik olmayan bir yaklaşım veya logaritma ve Box-Cox dönüşümleri gibi bir veri dönüştürme tekniği kullanılması akla gelmektedir. Ancak, bu yaklaşımların normal bir varsayım için tatmin edici bir düzeye ulaşacağına garanti yoktur. Kirlenmiş (contaminated) veriler olduğunda, bunun nedeni gözlemlerin bir hatadan veya diğer dış etkilere kaynaklandığı şeklinde olabilir ve dolayısıyla atılması gerektiği düşünülür. Verideki bu gözlemlerin atılmasının başlıca nedeni, en küçük kareler yöntemi altında, ortalamadan sapmaların kareler toplamı en aza indirildiğinden, uygun bir fonksiyonun orantısız bir şekilde dışarıdaki bir gözleme doğru çekilmesidir. Bununla birlikte, kirlenmiş veriler gerçekten bir hatadan veya başka bir dış nedenden kaynaklanmışsa, bu yanıltıcı bir uyuma neden olabilir. Öte yandan, kirlenmiş veriler önemli bilgiler içerebilir. Örneğin, başka bir bağımsız değişkenle etkileşim nedeniyle ortaya çıkabilirler (Park and Cho, 2003). Bu nedenle, normallik varsayımlarının karşılanmadığı durumlarda, optimum çalışma koşullarının doğru

bir şekilde elde edilebilmesi için farklı bir yaklaşımların geliştirilmesi fikri ortaya çıkmış ve literatürde oldukça yankı uyandırmıştır.

İkili yanıt yüzey probleminde, yanıtların modellenmesi aşamasında süreç ortalama ve varyansını modellemek için Vining and Myers (1990) tarafından örneklem ortalaması ve varyansı nokta tahmin edicilerinin kullanımı önerilmektedir. Tek kalite karakteristiğine,  $y$ , etki eden  $k$  tane kontrol edilebilir faktörün,  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , olduğu ve deneyin her deney noktasında  $r$  kez tekrarlandığı varsayımı yapıldığında,  $i$ . deneme noktasındaki ilgili kalite karakteristiğinin ortalama ve standart sapma nokta tahmin edicileri Eşitlik (2.6) ve (2.7)' de verilmiştir.

$$\bar{y}_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r y_{ij} \quad (2.6)$$

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (y_{ij} - \bar{y}_i)^2} \quad (2.7)$$

Genel olarak, ortalama ve standart sapma yanıt yüzey modelleri Eşitlik (2.8) ve Eşitlik (2.9)' de verildiği gibi oluşturulmaktadır.

$$\hat{\mu}(x) = \hat{\gamma}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\gamma}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\gamma}_{ii} x_i^2 + \sum_{i<t}^k \sum \hat{\gamma}_{it} x_i x_t \quad (2.8)$$

$$\hat{\sigma}(x) = \hat{\delta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i<t}^k \sum \hat{\delta}_{it} x_i x_t \quad (2.9)$$

Burada,  $\hat{\gamma} = (X'X)^{-1}X'w_\mu$  ve  $\hat{\delta} = (X'X)^{-1}X'w_\sigma$ . Ortalama ve standart sapma vektörleri,  $w_\mu = (\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_n)'$  ve  $w_\sigma = (s_1, s_2, \dots, s_n)'$ , Eşitlik (2.6) ve (2.7)' den elde edilmektedir.  $X$  ise, dizayn matrisini göstermektedir.

Ancak, Eşitlik (2.6) ve (2.7)' de verilen bu tahmin ediciler normal dağılım altında etkilidir ama normallikten sapmalara karşı dirençsizdir (Lee et al., 2007). Ayrıca, temel veri dağılımı hakkında gerçekçi olmayan varsayımlar altında elde edilen modelleme sonuçları, sistem kalitesinin iyileştirilmesi söz konusu olduğunda uygulayıcıları yanlış yönlendirebilir. İkili yanıt yüzey modellemesi aşamasında, normallik sapan bir dağılım gösteren deneysel veriler için klasik normal teori modelleme tekniklerinin kullanılması, yanıltıcı bir uyum ve potansiyel olarak gerçek optimal değerlerden uzak olan tahmini optimal çalışma koşullarının elde edilmesi gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Ayrıca, uygun olmayan modelleme yöntemlerinin kullanılması, üretim aşamasında bir bozulma zinciri oluşturabilir ve ardından düşük sistem performansına neden olabilir. (Zeybek et al., 2020).

Park and Cho (2003)'de normallik varsayımı sağlanmadığı durumlar üzerinde çalışmışlardır. Deney tasarımından elde edilen yanıtların dağılımı normal dağılıma uygunluk göstermiyorlarsa veya kirlenmiş bir veri söz konusu ise, normallik teorisine uygun süreç ortalaması yerine medyan, süreç standart sapması yerine ise medyan mutlak sapma veya çeyrekler açıklığı kullanılarak nokta tahminlerinin yapılmasını ve bu tahminler üzerinden yanıtların modellenmesini önermişlerdir. Çalışmalarında, önerilen tahmin edicilerin hem simülasyon çalışmasında hem de bir durum çalışmasında uygulamasına yer vermişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, kirlenmiş bir veri söz konusu olduğunda, ortalama ve varyans yanıt yüzey modellerinin oluşturulmasında örneklem ortalaması ve varyansı tahmin edicileri (Eşitlik (2.6) ve Eşitlik (2.7)) kullanıldığında, bu tahmin ediciler kirlenmiş veri noktalarında aşırı bir hassaslık göstermekte ve tahminlerin yanlılık miktarı artmaktadır. Yanıtların modellenmesi aşamasında, medyan, medyan mutlak sapma veya çeyrekler açıklığı gibi dayanıklı tahmin edicilerin kullanılmasını önererek, normallikten sapmalara karşı dirençli bir tasarım modeli oluşturduklarını iddia etmişlerdir.

Lee et al. (2007)' deki çalışmasında, Park and Cho (2003)' de önerilen bu dayanıklı tahmin edicilerin normal dağılım altında verimli olmadığını belirtmiştir. Hem normal dağılım altında hem de normallikten sapmalara karşı dayanıklı ve normal dağılım altında etkin regresyon yöntemlerini tanıtarak, modelleme ve optimizasyonu bu regresyon modellerine göre yapılabileceğini belirtmektedir.

Boylan and Cho (2013), ortalama yanıtta yanlılığı ve değişkenliği en aza indirme açısından geleneksel yöntemlerden daha iyi performans gösteren modeller geliştirdiklerini belirtmektedirler. Önerilen modelleri Monte Carlo simülasyonları kullanarak geleneksel yaklaşımla karşılaştırmışlardır. Simülasyon sonuçları yüksek değişkenlik altında, medyan tahmin edicisine dayalı yaklaşımları içeren tahmincilerin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Düşük değişkenlik altında ise, örneklem sayısı arttıkça geleneksel yöntemin performansının önemli ölçüde artacağını belirtmektedirler.

Koksoy ve Zeybek (2018), daha dayanıklı parametre tasarım çözümleri elde etmek için normallikten herhangi bir sapma olması durumunda yanlılığı ve değişkenliği en aza indirme açısından geleneksel yaklaşımdan daha iyi performans gösteren W24 ve BS82 tahmin edicilerini önermişlerdir. Literatürde en çok kullanılan baskı süreci veri seti kullanılıp, diğer tahmin ediciler ile karşılaştırmışlardır. Geleneksel yaklaşıma göre, bu dayanıklı tahmin edicilerinin kullanılmasının daha etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Zeybek (2019), popüler bir örnek olan baskı süreci çalışması üzerinde, deneysel verilerin çarpık bir dağılıma sahip olduğu durumu dikkate almakta ve mevcut yaklaşımlara bir alternatif önermektedir. Verilerin çarpıklık bilgisini kullanarak verilerin medyanını ortalama için yansız hale getiren güven aralığının orta noktası üzerine kurmuştur. Aralığın orta noktasını, sürecin konum performansının bir ölçüsü olarak kullanmıştır. Bu yaklaşımın temel avantajı, veri dağılımının çarpık olduğu bilindiği için dayanıklı sonuç vermesidir.

Zeybek (2020), süreç ortalaması için güven aralığına dayalı yeni bir modelleme yaklaşımı sunmuştur. Önerilen yaklaşımda güven aralığının alt ve üst sınırını ayrı ayrı modelleyip, orta noktasını konum performans ölçüsü olarak kullanmıştır. Varyansı ise normalliğin karşılanmadığı durumlarda hem dayanıklı hem de sağlam etkinliğe (robust of efficiency) sahip çift ağırlıklı ortalama varyans kullanılmasını önermiştir. Önerilen yaklaşımın iki popüler veri seti ile uygulamasına yer verilmiştir. Önerilen modelde baskı süreci veri setinde hedef en iyi durumu için en küçük hata kareler ortalamasına sahipken, kirlenmiş veri setinde en büyük en iyi durumu için en büyük ortalamaı sağladığı belirtilmiştir.

Zeybek, Köksoy ve Robinson (2020)' de ise, "Gamma Robust Design" olarak adlandıkları bir kalite geliştirme yaklaşımı önermişlerdir. Önerdikleri yöntemde, gamma dağılımına sahip deneysel verileri için, gama tahmin edicilerine dayalı ikili yanıt yüzey yaklaşımı tasarlamışlardır.



### 3. ÖNERİLEN YAKLAŞIM: GÜVEN ARALIKLARINA DAYALI İKİLİ YANIT YÜZEY YAKLAŞIMLARI

Tez çalışmasının bu bölümünde, deneysel verinin normallik varsayımlarını karşılamadığı veya kirlenmiş veri dağılımına sahip olduğu durumlar için, dayanıklı güven aralıklarına dayalı ikili yanıt yüzey yaklaşımı önerilmiştir. Bölüm 3.1’ de, önerilen yöntemde kullanılan dayanıklı güven aralıklarından bahsedilmiştir. Bu bölümde, Abu-Shawiesh ve Saghir (2020) tarafından kitle ortalaması için önerilen üç yeni dayanıklı güven aralığına yer verilmiştir:  $MAD - t$  güven aralığı,  $S_{n-t}$  güven aralığı,  $Q_{n-t}$  güven aralığı. Bölüm 3.2’ de ise 3.1’ de verilen üç dayanıklı güven aralığı formülasyonlarının yanıt yüzey metodoloji ile modellenmesine dayalı yeni bir ikili yanıt yüzey yöntemleri önerilmektedir.

#### 3.1 Kitle Ortalaması için Dayanıklı Güven Aralıkları

İstatistiksel çıkarımda, kitle standart sapması ( $\sigma$ ) bilinmiyorsa, kitle ortalaması ( $\mu$ ) hakkında herhangi bir çıkarım yapmak için Student-t dağılımı kullanılır.  $x_1, x_1, \dots, x_n$  rasgele örneklemin, kitle ortalaması ( $\mu$ ) ve bilinmeyen kitle varyansı ( $\sigma^2$ ) ile normal dağılıma uygunluk gösterdiğini varsayalım.

$x_1, x_1, \dots, x_n \sim N(\mu, \sigma^2)$  ise, kitle ortalaması ( $\mu$ ) için  $(1 - \alpha)\%100$  Student - t güven aralığı aşağıdaki gibi oluşturulabilir:

$$CI = \bar{X} \pm t_{(\frac{\alpha}{2}, n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.1)$$

Burada,

$$\bar{X} = n^{-1} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.2)$$

örneklem ortalaması,

$$s = \sqrt{(n - 1)^{-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (3.3)$$

ise örneklem standart sapmasıdır.

*Student – t* güven aralığı ile ilgili iki sorun vardır. İlk olarak, *Student – t* dağılımı simetriktir ve normallik varsayımına dayanmaktadır. Bu nedenle,  $\mu$  için  $(1 - \alpha)\%100$  güven aralığı da normallik varsayımına dayanmaktadır. Ancak, normallik varsayımı gerçekte karşılanmamaktadır. İkinci olarak, *Student – t* güven aralığının oluşturulmasında örneklem standart sapması ( $s$ ) kullanılmasıyla ilgilidir.  $s$  tahmin edicisi aykırı değerlere ve/veya normallik varsayımından sapmaya karşı çok hassastır. Bu durumda,  $\mu$  için bir güven aralığı geliştirmek için sağlam bir ölçek tahmincisi gereklidir. Rousseeuw and Croux (1993), örnek medyandan medyan mutlak sapmaya (MAD) alternatif olarak  $S_n$  ve  $Q_n$  olmak üzere iki dayanıklı ölçek tahmincisi önermiştir.

$x_1, x_2, \dots, x_n$ , ortalaması  $\mu$  ve standart sapması  $\sigma$  olan herhangi bir aynı dağılımdan alınan  $n$  büyüklüğünde rastgele bir örneklem olsun. MAD şu şekilde tanımlanır:

$$MAD = MD\{|X_i - MD|\}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.4)$$

Burada MD, aykırı değerlere karşı çok duyarsız olan ve maksimum %50 kırılma noktasına sahip olan örneklem medyanıdır (Rousseeuw ve Croux, 1993).  $bMAD$  istatistiği, Rousseeuw ve Croux (1993) tarafından verildiği gibi  $b = 1.4826$  olmak üzere  $\sigma$ 'nın yansız bir tahmincisidir. Ayrıca, MD, örneklem ortalamasından ( $\bar{x}$ ) daha dayanıklı bir konum tahmincisidir. MAD, %50 olan mümkün olan en yüksek kırılma noktasına sahiptir ve bunun etki fonksiyonu sınırlıdır ancak düzgün değildir. MAD, normal dağılım için %37 etkinliğe sahiptir (Rousseeuw ve Croux, 1993).

Abu-Shawiesh, Saghir (2020) tarafından, Eşitlik (3.1)' de verilen klasik Student-t güven aralığının bir modifikasyonu olan kitle ortalaması  $\mu$  için  $(1 - \alpha)\%100$  MAD-t güven aralığı,

$$CI = MD \pm t_{\left(\frac{\alpha}{2}, n-1\right)} \frac{bMAD}{\sqrt{n}} \quad (3.5)$$

şeklindedir. Burada, MAD, Eşitlik (3.4)' de tanımlanmıştır.

$x_1, x_1, \dots, x_n$ , ortalaması  $\mu$  ve standart sapması  $\sigma$  olan herhangi bir aynı dağılımdan alınan  $n$  büyüklüğünde rastgele bir örneklem olsun.  $S_n$  dayanıklı ölçek tahmincisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$S_n = MD_i\{MD_j|X_i - X_j|\}; \quad i = 1,2,3, \dots, n; j = 1,2,3, \dots, n \quad (3.6)$$

$cS_n$  istatistiği,  $\sigma$ 'nın yansız bir tahmincisidir, burada  $c = 1.1926$  tutarlılık için bir faktördür (Rousseeuw and Croux, 1993).  $S_n$  tahmin edicisi için önemli dayanıklılık özellikleri, aynı zamanda %50 olan mümkün olan en yüksek kırılma noktasına sahip olması ve etki fonksiyonunun da sınırlı olması şeklinde sıralanabilir (Rousseeuw and Croux, 1993). Ayrıca, normal dağılım durumunda, medyan mutlak sapmayla kıyaslandığında, %58.23 daha etkinlik göstermektedir. Abu-Shawiesh, Saghir (2020) tarafından, Eşitlik (3.1)' de verilen klasik Student-t güven aralığının bir modifikasyonu olan kitle ortalaması  $\mu$  için  $(1 - \alpha)\%100$   $S_n$  -t güven aralığı,

$$CI = MD^+ t_{\left(\frac{\alpha}{2}, n-1\right)} \frac{cS_n}{\sqrt{n}} \quad (3.7)$$

şeklindedir. Burada,  $S_n$ , Eşitlik (3.6)' da tanımlanmıştır.

$x_1, x_1, \dots, x_n$ , ortalaması  $\mu$  ve standart sapması  $\sigma$  olan herhangi bir aynı dağılımdan alınan  $n$  büyüklüğünde rastgele bir örneklem olsun.  $Q_n$  dayanıklı ölçek tahmincisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$Q_n = MD\{|X_i - X_j|; i < j\}_{(g)}; \quad i = 1,2,3, \dots, n; j = 1,2,3, \dots, n \quad (3.8)$$

Burada,

$$g = \binom{h}{2} = \frac{h(h-1)}{2} \text{ ve } h = \left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil + 1$$

şeklinde.  $dQ_n$  istatistiği,  $\sigma$  için yansız bir tahmin edicidir ve  $d = 2.2219$  faktörü tutarlılık katsayısıdır. (Rousseeuw and Croux, 1993).

Abu-Shawiesh, Saghir (2020) tarafından, Eşitlik (3.1)' de verilen klasik Student-t güven aralığının bir modifikasyonu olan kitle ortalaması  $\mu$  için  $(1 - \alpha)\%100$   $Q_n$  -t güven aralığı,

$$CI = MD \pm t_{(\frac{\alpha}{2}, n-1)} \frac{dQ_n}{\sqrt{n}} \quad (3.9)$$

şeklinde. Burada,  $Q_n$ , Eşitlik (3.7)' de tanımlanmıştır.

### 3.2 Önerilen İkili Yanıt Yüzey Yaklaşımı

Bu bölümde, normal olmayan veya normallikten sapmış deneysel veri için, dayanıklı güven aralığı yanıt yüzey modellemesine dayalı kalite geliştirme yaklaşımları sunulmaktadır.

Önerilen yaklaşımlarda, Eşitlik (3.5)-(3.7) ve (3.9) ile verilen  $MAD - t$ ,  $S_n - t$  ve  $Q_n - t$  dayanıklı güven aralıklarının alt ve üst sınırları yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak modellenmiştir ve yanıt yüzeyleri tahmin edilen alt ve üst sınırları sırasıyla  $\widehat{AS}(x)$  ve  $\widehat{US}(x)$  şeklinde ifade edilmiştir.

Optimizasyon aşamasında ise, konum performans yanıtının bir ölçüsü olarak tahmin edilen aralığın orta noktası kullanılmıştır. Zeybek (2020), güven aralığın orta noktasını, konum performans yanıtının bir ölçüsü olarak kullanmayı önermiştir, bu tez çalışmasında da Zeybek (2020) çalışması temel alınmıştır. Süreç varyansı için ise, yanıt yüzey modeli için normallikten sapmalara karşı dayanıklı olan ve Eşitlik (3.4)-(3.6)-(3.8)  $MAD$ ,  $S_n$  ve  $Q_n$  tahmin edicileri kullanılmıştır. Böylece, üç farklı dayanıklı tahmin edici kullanılarak elde edilen güven aralıklarına dayalı kalite geliştirme yaklaşımları önerilmektedir. Performansları ise Bölüm 4' de verilen uygulamalar üzerinde tartışılmıştır.

### 3.2.1 *MAD – t* Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı

Tek kalite karakteristiğine,  $y$ , etki eden  $k$  tane kontrol edilebilir faktörün,  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , olduğu ve deneyin her deney noktasında ( $n$  tane deney noktası olduğu varsayımı altında)  $r$  kez tekrarlandığı varsayımı yapıldığında, Eşitlik (3.5) ile verilen kitle ortalaması  $\mu$  için  $(1 - \alpha)\%100$  *MAD – t* güven aralığının alt ve üst sınırlarının ikinci dereceden yanıt yüzey modelinin önerilen tahmin edicisi aşağıda verilmiştir:

$$\widehat{AS}(x) = \hat{\alpha}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\alpha}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\alpha}_{ii} x_i^2 + \sum_{i < t}^k \sum \hat{\alpha}_{it} x_i x_t \quad (3.10)$$

$$\widehat{ÜS}(x) = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i < t}^k \sum \hat{\beta}_{it} x_i x_t \quad (3.11)$$

şeklindedir. Burada,  $\hat{\alpha} = (X'X)^{-1}X'w_{AS}$  ve  $\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'w_{ÜS}$  şeklinde elde edilir.  $w_{AS} = (MADCI^-_1, MADCI^-_2, \dots, MADCI^-_n)'$  ve  $w_{ÜS} = (MADCI^+_1, MADCI^+_2, \dots, MADCI^+_n)'$  vektörleri Eşitlik (3.5)'den aşağıdaki gibi elde edilir:

$$MADCI^-_i = MD_i - t_{\left(\frac{\alpha}{2}, n_i - 1\right)} \frac{bMAD_i}{\sqrt{n_i}} \quad (3.12)$$

$$MADCI^+_i = MD_i + t_{\left(\frac{\alpha}{2}, n_i - 1\right)} \frac{bMAD_i}{\sqrt{n_i}} \quad (3.13)$$

$X$  ise tasarım matrisini ifade etmektedir.

Eşitlik (3.10) ve (3.11) göz önüne alındığında, ortalama yanıt yüzeyinin tahmin edilen modeli ise aşağıdaki gibidir:

$$\hat{\mu}_x = \frac{\widehat{AS}(x) + \widehat{ÜS}(x)}{2} \quad (3.14)$$

Standart sapma yanıtın ise önerilen ikinci dereceden yanıt yüzey modelinin tahmin edicisi ise,

$$\hat{\sigma}_x = \hat{\delta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i<t}^k \sum \hat{\delta}_{it} x_i x_t \quad (3.15)$$

şeklinde dir. Burada  $\hat{\delta} = (X'X)^{-1}X'w_\sigma$  ile tanımlanmaktadır.  $w_\sigma$  ise Eşitlik (3.4) ile tanımlanan  $bMAD$  ( $b = 1.4826$ ) tahmin edicisi kullanılarak elde edilir ve  $w_\sigma = (bMAD_1, bMAD_2, \dots, bMAD_n)'$ .  $X$  tasarım matrisini ifade etmektedir.

### 3.2.2 $S_n - t$ Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı

Kitle ortalaması  $\mu$  için  $(1 - \alpha)\%100$   $S_n - t$  güven aralığının alt ve üst sınırlarının ikinci derece yanıt yüzey modelinin tahmin edicisi aşağıda verilmiştir.

$$\widehat{AS}(x) = \hat{\alpha}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\alpha}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\alpha}_{ii} x_i^2 + \sum_{i<t}^k \sum \hat{\alpha}_{it} x_i x_t \quad (3.16)$$

ve

$$\widehat{US}(x) = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i<t}^k \sum \hat{\beta}_{it} x_i x_t \quad (3.17)$$

şeklinde dir. Burada,  $\hat{\alpha} = (X'X)^{-1}X'w_{AS}$  ve  $\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'w_{US}$  şeklinde elde edilir.  $w_{AS} = (S_n CI^-_1, S_n CI^-_2, \dots, S_n CI^-_n)'$  ve  $w_{US} = (S_n CI^+_1, S_n CI^+_2, \dots, S_n CI^+_n)'$  vektörleri Eşitlik (3.7)'den aşağıdaki gibi elde edilir:

$$S_n CI^-_i = MD_i - t_{\left(\frac{\alpha}{2}, n_i - 1\right)} \frac{c S_{n_i}}{\sqrt{n_i}} \quad (3.18)$$

$$S_n CI^+_i = MD_i + t_{\left(\frac{\alpha}{2}, n_i - 1\right)} \frac{c S_{n_i}}{\sqrt{n_i}} \quad (3.19)$$

Eşitlik (3.16) ve (3.17) göz önüne alındığında, ortalama yanıt yüzeyinin tahmin edilen modeli ise aşağıdaki gibidir:

$$\hat{\mu}_x = \frac{\widehat{AS}(x) + \widehat{US}(x)}{2} \quad (3.20)$$

Standart sapma yanıtın ise önerilen ikinci dereceden yanıt yüzey modelinin tahmin edicisi ise,

$$\hat{\sigma}_x = \hat{\delta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i<t}^k \sum \hat{\delta}_{it} x_i x_t \quad (3.21)$$

şeklindedir. Burada  $\hat{\delta} = (X'X)^{-1}X'w_\sigma$  ile tanımlanmaktadır.  $w_\sigma$  ise Eşitlik (3.6) ile tanımlanan  $cS_n$  ( $c = 1.1962$ ) tahmin edicisi kullanılarak elde edilir,  $w_\sigma = (cS_{n_1}, cS_{n_2}, \dots, cS_{n_n})'$ .

### 3.2.3 $Q_n - t$ Dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzeyi yaklaşımı

Kitle ortalaması  $\mu$  için  $(1 - \alpha)\%100$   $Q_n - t$  güven aralığının alt ve üst sınırlarının ikinci derece yanıt yüzey modelinin tahmin edicisi aşağıda verilmiştir.

$$\widehat{AS}(x) = \hat{\alpha}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\alpha}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\alpha}_{ii} x_i^2 + \sum_{i<t}^k \sum \hat{\alpha}_{it} x_i x_t \quad (3.22)$$

$$\widehat{US}(x) = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i<t}^k \sum \hat{\beta}_{it} x_i x_t \quad (3.23)$$

şeklindedir. Burada,  $\hat{\alpha} = (X'X)^{-1}X'w_{AS}$  ve  $\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'w_{US}$  şeklinde elde edilir.  $w_{AS} = (Q_n CI^-_1, Q_n CI^-_2, \dots, Q_n CI^-_n)'$  ve  $w_{US} = (Q_n CI^+_1, Q_n CI^+_2, \dots, Q_n CI^+_n)'$  vektörleri Eşitlik (3.9)'dan aşağıdaki gibi elde edilir:

$$Q_n CI^-_i = MD_i - t_{(\frac{\alpha}{2}, n_i-1)} \frac{dQ_{n_i}}{\sqrt{n_i}} \quad (3.24)$$

$$Q_n CI^+_i = MD_i + t_{(\frac{\alpha}{2}, n_i-1)} \frac{dQ_{n_i}}{\sqrt{n_i}} \quad (3.25)$$

Eşitlik (3.22) ve (3.23) göz önüne alındığında, ortalama yanıt yüzeyinin tahmin edilen modeli ise aşağıdaki gibidir:

$$\hat{\mu}_x = \frac{\widehat{AS}(x) + \widehat{US}(x)}{2} \quad (3.26)$$

Standart sapma yanıtın ise önerilen ikinci dereceden yanıt yüzey modelinin tahmin edicisi ise,

$$\hat{\sigma}_x = \hat{\delta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\delta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i < t}^k \sum \hat{\delta}_{it} x_i x_t \quad (3.27)$$

şeklinde. Burada  $\hat{\delta} = (X'X)^{-1}X'w_\sigma$  ile tanımlanmaktadır.  $w_\sigma$  ise Eşitlik (3.8) ile tanımlanan  $dQ_n$  ( $d = 2.2219$ ) tahmin edicisi kullanılarak elde edilir,  $w_\sigma = (dQ_{n_1}, dQ_{n_2}, \dots, dQ_{n_n})'$ .

Önerilen optimizasyon yaklaşımları, Dayanıklı parametre tasarımının (Robust Parameter Design, RPD) hedef en iyi (NTB) ve en büyük en iyi (LTB) olmak üzere iki temel duruma uyarlanarak oluşturulmuştur.

$$\text{NTB durumu için: } \text{Min } \hat{\sigma}(x), \hat{\mu}(x) = \tau \quad (3.28)$$

$$\text{LTB durumu için: } \text{Max } \widehat{UE}(x), \hat{\sigma} \leq \sigma_0 \quad (3.29)$$

Burada  $\tau$ , önceden tanımlanmış süreç hedefini temsil eder,  $\sigma_0$  ise arzu edilen sistem değişkenliğidir.

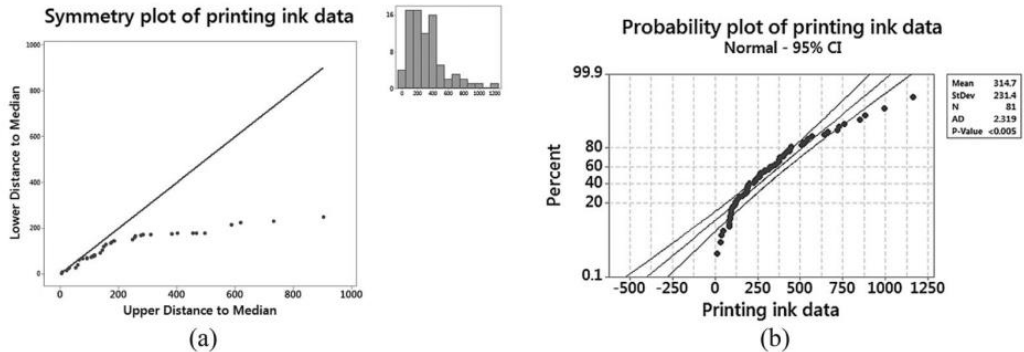
## 4. UYGULAMA

Bu bölümde, önerilen yaklaşımlar farklı özelliklere sahip iki farklı deneysel tasarım örneğine uygulanmıştır. İlki, sağa çarpık bir dağılımı izleyen baskı süreci deneyidir, ikincisi ise Park and Cho (2003) tarafından literatüre sunulan ve kirlenmiş veri içeren bir deney çalışmasıdır. Bu iki çalışma üzerinde önerilen yöntem uygulanmış elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

### 4.1 Baskı Süreci Deneyi

İlk olarak Box and Draper (1987) tarafından kullanılan ve daha sonra literatürde araştırmacılar tarafından sıklıkla başvuru alan baskı süreci deneyi bu bölümde ele alınmıştır. Deneyin amacı, bir baskı makinesinin renklendirme kalitesine etki eden hız ( $x_1$ ), basınç ( $x_2$ ) ve mesafe ( $x_3$ ) faktörlerinin optimal düzeylerini belirlemektir. Deneyde, üç tekrarlı merkezi birleşik tasarım kullanılmıştır, bkz. Tablo 4.1. Süreç hedefi ( $\tau$ ) = 500 dür.

Veri dağılımının şeklini incelemek amacıyla grafiksel gösterimleri elde edilmiştir, bkz. Şekil 4.1. Baskı işlemi verilerinin simetrik bir şekle sahip olmadığı ve bu nedenle normal teori kullanılarak modellenmemesi gerektiği açıktır. Ayrıca, Anderson-Darling testi için p değeri ( $p$  değeri  $< 0,05$ ) (verilerin normal bir dağılım izlediğine dair sıfır hipotezi), bu verilerin normal bir dağılımdan önemli ölçüde saptığını göstermektedir.



Şekil 4.1 Baskı Süreci Çalışması Dağılımı

**Tablo 4.1** Baskı Çalışması Verileri

i	x1	x2	x3	y1	y2	y3	MAD	MADCI <sup>-</sup>	MADCI <sup>+</sup>	Sn	Sn CI-	Sn CI+	Qn	Qn CI-	Qn CI+
1	-1	-1	-1	34	10	28	8,9	5,9	50,1	13,2	-4,9	60,9	13,2	-4,9	60,9
2	0	-1	-1	115	116	130	1,5	112,3	119,7	2,2	110,5	121,4	2,2	110,5	121,4
3	1	-1	-1	192	186	263	8,9	169,9	214,1	13,2	159,1	224,9	13,2	159,1	224,9
4	-1	0	-1	82	87,99	88,01	0,02	87,9	88,06	0,01	87,9	88,1	0,04	87,9	88,1
5	0	0	-1	44	178	188	148,8	141,2	214,8	22,1	123,2	232,8	22,1	123,2	232,8
6	1	0	-1	322	349,9	350,0	0,02	349,9	350,1	0,04	349,9	350,1	0,04	349,9	350,1
7	-1	1	-1	141	110	86	35,6	21,6	198,4	52,9	-21,6	241,6	52,9	-21,5	241,5
8	0	1	-1	258,9	251	259,0 1	0,02	258,9	259,1	0,04	258,9	259,1	0,04	258,9	259,1
9	1	1	-1	290	280	245	14,8	243,2	316,8	22,1	225,2	334,8	22,1	225,2	334,8
10	-1	-1	0	81	80,9	81,01	0,01	80,9	81,03	0,02	80,9	81,1	0,02	80,9	81,1
11	0	-1	0	90	122	93	4,4	81,9	104,0	6,62	76,5	109,5	6,61	76,6	109,4
12	1	-1	0	319	375,9	376,0 1	0,02	375,9	376,1	0,04	375,9	376,1	0,04	375,9	376,1
13	-1	0	0	179,9	180,0	154	0,02	179,9	180,1	0,04	179,9	180,1	0,04	179,9	180,1
14	0	0	0	371,9	372,0	372	0,01	371,9	372,0	0,02	371,9	372,1	0,02	371,9	372,1
15	1	0	0	541	568	396	40,03	441,6	640,4	59,6	392,9	689,1	59,5	393,1	688,9
16	-1	1	0	288	192	312	35,6	199,6	376,4	52,9	156,4	419,6	52,9	156,5	419,6
17	0	1	0	432	336	513	120,1	133,7	730,3	178,8	-12,2	876,2	178,6	-11,7	875,9
18	1	1	0	713	725	754	17,8	680,8	769,2	26,5	659,2	790,8	26,5	659,3	790,7
19	-1	-1	1	364	99	199	148,3	- 169,3	567,3	220,7	- 349,4	747,4	220,5	- 384,8	746,8
20	0	-1	1	232	221	266	16,3	191,5	272,5	24,3	171,7	292,3	24,2	171,7	292,2
21	1	-1	1	408	415	443	10,4	389,2	440,8	15,5	376,6	453,4	15,4	376,6	453,3
22	-1	0	1	181,9	233	182,0	0,02	181,9	182,1	0,04	181,9	182,1	0,04	181,9	182,1
23	0	0	1	507	515	434	11,9	477,5	536,5	17,7	463,1	550,9	17,6	463,2	550,8
24	1	0	1	846	535	640	155,7	253,3	1026,7	231,8	64,20	1215, 7	231,5	64,8	1215,1
25	-1	1	1	236	126	168	62,3	13,3	322,7	92,7	-62,3	398,3	92,6	-62,1	398,1
26	0	1	1	660	440	403	54,8	303,7	576,3	81,7	237,1	642,9	81,6	237,3	642,7
27	1	1	1	878	991	1161	167,5	574,8	1407,2	249,4	371,3	1610, 6	249,2	372,0	1609,9

Bu sonuca bağlı olarak, önerilen yaklaşımlar baskı süreci verileri üzerinden incelenecektir.  $\alpha = 0.05$  olarak seçilmiştir ve önerilen dayanıklı güven aralıklarına dayalı yöntemler,  $(0.95) \times \%100$  güven düzeyine göre oluşturulmuştur:

#### 4.1.1 MAD – t dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı

Eşitlik (3.10) ve (3.11) kullanılarak, kitle ortalaması  $\mu$  için  $(0.95) \times \%100$  MAD – t güven aralığının alt ve üst sınırlarının ikinci dereceden yanıt yüzey modelleri aşağıda verilmiştir:

$$\widehat{US}(x) = 358.1 + 194.1x_1 + 151.7x_2 + 195.6x_3 + 67.6x_1^2 + 0.02x_2^2 - 6.4x_3^2 \\ + 105.2x_1x_2 + 104.8x_1x_3 + 52.9x_2x_3$$

$$\widehat{AS}(x) = 333.5 + 159.8x_1 + 66.1x_2 + 45.8x_3 - 3.6x_1^2 - 72.3x_2^2 - 82.5x_3^2 \\ + 20.5x_1x_2 + 45.3x_1x_3 + 20.4x_2x_3$$

Ayrıca Tablo 4.1’ de, her deney tasarım noktası için elde edilen MAD, MADCI<sup>-</sup>, ve MADCI<sup>+</sup> değerleri yer almaktadır.

Eşitlik (3.14) ve (3.15) kullanılarak, ortalama ve standart sapma yanıt yüzeylerinin tahmin edilen modelleri ise, sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\mu}_x = \frac{\widehat{AS}(x) + \widehat{US}(x)}{2}$$

$$\hat{\sigma}_x = 4.9 + 6.9x_1 + 17.2x_2 + 30.1x_3 + 14.3x_1^2 + 14.5x_2^2 + 15.3x_3^2 + 17.0x_1x_2 \\ + 11.9x_1x_3 + 6.5x_2x_3$$

Optimizasyon aşamasında, önerilen optimizasyon yaklaşımı NTB ve LTB durumları için  $(-1 \leq x_i \leq 1, i = 1,2,3)$  kuboidal bölge altında uygulanmaktadır.

Hedef en iyi durumu (NTB) için:  $Min \hat{\sigma}(x)$  ve  $\hat{\mu}_x = \tau = 500$

En büyük en iyi durumu (LTB) için:  $Max \widehat{US}(x)$  ve  $\hat{\sigma} \leq \hat{\sigma}_0 = 60$

Tablo 4.2 ve 4.3, önerilen modelleme ile elde edilen sonuçları ve mevcut yaklaşımları karşılaştırmaktadır.

#### 4.1.2 $S_n - t$ dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı

Eşitlik (3.16) ve (3.17) kullanılarak, kitle ortalaması  $\mu$  için  $(0.95) \times \%100$   $S_n - t$  güven aralığının alt ve üst sınırlarının ikinci dereceden yanıt yüzey modelleri aşağıda verilmiştir:

$$\widehat{US}(x) = 364.2 + 202.5x_1 + 172.6x_2 + 232.2x_3 + 85.0x_1^2 + 17.7x_2^2 + 12.1x_3^2 + 125.9x_1x_2 + 119.4x_1x_3 + 60.8x_2x_3$$

$$\widehat{AS}(x) = 327.5 + 151.4x_1 + 45.2x_2 + 9.2x_3 - 21.0x_1^2 - 90.0x_2^2 - 101.1x_3^2 - 0.1x_1x_2 + 30.7x_1x_3 + 12.4x_2x_3$$

Ayrıca Tablo 4.1' de, her deney tasarım noktası için elde edilen  $S_n$ ,  $S_n CI^-$ , ve  $S_n CI^+$  değerleri yer almaktadır.

Eşitlik (3.20) ve (3.21) kullanılarak, ortalama ve standart sapma yanıt yüzeylerinin tahmin edilen modelleri ise, sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\mu}_x = \frac{\widehat{AS}(x) + \widehat{US}(x)}{2}$$

$$\hat{\sigma}_x = 7.3 + 10.2x_1 + 25.6x_2 + 44.8x_3 + 21.3x_1^2 + 21.6x_2^2 + 22.8x_3^2 + 25.3x_1x_2 + 17.8x_1x_3 + 9.7x_2x_3$$

Optimizasyon aşamasında, önerilen optimizasyon yaklaşımı NTB ve LTB durumları için  $(-1 \leq x_i \leq 1, i = 1,2,3)$  kuboidal bölge altında uygulanmıştır:

Hedef en iyi durumu (NTB) için:  $Min \hat{\sigma}(x)$  ve  $\hat{\mu}_x = \tau = 500$

En büyük en iyi durumu (LTB) için:  $Max \widehat{US}(x)$  ve  $\hat{\sigma} \leq \hat{\sigma}_0 = 60$

Tablo 4.2 ve 4.3, önerilen kalite geliştirme yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar verilmiştir ve ayrıca mevcut yaklaşımları karşılaştırılmıştır.

### 4.1.3 $Q_n - t$ dayanaklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı

Eşitlik (3.22) ve (3.23) kullanılarak, kitle ortalaması  $\mu$  için  $(0.95) \times \%100$   $Q_n - t$  güven aralığının alt ve üst sınırlarının ikinci dereceden yanıt yüzey modelleri aşağıda verilmiştir:

$$\widehat{US}(x) = 364.2 + 202.5x_1 + 172.5x_2 + 232.0x_3 + 84.9x_1^2 + 17.6x_2^2 + 12.0x_3^2 \\ + 125.9x_1x_2 + 119.3x_1x_3 + 60.8x_2x_3$$

$$\widehat{AS}(x) = 327.5 + 151.4x_1 + 45.3x_2 + 9.3x_3 - 20.9x_1^2 - 89.9x_2^2 - 101.0x_3^2 \\ - 0.1x_1x_2 + 30.8x_1x_3 + 12.4x_2x_3$$

Ayrıca Tablo 4.1' de, her deney tasarım noktası için elde edilen  $Q_n$ ,  $Q_n CI^-$ , ve  $Q_n CI^+$  değerleri yer almaktadır.

Eşitlik (3.26) ve (3.27) kullanılarak, ortalama ve standart sapma yanıt yüzeylerinin tahmin edilen modelleri ise, sırasıyla,

$$\hat{\mu}_x = \frac{\widehat{AS}(x) + \widehat{US}(x)}{2}$$

$$\hat{\sigma}_x = 7.3 + 10.2x_1 + 25.6x_2 + 44.8x_3 + 21.3x_1^2 + 21.6x_2^2 + 22.7x_3^2 + 25.3x_1x_2 \\ + 17.8x_1x_3 + 9.7x_2x_3$$

şeklindeir. Optimizasyon aşamasında, önerilen optimizasyon yaklaşımı NTB ve LTB durumları için  $(-1 \leq x_i \leq 1, i = 1,2,3)$  kuboidal bölge altında uygulanmaktadır.

Hedef en iyi durumu (NTB) için:  $Min \hat{\sigma}(x)$  ve  $\hat{\mu}_x = \tau = 500$

En büyük en iyi durumu (LTB) için:  $Max \widehat{US}(x)$  ve  $\hat{\sigma} \leq \hat{\sigma}_0 = 60$

Tablo 4.2 ve 4.3, önerilen modelleme ile elde edilen sonuçları ve mevcut yaklaşımları karşılaştırmaktadır.

**Tablo 4.2:** Hedef en iyi durumu baskı süreci verileri çalışması için karşılaştırmalı çalışma

	$x^*$	$\hat{\mu}_x$	$\hat{\sigma}_x^2$	Ortalama için %95 güven aralığı	
				$\widehat{AS}_x$	$\widehat{US}_x$
Önerilen Yaklaşım (MAD)	(0.393, 0.292, 0.268)	500	29.08	431.412	568.587
Önerilen Yaklaşım (Sn)	(0.402, 0.282, 0.274)	500	43.62	393.272	606.727
Önerilen Yaklaşım (Qn)	(0.402, 0.283, 0.274)	499.99	43.58	393.388	606.611
Vining and Myers (1990)	(0.614, 0.228, 0.100)	500	51.78	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Del Castillo and Montgomery (1993)	(1.000, 0.118, -0.259)	500	45.1	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Lin and Tu (1995)	(1.000, 0.070, -0.250)	494.44	44.43	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Boylan and Cho (2013)	(1.000, 0.027, -0.166)	499.99	29.84	Bilinmiyor	Bilinmiyor

**Tablo 4.3:** En büyük en iyi durumu baskı süreci verileri çalışması için karşılaştırmalı çalışma

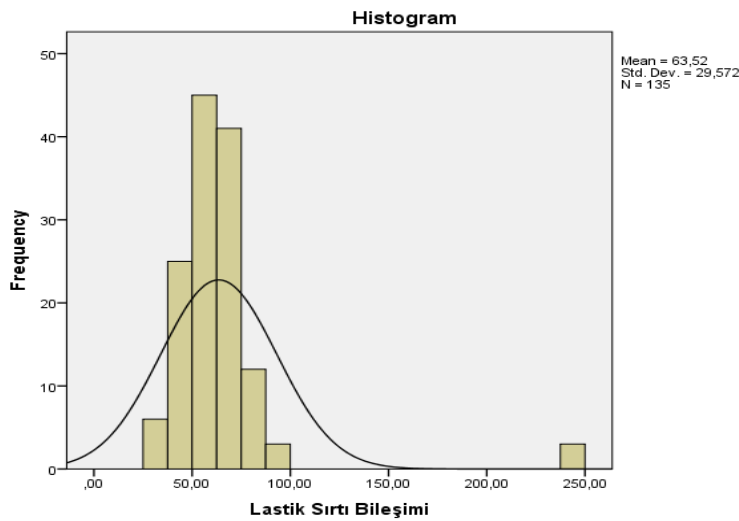
	$x^*$	$\hat{\mu}_x$	$\hat{\sigma}_x^2$	Ortalama için %95 güven aralığı	
				$\widehat{AS}_x$	$\widehat{US}_x$
Önerilen Yaklaşım (MAD)	(1.000, 0.401, 0.352)	687.31	60.00	538.80	835.81
Önerilen Yaklaşım (Sn)	(1.000, 0.199, 0.146)	620.41	60.00	475.30	765.51
Önerilen Yaklaşım (Qn)	(1.000, 0.199, 0.147)	620.57	60.00	475.45	765.68
Vining and Myers (1990)	(0.772, 0.307, 0.204)	557.90	60.00	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Del Castillo and Montgomery (1993)	(1.000, 1.000, -0.281)	616.70	60.00	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Zeybek (2020)	(1.000, 0.297, 0.426)	674.89	60.00	484.09	865.68

Küboidal bölge altında elde edilen sonuçlar NTB için Tablo 4.2'de sunulmuştur. Optimum çözüm için  $x' = (0.393, 0.292, 0.268)$ ,  $S_n$  için  $x' = (0.402, 0.282, 0.274)$  ve  $Q_n$  için  $x' = (0.402, 0.283, 0.274)$  dir. Önerilen üç yaklaşım için de ortalama yanıt 500 hedefine ulaştığı söylenebilir. Boylan ve Cho (2013) sonuçları, hem süreç ortalaması hem de varyans MLE tahminçileri kullanılarak çarpık normal veri dağılımı varsayımı altında elde edilmiştir (Zeybek, 2019). Mevcut yöntemlerden Boylan and Cho (2013) dışındakilerin önerilen yaklaşımlara kıyasla daha büyük standart sapmalar sağladığı açıktır. Önerilen üç yaklaşımdan MAD diğer yaklaşımlara göre en küçük standart sapmaya sahip olduğu için en etkindir.  $S_n$  ve  $Q_n$  ise, Vining and Myers (1990)'a, Del Castillo and Montgomery (1993)'e ve Lin and Tu (1995)'ya göre daha etkindir.

Küboidal bölge altında elde edilen sonuçlar LTB için Tablo 4.3'te sunulmuştur. Optimum çözüm için  $x' = (1.000, 0.401, 0.352)$ ,  $S_n$  için  $x' = (1.000, 0.199, 0.146)$  ve  $Q_n$  için  $x' = (1.000, 0.199, 0.147)$  dir. Vining and Myers (1990) ve Del Castillo and Montgomery (1993) İkili yanıt yüzeyi (Dual Response Surface, DRS) problemi için oldukça sağlam ve etkili yaklaşımlar önermiş olsalar da, verilerin çarpıklığı ile ilgilenmiyorlar. Önerilen yaklaşımın  $MAD$ ,  $S_n$  ve  $Q_n$  konum performansı açısından mevcut yöntemlerden üstün olduğu açıktır. Önerilen yaklaşımlardan  $S_n$  ve  $Q_n$ , Zeybek (2020)'ye göre performans açısından üstün değildir ama önerilen  $MAD$  yaklaşımı hem mevcut yöntemlerden hem de Zeybek (2020)'ye göre performans açısından üstündür.

## 4.2 Lastik Sırtı Bileşimi Deneyi

Park ve Cho (2003)'nun çalışmalarında yer verdikleri bu deneyin amacı, Lastik sırtı bileşimindeki PICO aşınma indeksine etki eden silika hidrat seviyesi ( $x_1$ ), silan bağlama maddesi ( $x_2$ ) ve kükürt seviyesi ( $x_3$ ) faktörlerinin optimal düzeylerini belirlemektir. Deneyde, üç tekrarlı merkezi birleşik tasarım kullanılmıştır. Süreç hedefi ( $\tau$ ) = 50 dir. Park and Cho (2003), deneysel verinin normal dağılıma sahip olduğunu (Şekil 4.2) ve  $Y_{10,2}$ ,  $Y_{17,4}$  ve  $Y_{25,3}$ 'deki verilerin kontaminasyon içerdiğini belirtilmiştir, Bkz. Tablo 4.4.



Şekil 4.2 Lastik Sırtı Bileşimi Dağılımı

**Tablo 4.4** Lastik Sırtı Bileşimi Çalışması Verileri

i	x1	x2	x3	y1	y2	y3	y4	y5	Mad	Mad Cl-	Mad Cl+	Sn	Sn Cl-	Sn Cl+	Qn	Qn Cl-	Qn Cl+
1	-1	-1	-1	54	59	40	66	76	10.4	37.6	80.4	19.3	19.2	98.8	18.7	20.4	97.6
2	0	-1	-1	55	60	61	56	66	5.9	47.8	72.2	8.1	43.4	76.6	7.5	44.6	75.4
3	1	-1	-1	44	55	49	74	87	16.3	21.4	88.6	17.7	18.5	91.5	20.6	12.6	97.4
4	-1	0	-1	66	46	53	92	71	19.3	26.3	106	29.0	6.3	125	24.3	15.9	116
5	0	0	-1	52	70	55	54	53	1.5	50.9	57.1	3.2	47.4	60.6	1.9	50.1	57.9
6	1	0	-1	67	78	47	55	61	8.9	42.7	79.3	17.7	24.5	97.5	15.0	30.1	91.9
7	-1	1	-1	64	94	59	65	65	1.5	61.9	68.1	1.6	61.7	68.3	1.88	61.1	68.9
8	0	1	-1	49	33	55	61	67	8.9	36.7	73.3	19.3	15.2	94.8	11.2	31.9	78.1
9	1	1	-1	94	64	62	57	54	7.4	46.7	77.3	11.3	38.8	85.2	9.4	42.7	81.3
10	-1	-1	0	65	239	65	52	41	19.3	25.3	105	20.9	21.9	108	24.3	14.9	115
11	0	-1	0	48	56	64	43	57	11.9	31.6	80.4	12.9	29.5	82.5	13.1	29.0	83.0
12	1	-1	0	56	79	58	55	66	4.4	48.8	67.2	4.8	48.0	68.0	5.6	46.4	69.6
13	-1	0	0	48	37	63	45	56	11.9	23.6	72.4	12.9	21.5	74.5	15.0	17.1	78.9
14	0	0	0	40	49	43	54	52	7.4	33.7	64.3	8.1	32.4	65.6	5.6	46.4	69.6
15	1	0	0	77	57	35	74	42	25.2	5.1	109	27.4	0.6	113	28.1	-0.8	115
16	-1	1	0	48	55	57	65	69	11.9	32.6	81.4	12.9	30.5	83.5	13.1	30.0	84.0
17	0	1	0	49	70	27	238	47	31.1	15.1	113	35.4	23.9	122	39.3	32.0	130
18	1	1	0	64	48	77	66	82	16.3	32.4	99.6	20.9	22.9	109	20.6	23.6	108
19	-1	-1	1	61	66	74	63	43	4.4	53.8	72.2	8.1	46.4	79.6	9.3	43.7	82.3
20	0	-1	1	75	68	42	63	56	10.4	41.6	84.4	19.3	23.2	103	13.1	36.0	90.0
21	1	-1	1	71	78	58	51	39	19.3	18.3	97.7	20.9	14.9	101	22.5	11.7	104
22	-1	0	1	51	52	58	69	82	10.4	36.6	79.4	11.3	34.8	81.2	13.1	31.0	85.0
23	0	0	1	61	49	57	73	60	4.4	50.8	69.2	6.4	46.7	73.3	7.5	44.6	75.4
24	1	0	1	67	69	56	72	64	4.4	57.8	76.2	8.1	50.4	83.6	5.6	55.4	78.6
25	-1	1	1	64	62	244	36	66	3.0	57.9	70.1	6.4	50.7	77.3	7.4	48.6	79.4
26	0	1	1	36	45	77	65	72	17.8	28.4	101	19.3	25.2	105	16.7	30.3	99.7
27	1	1	1	44	69	69	57	78	13.3	41.5	96.5	14.5	39.1	98.9	16.9	34.3	104

Bu sonuca bağlı olarak, önerilen yaklaşımlar bu deney tasarımı üzerinden incelenecektir.  $\alpha = 0.05$  olarak seçilmiştir ve önerilen dayanıklı güven aralıklarına dayalı yöntemler,  $(0.95) \times \%100$  güven düzeyine göre oluşturulmuştur.

#### 4.2.1 MAD – t dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı

Eşitlik (3.10) ve (3.11) kullanılarak, kitle ortalaması  $\mu$  için  $(0.95) \times \%100$  MAD – t güven aralığının alt ve üst sınırlarının ikinci dereceden yanıt yüzey modellerini aşağıda verilmiştir:

$$\widehat{US}(x) = 80.65 + 3.15x_1 + 1.85x_2 + 2.51x_3 + 5.23x_1^2 + 5.77x_2^2 - 7.49x_3^2 \\ + 4.79x_1x_2 + 4.80x_1x_3 + 3.04x_2x_3$$

$$\widehat{AS}(x) = 22.31 - 2.26x_1 - 0.18x_2 + 0.81x_3 + 3.20x_1^2 - 0.33x_2^2 + 17.94x_3^2 \\ - 0.29x_1x_2 - 1.30x_1x_3 - 2.04x_2x_3$$

Ayrıca Tablo 4.4' de, her deney tasarım noktası için elde edilen MAD, MADCI<sup>-</sup>, ve MADCI<sup>+</sup> değerleri yer almaktadır.

Eşitlik (3.14) ve (3.15) kullanılarak, ortalama ve standart sapma yanıt yüzeylerinin tahmin edilen modelleri ise, sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\mu}_x = \frac{\widehat{AS}(x) + \widehat{US}(x)}{2}$$

$$\hat{\sigma}_x = 14.16 + 1.31x_1 + 0.49x_2 + 0.41x_3 + 0.49x_1^2 + 1.48x_2^2 - 6.17x_3^2 \\ + 1.23x_1x_2 + 1.48x_1x_3 + 1.23x_2x_3$$

Optimizasyon aşamasında, önerilen optimizasyon yaklaşımı NTB durumu için  $(-1 \leq x_i \leq 1, i = 1,2,3)$  kuboidal bölge altında uygulanmaktadır.

Hedef en iyi durumu (NTB) için:  $Min \hat{\sigma}^2(x)$  ve  $\hat{\mu}_x = \tau = 50$

Tablo 4.5'te önerilen modelleme ile elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

#### 4.2.2 $S_n - t$ dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı

Eşitlik (3.16) ve (3.17) kullanılarak, kitle ortalaması  $\mu$  için  $(0.95) \times \%100$   $S_n - t$  güven aralığının alt ve üst sınırlarının ikinci dereceden yanıt yüzey modellerini aşağıda verilmiştir:

$$\widehat{US}(x) = 80.65 + 3.15x_1 + 1.85x_2 + 2.51x_3 + 5.23x_1^2 + 5.77x_2^2 - 7.49x_3^2 \\ + 4.79x_1x_2 + 4.80x_1x_3 + 3.04x_2x_3$$

$$\widehat{AS}(x) = 22.31 - 2.26x_1 - 0.18x_2 + 0.81x_3 + 3.20x_1^2 - 0.33x_2^2 + 17.94x_3^2 \\ - 0.29x_1x_2 - 1.30x_1x_3 - 2.04x_2x_3$$

Ayrıca Tablo 4.4' de, her deney tasarım noktası için elde edilen  $S_n, S_nCI^-,$  ve  $S_nCI^+$  değerleri yer almaktadır.

Eşitlik (3.20) ve (3.21) kullanılarak, ortalama ve standart sapma yanıt yüzeylerinin tahmin edilen modelleri ise, sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\mu}_x = \frac{\widehat{AS}(x) + \widehat{US}(x)}{2}$$

$$\hat{\sigma}_x = 14.16 + 1.31x_1 + 0.49x_2 + 0.41x_3 + 0.49x_1^2 + 1.48x_2^2 - 6.17x_3^2 \\ + 1.23x_1x_2 + 1.48x_1x_3 + 1.23x_2x_3$$

Optimizasyon aşamasında, önerilen optimizasyon yaklaşımı NTB durumu için  $(-1 \leq x_i \leq 1, i = 1,2,3)$  kuboidal bölge altında uygulanmaktadır.

Hedef en iyi durumu (NTB) için:  $Min \hat{\sigma}^2(x)$  ve  $\hat{\mu}_x = \tau = 50$

Tablo 4.5'te önerilen modelleme ile elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

### 4.2.3 $Q_n - t$ dayanaklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı

Eşitlik (3.22) ve (3.23) kullanılarak, kitle ortalaması  $\mu$  için  $(0.95) \times \%100$   $Q_n - t$  güven aralığının alt ve üst sınırlarının ikinci dereceden yanıt yüzey modellerini aşağıda verilmiştir:

$$\widehat{US}(x) = 80.65 + 3.15x_1 + 1.85x_2 + 2.51x_3 + 5.23x_1^2 + 5.77x_2^2 - 7.49x_3^2 \\ + 4.79x_1x_2 + 4.80x_1x_3 + 3.04x_2x_3$$

$$\widehat{AS}(x) = 22.31 - 2.26x_1 - 0.18x_2 + 0.81x_3 + 3.20x_1^2 - 0.33x_2^2 + 17.94x_3^2 \\ - 0.29x_1x_2 - 1.30x_1x_3 - 2.04x_2x_3$$

Ayrıca Tablo 4.1' de, her deney tasarım noktası için elde edilen  $Q_n$ ,  $Q_nCI^-$ , ve  $Q_nCI^+$  değerleri yer almaktadır.

Eşitlik (3.26) ve (3.27) kullanılarak, ortalama ve standart sapma yanıt yüzeylerinin tahmin edilen modelleri ise, sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\mu}_x = \frac{\widehat{AS}(x) + \widehat{US}(x)}{2}$$

$$\hat{\sigma}_x = 14.16 + 1.31x_1 + 0.49x_2 + 0.41x_3 + 0.49x_1^2 + 1.48x_2^2 - 6.17x_3^2 \\ + 1.23x_1x_2 + 1.48x_1x_3 + 1.23x_2x_3$$

Optimizasyon aşamasında, önerilen optimizasyon yaklaşımı NTB durumu için  $(-1 \leq x_i \leq 1, i = 1,2,3)$  kuboidal bölge altında uygulanmaktadır.

Hedef en iyi durumu (NTB) için:  $Min \hat{\sigma}^2(x)$  ve  $\hat{\mu}_x = \tau = 50$

Tablo 4.5'te önerilen modelleme ile elde edilen sonuçları ve mevcut yaklaşımları karşılaştırmaktadır.

Bu çalışmada önerilen yöntemlerin karşılaştırması amacıyla, Park ve Cho (2003)'deki çalışmasında önerdiği modeller olan Model X, Model Y ve Model Z' de Tablo 4.5' de verilmiştir. Model X, Model Y ve Model Z, Park ve Cho (2003) tarafında önerilmiştir ve aşağıda açıklanmıştır:

Model X:  $\hat{\mu}_x$  örneklem ortalaması ve  $\hat{\sigma}^2(x)$  örneklem varyansı,

Model Y:  $\hat{\mu}_x$  örneklem medyanı ve  $\hat{\sigma}^2(x)$  örneklem medyan mutlak sapma karesi,

Model Z:  $\hat{\mu}_x$  örneklem medyanı ve  $\hat{\sigma}^2(x)$  çeyrekler açıklığı karesi kullanılmıştır (Boylan and Cho, 2003).

**Tablo 4.5:** Hedef en iyi durumu lastik sırtı bileşimi verileri çalışması için karşılaştırmalı çalışma

	$x^*$	$\hat{\mu}_x$	$\hat{\sigma}_x^2$	Ortalama için %95 güven aralığı		MSE
				$\widehat{AS}_x$	$\widehat{US}_x$	
Model X	(1.000, -0.980, -0.970)	64.40	597.83	Bilinmiyor	Bilinmiyor	805.19
Model Y	(0.570, -0.280, -1.000)	56.90	111.21	Bilinmiyor	Bilinmiyor	158.82
Model Z	(-0.146, 0.233, -1.000)	53.06	94.21	Bilinmiyor	Bilinmiyor	103.57
Önerilen Yaklaşım (MAD)	(0.929, -0.548, -1.000)	50.00	65.19	26.414	73.585	65.19
Önerilen Yaklaşım ( $S_n$ )	(1.000, -0.811, -1.000)	49.99	129.95	18.877	81.122	129.9501
Önerilen Yaklaşım ( $Q_n$ )	(0.288, -0.469, -1.000)	50.00	107.72	23.478	76.521	107.72

Küboidal bölge altında elde edilen sonuçlar NTB için Tablo 4.5'de sunulmuştur. Optimum çözüm için  $x' = (0.929, -0.548, -1.000)$ ,  $S_n$  için  $x' = (1.000, -0.811, -1.000)$  ve  $Q_n$  için  $x' = (0.288, -0.469, -1.000)$  dir. MAD – t dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı, hedef değer olan 50' de ortalamayı tahmin ederken, tahmin edilen süreç varyansı 65.19'dur. Önerilen yaklaşımlardan MAD – t dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı, hem Park and Cho (2003) tarafından önerilen modeller olan Model X, Model Y ve Model Z' den, hem de  $S_n - t$  ve  $Q_n - t$  dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen yöntemlere göre en küçük standart sapmaya sahip olduğu için en etkindir. Örneklem ortalaması ve varyans tahmin edicileri kullanılarak elde edilen Model X, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, verideki contaminated veri noktalarına karşı çok duyarlı olduğu görülmektedir. Bu farklılık MSE değerleri karşılaştırıldığında oldukça açıktır. Bu örnek, MAD – t dayanıklı güven aralığına

dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı ile elde edilen optimal koşulların, kirlenmiş veri söz konusu olduğunda oldukça etkin tahminler yaptığını göstermiştir.



## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Normallikten herhangi bir sapma, RPD uygulamalarında yaygın bir olgudur ve literatür, çarpık veya kirli deneysel veriler için çeşitli dayanıklı tasarım alternatifleri sağlar. Bununla birlikte, kalite iyileştirme uygulayıcıları yanıt modellerindeki gerçek veri dağılımını ve parametre belirsizliklerini göz ardı ettiğinde, sonuçlar güvenilmez ve hatta yanıltıcı olabilir.

Yanıt yüzeyi yaklaşımı, deneysel verilerin normal dağıldığını ve verilerde önemli bir kirlilik olmadığını varsayarak, süreç ortalaması ve varyansı için yeterli yanıt modellerini elde etmek için en küçük kareler yöntemini kullanır ama her zaman veriler bu şekilde dağılmayabilir.

Bu tez çalışmasında, verilerin normal dağılmadığı ve kirlenmiş veriler olan iki farklı deneysel tasarım uygulama problemi üzerinde güven aralıklarına dayalı yanıt yüzey metodolojisi yaklaşımı ele alınmıştır. Bu kapsamda, 3 yeni yaklaşım önerilmiştir: MAD – t dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı,  $S_n - t$  dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı ve  $Q_n - t$  dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı. Önerilen tüm yöntemler, deneysel verilerin çarpıklığını kullanan ortalama için süreç ortancasını yansız hale getirir. Ek olarak, aralığın orta noktası konum performans yanıtı olarak kullanılır.

Önerilen güven aralıklarına dayalı üç yöntem, tezin uygulama bölümünde iki veri seti üzerinde uygulanmıştır. İlk veri seti, normallikten önemli derecede sapan bir dağılıma sahip olan baskı süreci uygulaması, diğeri ise üç adet contaminated veri içeren lastik sırtı veri setidir. Baskı süreci uygulamasında hedef en iyi (NTB) durumu ve en büyük en iyi (LTB) durumları için literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Her iki durum için de MAD – t dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı en iyi sonucu vermiştir. Lastik sırtı bileşimi uygulamasında ise hedef en iyi (NTB) durumu için MAD – t dayanıklı güven aralığına dayalı önerilen ikili yanıt yüzey yaklaşımı, hem mevcut yöntemlerden hem de  $S_n$  ve  $Q_n$  'e göre en küçük standart sapmaya sahip olduğu için en etkindir.

**KAYNAKLAR DİZİNİ**

- Abu-Shawiesh, M. O. A., and Saghir, A.,** 2020, Robust confidence intervals for the population mean alternatives to the Student-t confidence interval, *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 18(1):15p.
- Bendell, A., Disney, J. and Pridmore, W.A.,** 1987, Taguchi Methods: Applications in World Industry, IFS Publications: London.
- Box, G. E. P., and Wilson, K. B.,** 1951, On the experimental attainment of optimum conditions, *Journal of the Royal Statistical Society*, 13:(1)-45pp.
- Box, G. E. P.,** 1985, Discussion of off-line quality-control, parameter design, and the Taguchi methods, *Journal of Technology*, 17(4):189-190pp.
- Box, G. E. P., and Draper, N. R.,** 1987, *Empirical model building and response surfaces*, John Wiley & Sons.
- Box, G., Bisgaard, S., and Fung, C.,** 1988, An explanation and critique of Taguchi's contributions to quality engineering. *Quality and reliability engineering international*, 4(2):123-131pp.
- Boylan, G.L., and Cho, B. R.,** 2013, Comparative studies on the high-variability embedded robust parameter design from the perspective of estimators, *Computers and Industrial Engineering*, 64(1): 442-452pp.
- Copeland, K. A., and Nelson, P. R.,** 1996, Dual response optimization via direct function minimization, *Journal of Quality Technology*, 28(3): 331–336pp.
- Dehnad, K.,** 1989, Quality Control, Robust Design and the Taguchi Method, Wadsworth and Brooks/Cole: Pacific Grove, CA.
- Del Castillo, E., and Montgomery, D. C.,** 1993, A nonlinear programming solution to the dual response problem, *Journal of Quality Technology*, 25(3):199–204pp.
- Koç. B., ve Kaymak-Ertekin, F.,** 2010, Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları, *Gıda*, 35(1):1-8s

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Köksoy, O., and Doganaksoy, N.**, 2003, Joint optimization of mean and standard deviation in response surface experimentation, *Journal of Quality Technology*, 35(3): 239-252pp.
- Köksoy, O., and Fan, S. K. S.**, 2012, An upside-down normal loss function-based method for quality improvement, *Engineering Optimization*, 44(8):935-945pp.
- Lee, S. B., Park, C., and Cho, B. R.**, 2007, Development of a highly efficient and resistant robust design, *International Journal of Production Research*, 45(1): 157–167pp.
- Lin, D. K., and Tu, W.**, 1995, Dual response surface optimization, *Journal of Quality Technology*, 27(1): 34–39pp.
- Montgomery, D. C.**, 2005, *Design and Analysis of Experiments* (7<sup>th</sup> Ed.), John and Wiley and Sons, New York, 656p.
- Myers, R. H. and Carter, W. H.**, 1973, Response Surface Techniques for Dual Response Systems, *Technometrics*, 15(2):301–317pp.
- Myers, R. H., Khuri, A. I., and Vining, G.**, 1992, Response surface alternatives to the Taguchi robust parameter design approach, *The American Statistician*, 46(2):131-139pp.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., and Anderson-Cook, C.M.**, 1995, *Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments* (2<sup>nd</sup> Ed.), John Wiley and Sons, Inc., New York, 560p.
- Nair, V. N., Abraham, B., MacKay, J., Box, G., Kacker, R. N., Lorenzen, T. J., ... and Jeff Wu, C. F.**, 1992, Taguchi's parameter design: a panel discussion, *Technometrics*, 34(2):127-161pp.
- Park, C., and Cho, B. R.**, 2003, Development of robust design under contaminated and non-normal data, *Quality Engineering*, 15(3): 463–469pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Rousseeuw, P. J., and Croux, C.**, 1993, Alternatives to the Median Absolute Deviation, *Journal of the American Statistical Association*, 88(424):1273-1283pp.
- Roy, R. K.**, 2010, A primer on the Taguchi method.
- Thompson, D.**, 1982, Response surface experimentation 1., *Journal of Food Processing and Preservation*, 6(3):155-188pp.
- Vining, G. G., and Myers, R. H.**, 1990, Combining Taguchi and response surface philosophies: A dual response approach, *Journal of Quality Technology*, 22(1):38–45pp.
- Zeybek, M.**, 2015, Kayıp Fonksiyonlarına Dayalı Süreç-Dışı Kalite Geliştirme Yaklaşımları, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zeybek, M.**, 2019, Confidence Interval based Quality Improvement for Non-normal Responses, *Celal Bayar University Journal of Science*, 15(2):199-204pp.
- Zeybek, M.**, 2020, Interval robust design under contaminated and non normal data, *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 49(22): 5406-5418pp.
- Zeybek, M., and Köksoy, O.**, 2018, A Comparative Study on Robust Design from the Perspective of Estimators, *Conference: 11. International Statistics Days Conference*.
- Zeybek, M., Köksoy, O., and Robinson, T. J.**, 2020, A dual-response surface modeling approach for gamma robust design, *Quality Reliability Engineering International*, 36(1):315-327pp.

## TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince desteğini esirgemeyen, bilgi ve görüşleriyle bana farklı bakış açıları kazandıran değerli hocam Doç. Dr. Melis ZEYBEK'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca attığım her adımda bana güvenen ve beni destekleyen sevgili anneme, babama ve abime sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

04 / 09 / 2023

Atakan BAYDAR

## ÖZGEÇMİŞ

2015 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü'ne girmeye hak kazanmış ve Ağustos 2020'de başarıyla lisans eğitimini tamamlamıştır. Ekim 2020'de Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

