

Deney Tasarımının Ürün ve Süreçlerin Geliştirilmesinde Önemi: Otomobil Endüstrisindeki Bir Fabrikada Uygulaması ^a

 AYŞENUR ERDİL ^b

Geliş Tarihi: 07.10.2019 | Kabul Tarihi: 16.09.2020

Öz: İşletme bünyesinde ürün/hizmet ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesi rekabet dünyasında ayakta kalabilmek için önemli faaliyet ve unsurlardandır. Üretilen ürün/hizmetin kalite düzeyi geliştikçe işletmenin karlılığı artış gösterir. Üretim sistemlerinde ürün ve süreçlerin geliştirilip, iyileştirilmesi için Deney Tasarım yöntemini kullanmak ve üretimdeki uygulama alanlarını genişletmek kaliteyi arttırmaktadır. Böylece müşteri memnuniyeti sağlanmakta ve işletmenin karlılığı artmaktadır. Araştırma kapsamında, deney tasarım yöntemi hakkında temel kavramlara ve literatürde yapılmış çalışmalara değinilmiştir. 23' lük tam faktöriyel bir deneysel tasarım çalışması, otomobil endüstrisinde faaliyet gösteren bir fabrikada yapılmıştır. Bu fabrikanın üretim **süreci; pres, kaynak, talaşlı imalat ve montaj** bölümlerinden oluşmaktadır. Yapılan araştırma-uygulama kaynak atölyesinde punta kaynak robotu üzerinde gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analiz, **deney** tasarımı, **faktör**, **otomobil endüstrisi**.

^a Bu makale, *ICOMEP'19 Uluslararası Yönetim, Ekonomi ve Politika Kongresi'* nde sunulan tebliğin genişletilerek makale haline getirilmiş şeklidir.

^b İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, İşletme Bölümü
erdil.aysenur@gmail.com

Importance of Experimental Design in the Development of Products and Processes: Application in a Factory in the Automobile Industry

Abstract: Improvement of product/service and production processes within the enterprise is one of the important activities and elements to survive in the rivalry world. As the quality level of the product/service is improved, the profitability of the enterprise increases. Using the Design of Experimental methods to develop and improve the products and processes of manufacturing in production systems and to expand the application-implementation areas in production, increase the level of product quality. Thus, customer satisfaction is ensured and the profitability of the enterprise increases. Within the scope of the research, basic concepts about the design of experimental methods and studies-research in literature are presented-mentioned.

Keywords: Analysis, experimental design, factor, automobile industry.

Giriş

Deneyssel çalışmalarda doğru bir sonuca ulaşabilmek için doğru bir deney tasarımının yapılması, parametrelerin doğru olarak belirlenmesi ve deney sonucundan ne bekleneceğinin doğru olarak bilinmesine ihtiyaç vardır. Bütün bu şartlar sağlanmış olsa bile doğru ve istenen bir hedef ulaşmak için aynı örnekten veya aynı deneyden çok sayıda yapılması-gerçekleştirilmesi gerekebilir. Bu durum ise hem uzun zaman alır, hem maliyet-giderleri hem de harcanan eforu arttırır.

Deney tasarımı (DT), bir süreci etkileyen faktörler/değişkenler ile bu sürecin çıktısı arasındaki ilişkiyi belirlemek için uygulanan sistematik bir istatistik yöntemidir. Deney tasarımında ilk adımda performansı ortaya koyacak kriterler-faktörler tespit edilir. Böylece en iyi sonuçların bulunabileceği koşullar sağlanmış olur. Sonraki adımda bu faktörlerin performansını gösteren özelliklere bağlı etkilerin belirlenmesi ve sisteme en uyumlu kombinasyonunun tespit edilmesi yönünde sistemde kontrol dışı-kontrol edilmeyen faktörler de göz önüne alınarak deneyler gerçekleştirir. Gerçekleştirilen deneyler sonucuna bağlı olarak performans ölçütü dikkate alınarak en uygun optimum koşullar-olanaklar belirlenir. DT, girdi değişkenlerinin kontrollü varyasyonu ile süreç çıktıları üzerindeki etkilerin incelenmesine izin veren bir yöntemdir (King vd., 1993, s.331; Montgomery, 2012, s.10-13).

DT uygulaması, ürün/hizmete yönelik ürün ve süreçlerin geliştirilmesine, iyileştirilmesine olanak sağlar. Bu konuya yönelik yapılabilir araştırmalar şu şekilde sıralanabilir (Antony ve Capon, 1998, s.336; Montgomery, 2012, s.10-14):

-Sisteme ait işletim olanaklarından daha deniş zaman dilimi için işlemsel hareketleri incelemek,

-Üretim/hizmet şartlarına yönelik değişkenliğin durumunu azaltmaya çalışmak,

-Ürün ve sisteme yönelik işlemlerde tasarım zaman aralığını azaltmak,

-Sistemdeki bağımsız değişkenler ile sistem çıktı arasındaki ilişkinin araştırılması ve

-işletme sürecinin verimlilik ve etkinliğini arttırmak ve atık, hurda miktarını azaltmak,

-Sistem çıktılarını çevresel değişkenlerin olumsuz etkilerinden korumak,

-Üretim etkinlik, verimliliğini ve karlılık düzeyini arttırmak,

Bu modern yaklaşım çerçevesinde Taguchi Deneysel Tasarım metodu optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir metod olarak ortaya çıkmaktadır. Taguchi metodu, çözümün sadece en az sayıda deneyle elde edilmesini sağlamakla kalmaz, yüksek kalitede proses ve ürün geliştirilmesini her açıdan destekler. Bu deneysel tasarım yaklaşımına, sürecin veya ürünün üretim şartlarına ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı minimum hassasiyeti göstermesi, gerekli toleransların en düşük maliyetle sağlanması ve Taguchi kayıp fonksiyonu sayesinde ürünün toplumda yol açtığı kaybı minimize ederek yeni bir kalite maliyeti anlayışı çerçevesinde değerlendirilmesi de dâhildir (Ross, 1989, s.25-175; Taguchi, 1990, s.98).

Davim (2001) yaptığı çalışmada, kesme koşullarının yakma ile elde edilen yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin bir çalışmasını sunmaktadır. Taguchi tekniklerine dayanan bir deneysel planı tasarlanmış ve iş parçasında önceden hazırlanmış kesme koşullarıyla kontrollü işleme üzerinde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra iki farklı profilo metre kullanılarak iş parçaları üzerinde pürüzlülük değerlendirilmiştir. Amaç, pürüzlülük değerlendirme parametreleriyle kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği arasında bir korelasyon oluşturmaktır (Davim, 2001, s.305-308).

Analiz aşamasında tam faktöriyel deneysel tasarım istatistiksel teknikler ile birlikte kullanıldığında bu alanda yapılan araştırmalara kolaylıklar oluşturmaktadır. Varyans analizi (ANOVA) ve regresyon analizi tam faktöriyel deneysel tasarımlarında kullanılmakta ve deneysel tasarımda hangi faktör-kriterlerin

önemli olduğu ve önem derecelerini istatistiksel açıdan sunar (Yang ve Tarng, 1998, s.125).

Deneyler, araştırmacılar tarafından bir sistemi veya belirlenen bir süreci tanımlayıp anlamak için kullanılır. Literatür kapsamında bir deney ayrıca bir testtir. Özet olarak deney, bir süreç aşamasında veya sisteme ait girdilerde değişikliğe gidilerek çıktılarının gözlemlenmesi-incelenmesi ve analiz edilip değerlendirilmesidir. Deney Tasarımına yönelik ilk çalışma ve geliştirme süreci 1920'lerde ünlü İngiliz istatistikçi R.A. Fisher ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Fisher, varyans analizi (Anova-Analysis of Variance) yöntemini de geliştirmiştir. Anova analizi, Ana kütle ortalamaları arasında farkın olup olmamasını değerlendirir (Izgız, 2001, s.11; Bernd vd., 2007, s.5; Kim vd., 2011, s.310; Montgomery, 2012 s.15; Subbarao-Url, 2019).

Deney tasarımının en temel hedeflerinden biri deney hatalarını azaltıp, minimuma indirmektir. Deneyin planlaması aşamasında bir kontrol listesinin oluşturulmasına ihtiyaç vardır. Bir deneyin tasarımında kontrol listesinin adımları bir biriyle ilişkili yani bağımsız değildir (Kim vd., 2011, s.309-311; Subbarao, 2019; Laurent, 2019). Belirtilen adımlar şu sıralanabilir (Montgomery, 2001, s. 2; Montgomery, 2012, s.3);

1. Deneyin amaç ve hedeflerinin tespit edilmesi,
2. Tüm değişken özelliği içeren kaynakların tanımlanması,
 - a) Deney bileşenleri,
 - b) Kontrol edilebilen faktörler-parametreler,
 - c) Kontrol edilmeyen faktörler-parametreler,
 - d) Bloklama işlemleri, süreçleri,
- 3- Uygulamada deneyi ünitelere bölebilmek için bir kuralın tespit edilmesi,
- 4- Deneyin ölçü birim ve kısıtlarının belirlenmesi,
- 5- Pilot bir uygulamanın gerçekleştirilmesi,
- 6- Pilot uygulama aşamasından sonra modelin oluşturulması,

- 7- Analize yönelik bir yol haritası oluşturulması,
- 8- Kaç adet gözlemin gerçekleştirileceğinin hesaplanması,
- 9- Gözden geçirme ve revizyon.

Burada kontrol edilemeyen faktörler ve üretim performansı arasındaki matematik ilişki çoğu zaman çok karmaşık olmakta ya da bilinmemektedir. Gerekli özelliklerin sağlanması için de deneysel yaklaşım yoluna gidilmektedir (Andersson, 1997, s.76).

Deney tasarımı yaklaşımı ile yapılan birçok çalışma, derin öğrenme modeli olarak da adlandırılan, birden çok gizli katmana sahip bir sinir ağı olan derin sinir ağı modelinin tahmin görevi için yaygın olarak uygulandığını ve yüksek doğrulukta mükemmel performansla sonuçlandığını göstermektedir. Suhartono ve arkadaşları (ark.) (2018), ileri besleme ağını tek gizli katmanlı ileri beslemeli ağ ile deney tasarımı yaklaşımı ile karşılaştırdı. Ayrıca, çalışmada tahmini performansı önemli ölçüde artıracak faktörleri belirleyip, deney sonuçları karşılaştırılıp tartışıldı (Suhartono vd., 2018, s.270-276).

Schindler ve ark. (2018) bir deney tasarımı (DOE) metodolojisi ve mekanik bozunma analizi ile ticari lityum iyon hücreler için yaşlanma-minimum hızlı şarj profillerini tanımlamak için yeni bir yaklaşım sundular. Yaptıkları çalışmada DT, tekrarlanan uygulama altındaki belirli akım profillerinin test edilen hücre formatıyla rekabetçi karşılaştırmasına dayanmaktadır. Akım profilleri, sabit bir akım profilinin ve taban profilinin şeklini değiştiren dört bağımsız, yük nötr profilin doğrusal üst üste binmesinden elde edildi. Şarj nötr profilleri, şarj prosedürü için yararlı etkileri hakkında fiziksel olarak anlamlı varsayımlara dayandı, (örn. üst üste bindirilmiş bir alternatif akım (AC) profilinin, içsel ısı üretimi ile istenmeyen polarizasyonu azaltması). Yaşlanma minimum profilleri, çoklu regresyon analizi ile tanımlandı Belirli bir döngü sayısından sonra hücrelerin gözlenen kapasite devrinin temel nedenini incelemek için mekanik bozulma analizi uygulandı (Schindler vd., 2018, s. 365-376).

Karimshoushtari ve Novara (2020), giriş kısıtlamalı doğrusal olmayan sistemler için set üyelik tanımlamasına dayalı yeni bir Deney Tasarımı (DT) algoritması önerdiler. DT algoritması, en kötü durum model hatasını veren bir miktar olan sözde bilgi yarıçapını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Yaklaşımın etkinliğini ve gerçek dünya uygulamaları açısından potansiyelini gösteren iki sayısal örnek sunulmuştur. Doğrusal olmayan dinamik sistemler için sistematik bir DT yöntemi geliştirdiler. Sorunu belirlenmiş bir üyelik çerçevesinde formüle ettiler ve küresel yaklaşıma kıyasla daha az belirsizlik sınırları ile sonuçlanan yarı yerel doğrusal olmayan bir küme üyelik yaklaşımı önerdiler (Karimshoushtari ve Novara, 2020, s.2-11).

Thompson ve ark. yaptıkları çalışmada veri eksikliği, yeterli verinin bulunmaması en önemli sorun olmuştur. az bulunan toprak elementi (REE) ile ilgili mevcut veriler neredeyse tamamen önceki yapılan çalışmalardan alınmıştır (Thompson vd., 2018, s.1605). Bu sorunun üstesinden gelmek için uygun bir yaklaşım olarak benzetim yöntemi ile önceki verilerden oluşturulan deneysel bir modele göre biyo-öğrenme süreci gerçekleştirildi. Böyle bir model, çeşitli faktörlerin REE (az bulunan toprak elementi-rare earth element) sızdırma verimliliğini nasıl etkilediğini matematiksel model olarak tanımlandı ve ölçüm değeri olmadığı koşullar için öngörülen bir durum oluşturuldu (Garud, vd., 2017, s.74-78; Thompson vd., 2018, s.1605).

Bir sayısal deney tasarımı (SDT), parametreleştirilmiş bir sayısal modelden sıralı bir simülasyon dizisi ile tanımlanır. Her simülasyon / deney, modelin parametrelerinin belirli bir değer kümesiyle tanımlanır. Bir SDT süreci, sayısal bir model ve sonuçları analiz etmek için kullanılan yöntemler ile tanımlanır. Faktöriyel, Box - Behnken, Plackett - Burman veya Doehlert tasarımları olarak ve aynı zamanda Latin hiperküpleri, düşük tutarsızlık dizileri veya maksimal entropi tasarımları gibi boşluk doldurma tasarımları olarak çok sayıda SDT türü mevcuttur (Beal vd., 2014, s.85-87; Garud vd., 2017, s.74-78; Yondo vd., 2018, s.45).

Birçok çalışma, derin öğrenme modeli olarak da adlandırılan, birden çok gizli katmana sahip bir sinir ağı olan derin sinir ağı modelinin tahmin görevi için yaygın olarak uygulandığını ve yüksek doğrulukta mükemmel performansla sonuçlandığını göstermektedir.

Griffiths ve ark. (2016), çalışmanın temel amacı, makine yapım parametrelerinin optimizasyonu yolu ile istenen bir gir-dinin mümkün olduğu ölçüde hurda gibi çıktı miktarı ile üretim süresi arasındaki uzlaşmanın-uyumun sağlamasıydı. Araştırma ayrıca, farklı tasarımlar için aynı yapı parametrelerinin farklı çıktı miktarını verebileceğini göstererek, deney tasarımına özgü modeller geliştirmenin önemini vurgulamaktadır. Çalışmanın bilimsel değeri, eklenen üretimdeki modeller için yeni veri setlerinin katkısında yatmaktadır. Sonuçlar, uygulanan optimizasyon yöntemiyle birlikte, tasarım aşamasında 3D baskılı ürünlerin ekonomik ve çevresel etkisinin daha ayrıntılı ve doğru bir şekilde değerlendirilmesine imkan verir (Griffiths vd., 2016, s.2-35).

Rosa ve ark. (2009), titanyum yüzey hazırlama, sülfirik asit karışımın elektrik yoğunluğu ve çözelti karışımındaki etkilerini deney tasarım tekniği ile incelemiştir. Buna benzer çok sayıda çalışmalar mevcuttur. Cheng ve ark. (2008), farklı ebatlarda oluşan alt katmandaki tortulaşmış silikon yapısının kalınlık sapmasını azaltmaya yönelik süreç faktörlerini optimize edebilmek için oluşturulan sayısal modeli Taguchi tekniğinin dinamik modeli ile birleştirmişlerdir. Oudjene ve Ben-Ayed (2008), perçinleme ortak direnci ve perçinleme şeklinde takım geometrisinin etkisini analiz edebilmek için taguchi deney tasarım tekniğine kullanmışlardır.

Yüzey kalitesi, imalat mühendisliğinde önemli bir parametredir. Mekanik parçaların performansını ve üretim maliyetlerini etkileyebilecek bir özelliktir. Yüksek maliyetlere yol açan, bazen felaket niteliğinde olan çeşitli arızalar, söz konusu bileşenlerin yüzey kaplamasına bağlanmıştır. Bu nedenlerden dolayı, bir yüzey kalitesi elde etmek için kesme koşullarını opti-

mize etmek amacıyla araştırma geliştirmeleri yapılmıştır. Taguchi'nin teknikleri, verileri kontrollü bir şekilde elde etmek, bu deneyleri yürütmek ve belirli bir sürecin davranışı hakkında bilgi elde etmek için verileri analiz etmek amacıyla bir deney planından oluşur. Bu teknikler, deneysel planları tanımlamak için ortogonal dizileri kullanır. Deneysel sonuçların işlenmesi, ortalamanın analizine ve varyans analizine (ANOVA) dayanmaktadır (Ross, 1988, s.40-45; Taguchi ve Konishi, 1987, s.35-36; Shaw, 1984, s.460-475).

Tam Faktöriyel Metot, Kesirli Faktöriyel Metot, Placket-Burman Ekranlar vb., Kesirli faktöriyel yöntem dört faktörden fazlasını ele alabilir, çok az deneysel çalışma gerektirir ve ilgili tüm önemli terimleri tanımlar, bu nedenle bu yöntem optimizasyon için kullanılmıştır (Robert vd., 2003, s. 245). Tasarım için çözünürlük seçildi çünkü bu, ana etkileri ve iki yönlü etkileşimleri daha yüksek dereceli etkileşimlerle karıştırmadan tahmin edecekti (Montgomery, 2012, s.3-8).

Deney tasarımı yaklaşımı, Türkiye'de yapılmış farklı araştırmalarda kullanılmıştır. Çalışmalardan biri olarak Hamzaçebi ve Kutay (2003), Taguchi tekniğinin sistematığı üzerinde durmuşlardır, uygulama kısmında Dizdarın (1998) yapmış olduğu üretim sistemlerinde oluşabilecek iş kazalarını tahmin etmeye yönelik çalışmasındaki verileri kullanarak tekniğin gelişmesini sağlamışlardır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003, s.3-4; Dizdar, 1998). Kırış ve ark. (2009) yaptıkları araştırmada, bir motorun hava aralığındaki hata sayısı ve buna bağlı toplam üretim miktarı içerisindeki payı yüksek olmasından kaynaklanan kalite özelliklerini, faktörlerini belirleyerek Taguchi tekniği ve iyileştirme, geliştirme çalışmaları yapmışlardır. Bahloul ve ark. (2006), yaptıkları araştırmalarda deney tasarımına yönelik cevap yüzeyi tekniği kullanarak bükme işlemi aşamasında araçlar tarafından işlem gören parçaya uygulanan kuvveti ve maksimumu gerilimi en düşük seviyeye düşürülmüştür (Kırış ve ark., 2009, s.1-5; Bahloul ve ark., 2006, s.991-1002).

Çalışmada, hizmet ya da üretim sektöründe yaygın ve

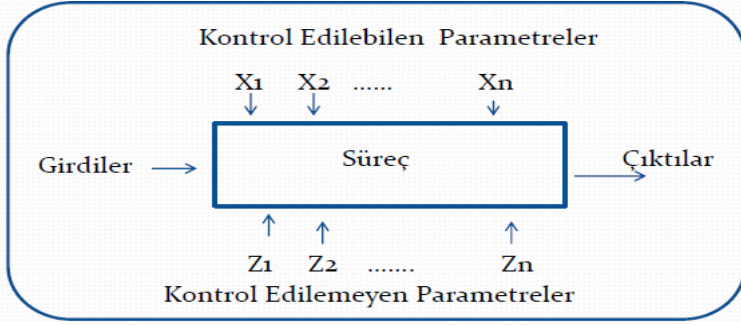
kapsamlı şekilde uygulanıp kullanılan deney tasarımı yöntemi hakkında bilgi sunulmuştur. Araştırmanın uygulaması fabrikanın üretim bölümündeki kaynak atölyesinde punta kaynak robotunda gerçekleşmiştir. Kaynak robotuna ait sabitleme noktaları-çenelerindeki bakır uçları aşınma durumları incelenmiştir, Bu durumu etkileyen temel unsurlar deney tasarım yöntemi ile tespit edilmiştir. Elde edilen veriler Minitab istatistik paket programında analiz edilmiştir.. Sonuçlara bağlı değerlendirmeler ve yorumlamalar yapılmıştır. Aşınmayı azaltmaya yönelik kalite geliştirme çalışması yapılmıştır. Bakır uçlarındaki aşınma konusundaki kaliteye yönelik problem az maliyetle kısa sürede çözülmüştür. Çalışma sonucunda fabrikanın üretim sürecindeki kaynak atölyesinde verimlilik seviyesinde artış sağlanmıştır.

Deneysel Çalışmaya Genel Bakış, Deneysel Sistem Tasarımı

Genel olarak deneyler sistemin veya sürece yönelik performansını ölçmede de kullanılır. Bir deney modele ait deneyin gerçekleştirilmesi aşamasında, deneye yönelik kullanılacak parametreler bir grup girdilerdir. Bu girdiler; makine, teknik-yöntem, ekipman ve insan kaynakları gibi girdi çeşitleri olabilir. Parametreler iki yolla deneye yönelik etkisini gösterir. Bu gruptakilerin birincisi, kullanıcı tarafından direk kontrol edilebilen parametreler, örneğin kullanılacak malzemelerin türleri, sıcaklık farklılıkları, karışım miktarları-oranları ve benzeri parametrelerdir. Kontrol edilemeyen parametreler kapsamında ise kullanıcının etkisi-müdahalesinin olmadığı çevre sıcaklığı, nem oranı, sıcaklık farklılıkları, nakliye, tedarik gibi akla gelmeyen, düşünülmemiş birçok nedenlerdir (Montgomery, 2001, s.3-10; Bernd vd., 2007, s. 3-8; Kim vd., 2011, s. 308-313; Subbarao-Url, 2019).

Genel yapısıyla 2^k şeklindeki tasarımlar kalite geliştirme konusunda deneysel ihtiyaçların çoğunluğunu karşılarken yapılacak deney sayısını da gereken seviyede gerçekleştirmektedir. Buna bağlı olarak çalışma kapsamında 2^3 faktöriyel tasarımın uygulanması uygun bulunmuştur (Box vd., 1978, s.306; Baray ve Sarı, 2006, s. 41).

Bir sistemi oluşturan birleşenlere bağlı olarak Şekil 1' de X_1 , X_2 ve X_3 kontrol edilebilen parametreler ve Z_1 , Z_2 ve Z_3 ise kontrol edilemeyen parametrelerdir (Montgomery, 2001, s.7-8; Bernd vd., 2007 s. 3-8; Kim vd., 2011, s. 308-313; Montgomery, 2012, s.3-5; Subbarao, 2019).



Şekil 1. Bir sistem ya da sürecin genel modeli (Subbarao, 2019, Url; Montgomery, 2005c)

Deney sonucunda elde edilecek çıktılar şu sorulara cevap vermelidir?

(i) y Çıktısını en çok etkileyen parametre hangisidir?

(ii) y çıktısı en az, nominal ya da en yüksek değerde istendiği zaman, X parametrelerinin durum ve konumları ne olması gerekir?

(iii) Z_1 , Z_2 ve Z_3 kontrol edilmeyen faktörleri azaltmak için kontrol edilebilen (X) faktörlerin-parametrelerin durum ve konumları ne olması gerekir?

Deneyisel çalışmalarda sayıca çok fazla denemeler yapılır, deneyler uygulanır. Bu deneyler laboratuvar imkânları çerçevesinde pilot uygulama, tam kapsamda uygulama veya klinik ortamında yapılır. Deney tasarımına yönelik için şu aşamalar uygulanması gerekir (Montgomery, 2001, s.7-8; Bernd vd., 2007 s. 3-8; Kim vd., 2011, s. 308-313; Subbarao-Url, 2019, Design-Ease, 2019; Montgomery, 1999b, s.159-160; Montgomery, 2012, s.3):

a) Toplam deney sayısını minimize edebilmek, b) Tasarımcının formüle ettiği-oluşturduğu etkinliği paralel zamanlı ola-

rak değiştirebilmek, c) Doğru bir deney stratejisi içerisinde doğru yolu belirleyebilmek.

Deneyin doğru bir şekilde tasarlanması ile en iyi sonuç alabilmek için veriler doğru bir yolla elde edilerek toplanmış olacaktır. Bu sebepten dolayı deney tasarımı gerçekleştirilirken aşağıda belirtilen sorulara yanıt aranabilecek şekilde tasarım gerçekleştirilmelidir (Montgomery, 2001, s.7-8; Bernd vd., 2007 s. 3-8; Kim vd., 2011, s. 308-313; Subbarao-Url, 2019, Design-Ease, 2019):

- (i) Sonuçlar ve parametrelerin etkisi hesaplanabiliyor mu?
- (ii) Sonucu kaç tane parametre etkiliyor?
- (iii) Eş zamanlı olarak kaç tane parametre hesaba katılmalı?
- (iv) Kaç tane deney tekrarının yapılması gerekiyor?
- (v) Ne tür bir veri analizi (Regresyon, Anova-Varyans Analizi) kullanılmalı?
- (vi) Etkiler üzerindeki hangi seviye farklılıkları ne kadar önemlidir?

İşletme kapsamında ürün/hizmet ve üretim süreçlerinin geliştirilmesi-iyileştirilmesi rekabet ortamında ayakta kalabilmek, ilerleyebilmek için önem arz eden etkinlik, faaliyet ve birleşenlerdendir. Üretilen ürün/hizmetin kalite seviyesi arttıkça işletmenin karlılık düzeyi artış gösterir. Üretim sistemlerinde ürün ve süreçlerin geliştirilip, iyileştirilmesi açısından Deney Tasarım tekniğini kullanmak ve üretim süreçlerindeki uygulama alanlarını genişletmek kaliteyi arttırmaktadır. Bunun sonucunda müşteri memnuniyeti sağlanmakta ve işletmenin karlılığı artmaktadır (Montgomery, 2001, s.7-8, 170; Bernd vd., 2007 s.3-8; Kim vd., 2011, s.308-313; Subbarao-Url, 2019).

Araştırma kapsamında, deney tasarım yöntemi hakkında temel kavramlara ve literatürde yapılmış çalışmalara değinilmiştir. Bu çalışmada kaliteli ürün geliştirmek veya üretmek için yapılmış ve bundan sonraki süreç uygulanması-yapılması önerilen deney tasarımlarına yönelik bilgiler verilmiştir. ²³ lük tam faktöriyel bir deneysel tasarım çalışması Otomobil endüstrisinde

de faaliyet gösteren bir fabrikada yapılmıştır. Bu fabrikanın üretim süreci; pres, kaynak, talaşlı imalat ve montaj bölümlerinden oluşmaktadır. Yapılan araştırma-uygulama kaynak atölyesinde punta kaynak robotu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma bir punta kaynak robotu üzerinde yapılmıştır ve çalışmanın amacı; kaynak robotunun çenelerinde bulunan bakır uçların aşınımını deneysel tasarım çalışması ile incelemek ve yapılan analiz sonucunda bu aşınmayı minimuma indirecek faktörleri belirlemektir. Analiz ve değerlendirmeler Minitab paket programında yapılmıştır. Yapılan deneysel tasarım çalışmasında bakır uçların aşınmasını etkileyen temel faktörler belirlenmiştir. Bu faktörler kuvvet, zaman ve akımdır. Gerçekleşen analizlere bağlı olarak üretimi olumsuz etkileyen hangi faktör olduğu belirtilmiştir. İncelemeler ve hesaplamalar sonucu elde edilen regresyon denklemlerinin de anlamlılıkları İstatistiksel olarak analiz edilip, değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Faktörlerin Belirlenmesi

Bir punta kaynak robotuyla yapılan kaynak işleminde temel ve en önemli faktörler; saclara uygulanan basma kuvveti, robotun tutamaç çenelerinden geçecek olan akımın büyüklüğü ile bu akım ve kuvvetin uygulanma süresi yani zamandır. Bu faktörler girdilerimizi oluştururken asıl varmak istediğimiz sonuç ise bakır uçların aşınma miktarıdır. Bir punta kaynak robotu üzerinde-robotunun çenelerinde bulunan bakır uçların aşınımını deneysel tasarım çalışmasıyla incelemek ve yapılan analiz sonucunda bu aşınmayı minimuma indirecek faktörleri belirlemektir (Certified Welding Inspector-Url, 2019; Gore ve Langston, 2006, s.1-5). Çalışma kapsamındaki deneysel tasarım çalışmasında bakır uçların aşınmasını etkileyen temel faktörler tespit edilmiştir. Bu faktörler Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Deney sistemindeki temel faktörler

Girdiler	Çıktı
Kuvvet	Aşınma Miktarı
Zaman	
Akım	

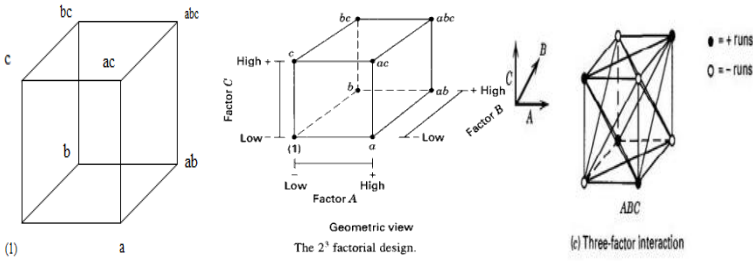
Veri ve Yöntem

Tasarımlarda faktörler ve düzeylerine bağlı olası tüm kombinasyonların denemesi ve tekrarı yapılır. Bu durum ile ilişkili olarak, a sayıda düzeye sahip A faktörü ve b sayıda düzeye sahip B faktörünün axb olası kombinasyonlarının bütünü ile denemeler ve tekrar olan çalışmalar gerçekleştirilir (Box vd., 1978, s.306; Montgomery, 2001, s.171):

Belirlenen 3 faktör için deneysel tasarım çalışması sırasında kullanılmak üzere “düşük” ve “yüksek” olarak iki seviye belirlenmiştir (Tablo 2). Dolayısıyla bu çalışma 3 faktör ve 2 seviyeden oluşan; 2^3 lük bir tam faktöriyel tasarımla gerçekleştirilecektir. Deneylerden elde edilecek sonuçların sağlıklı olabilmesi için, deneyler 2 kez tekrarlanmıştır. Sonuç olarak; $2^3 \times 2 = 16$ adet deney yapılmıştır.

Tablo 2. Deneysel tasarım çalışmasında kullanılan 3 Faktör

Kuvvet	Düşük	1.400	Newton
	Yüksek	1.900	Newton
Zaman	Düşük	120	Milisaniye
	Yüksek	150	Milisaniye
Akım	Düşük	9.750	Amper
	Yüksek	10.200	Amper



Şekil 2. 2^3 Faktöriyel Tasarım- Geometrik Görünüm (Box, Hunter ve Hunter, 1978, s.312; Myers ve Montgomery, 2012:8)

Her biri iki düzeye sahip, A, B ve C gibi üç faktörün olduğu tasarım, 2^3 faktöriyel tasarım olarak adlandırılır. Bu tasarımda, a0b0c0, a1b0c0, a0b1c0, a1b1c0, a0b0c1, a1b0c1, a0b1c1, a1b1c1 veya (1), a, b, ab, c, ac, bc, abc sembolleriyle gösterilen toplam $2^3 = 8$ tane deneme vardır (Şekil 2).

Bir punta kaynağında önemli olan, kaynağın sağlamlığıdır. Kaynağın sağlamlığını bozmadan deneylerin gerçekleştirilmesi için önce çekirdek çapı belirlenmiştir. Bu çap değeri min 3,75 - max 4,5 olarak belirlenmiştir. Deneylere başlamadan önce uçların birbirine paralelliği kontrol edilmiş, bir uygunsuzluk bulunduğunda düzeltilmiştir. Deneyler sırasında 0,9 mm ye 1,5 mm lik saçlar levhalar kullanılmıştır. Yapılan kaynaklar sonucunda uç aşınma değerleri robot panosundan okunmuştur. Her bir aşınma değerinin ölçülebilmesi için 215 adet punta atılıp değerler okunmuştur.

Bulgular

Uygulama kapsamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular Tablo 3'de listelenmiştir.

Tablo 3. Deneyler Sonucunda Elde Edilen Bulgular

Kombinasyon numarası	Başlangıç değeri	1. replikasyon sonrası okunan değer	2. replikasyon sonrası okunan değer	Punta ile aşınma miktarı (iki uçta toplam)	Kuvvet	Zaman	Akım	Kuvvet (daN)	Zaman (sn)	Akım (kA)	Enerji
1	1,18	1,18	1,12	0,07	Kuvvet düşük	Zaman düşük	Akım düşük	140	0,15	9,80	10,24
2	0,85	0,85	0,83	0,05	Kuvvet düşük	Zaman düşük	Akım yüksek	140	0,15	10,6	11,22
3	0,65	0,65	0,66	0,09	Kuvvet düşük	Zaman yüksek	Akım düşük	140	0,18	9,80	13,04
4	0,25	0,25	0,28	0,04	Kuvvet düşük	Zaman yüksek	Akım yüksek	140	0,18	10,6	14,28
5	1,34	1,34	1,35	0,05	Kuvvet yüksek	Zaman düşük	Akım düşük	190	0,15	9,80	10,24
6	0,78	0,78	0,80	0,07	Kuvvet yüksek	Zaman düşük	Akım yüksek	190	0,15	10,6	11,22
7	0,55	0,55	0,56	0,06	Kuvvet yüksek	Zaman yüksek	Akım düşük	190	0,18	9,80	13,04
8	0,20	0,20	0,23	0,09	Kuvvet yüksek	Zaman yüksek	Akım yüksek	190	0,18	10,6	14,28

Tablo 3'deki deneye yönelik değerler, robot panosundan okunduğu için robotun başlangıçta aldığı referans değere göre hesaplanmıştır. Bu tabloyu temel alarak iki Replikasyon sonucunda meydana gelen aşınma değerleri Tablo 4'de göstermiştir.

Tablo 4. İki Replikasyon Sonucunda Elde Edilen Bulgular

Kombinasyon numarası	Başlangıç değeri	1. replikasyon sonrası okunan değer	2. replikasyon sonrası okunan değer	Kuvvet	Zaman	Akım	Kuvvet daN	Zaman sn	Akım kA
1	1,18	0,02	0,02	Kuvvet düşük	Zaman düşük	Akım düşük	140	0,15	9,80
2	0,85	0,01	0,01	Kuvvet düşük	Zaman düşük	Akım yüksek	140	0,15	10,6
3	0,65	0,01	0,00	Kuvvet düşük	Zaman yüksek	Akım düşük	140	0,18	9,80
4	0,25	0,02	0,01	Kuvvet düşük	Zaman yüksek	Akım yüksek	140	0,18	10,6
5	1,34	0,00	0,02	Kuvvet yüksek	Zaman düşük	Akım düşük	190	0,15	9,80
6	0,78	0,01	0,00	Kuvvet yüksek	Zaman düşük	Akım yüksek	190	0,15	10,6
7	0,55	0,02	0,03	Kuvvet yüksek	Zaman yüksek	Akım düşük	190	0,18	9,80
8	0,20	0,03	0,05	Kuvvet yüksek	Zaman yüksek	Akım yüksek	190	0,18	10,6

Tablo 4’de yer alan kuvvet, zaman ve akımın faktörlerine bağlı olarak meydana gelen değişimlerin bakır uçların aşınması üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmiştir. İki Replikasyon sonucunun özet tablosu Tablo 5’deki gibidir.

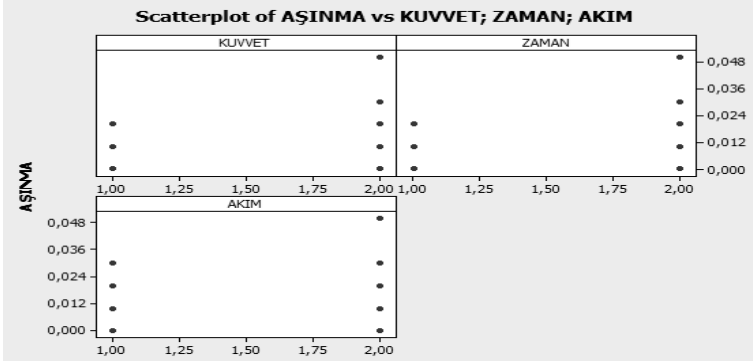
Tablo 5. İki Replikasyon Sonucunun Özet Tablosu

Faktör			Tretman Komb.	Replikasyon		Toplam
A	B	C		1	2	
-	-	-	1	0,02	0,02	0,04
-	-	+	C	0,01	0,01	0,02

-	+	-	B	0,01	0,00	0,01
-	+	+	BC	0,02	0,01	0,03
+	-	-	A	0,00	0,02	0,02
+	-	+	AC	0,01	0,00	0,01
+	+	-	AB	0,02	0,03	0,05
+	+	+	ABC	0,03	0,05	0,08

Verilerin Analizi

Scatter diyagram ile noktaların (verilerin) ne kadar sıkı bir şekilde kümelendiğine bağlı olarak, verilerdeki açık bir eğilimi fark edilebilir. Veri noktaları, teorik olarak hesaplanmış değerler yerine laboratuvar ortamında toplanan gerçek verileri temsil ettiğinden, bu tür bir toplama sürecinde doğabilecek tüm hataları temsil edecektir. Analiz sonucu elde edilen verilere bağlı olarak Scatter-Saçılım Diyagramı ile deneyde kullanılan 3 faktörün (Kuvvet, Akım ve Zaman) aşınma üzerindeki etkisini Şekil 3’de görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. Deneyde kullanılan 3 faktörün (Kuvvet, Akım ve Zaman) aşınma üzerindeki etkisinin Saçılım Diyagramı ile gösterimi

Deney kapsamında incelenmek-araştırılmak üzere belirtilen, tespit edilen hipotezler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\hat{y}_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon$$

$$\begin{cases} i = 1, \dots, a \\ j = 1, \dots, b \\ k = 1, \dots, c \\ l = 1, \dots, n \end{cases}$$

$\tau\beta\gamma_{ijk}$: A faktörünün i -inci, B faktörünün j 'inci ve C faktörünün k 'uncu düzeyinin etkileşimini gösteren model parametresidir. 2^3 faktöriyel tasarım için matematiksel modelde,

y_{ijk} : A faktörünün i 'inci ve B faktörünün j 'inci düzeyindeki k 'uncu gözlem değerini,

μ : Genel ortalama,

τ_i : A faktörünün i -inci düzeyinin etkisini,

β_j : B faktörünün j -inci düzeyinin etkisini,

γ_k : C faktörünün k -inci düzeyinin etkisini

$\tau\beta_{ij}$: A ve B faktörlerinin etkileşim etkisini ve

$\tau\gamma_{ik}$: A ve C faktörlerinin etkileşim etkisi

$\beta\gamma_{jk}$: B ve C faktörlerinin etkileşim etkisi

ϵ_{ijkl} : Rastgele hata terimlerini

$$\hat{y}_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

$$\begin{cases} i = 1, \dots, a \\ j = 1, \dots, b \\ k = 1, \dots, c \\ l = 1, \dots, n \end{cases}$$

$$H_{0(\text{kuvvet})} = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$$

$$H_{1(\text{kuvvet})} = \text{en az bir } \tau_i \neq 0$$

$$H_{0(\text{zaman})} = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_{1(\text{zaman})} = \text{en az bir } \beta_j \neq 0$$

$$H_{0(\text{akım})} = \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0$$

$$H_{1(\text{akım})} = \text{en az bir } \gamma_k \neq 0$$

$$H_{0(\text{kuvvet} * \text{zaman})} = (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ bütün } i, j \text{ ler için}$$

$$H_{1(\text{kuvvet} * \text{zaman})} = \text{en az bir } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

$$H_{0(\text{kuvvet} * \text{akım})} = (\tau\gamma)_{ik} = 0 \text{ bütün } i, k \text{ lar için}$$

$$H_{1(\text{kuvvet} * \text{akım})} = \text{en az bir } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$$

$$H_{0(zaman*akim)} = (\beta Y)_{jk} = 0 \text{ bütün } j,k \text{ lar için}$$

$$H_{1(zaman*akim)} = \text{en az bir } (\beta Y)_{jk} \neq 0$$

$$H_{0(kuvvet*zaman*akim)} = (\tau\beta Y)_{ijk} = 0 \text{ bütün } i,j,k \text{ lar için}$$

$$H_{1(kuvvet*zaman*akim)} = \text{en az bir } (\tau\beta Y)_{ijk} \neq 0$$

Tablo 6. Anova (Analysis of Variance- Varyans Analizi) Analizi sonuç Tablosu

Source	DF	SEQ SS	ADJ SS	ADJ MS	F	P
Kuvvet	1	0,0002350	0,0002350	0,0002250	3,00	0,125
Zaman	1	0,0003000	0,0003000	0,0004000	5,43	0,050
Akım	1	0,0000260	0,0000260	0,0000250	0,35	0,570
Kuvvet*Zaman	1	0,0008000	0,0008000	0,0009000	12,00	0,009
Kuvvet*Akım	1	0,0000260	0,0000260	0,0000250	0,35	0,570
Zaman* Akım	1	0,0005000	0,0005000	0,0004000	5,35	0,050
Kuvvet*Zaman* Akım	1	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,00	
Error	8	0,0006000	0,0006000	0,0000750		
Total	15	0,0025750				
<p>DF (Degree of Freedom- Serbestlik Derecesi); SEQ SS (Sequential Sum of Squares- Ardışık kareler toplamı); ADJ SS (Adjusted sum of squares-Düzeltilmiş kareler toplamı); ADJ MS (Adjusted mean of squares--Düzeltilmiş kareler ortalaması); F: Fisher; P: Probability Statics</p>						
<p>S = 0,00866025 R-Sq = 76,70% R-Sq(adj) = 56,31%</p>						

Yapılan Anova (Analysis of Variance- Varyans Analizi) Analizi sonucu kurulan hipotezlerin sonuçları aşağıda ifade edilmiştir:

Kuvvet	→	H_0 Reddedilemez
Zaman	→	H_0 Red
Akım	→	H_0 Reddedilemez
Kuvvet*Zaman	→	H_0 Red
Kuvvet*Akı	→	H_0 Reddedilemez
Zaman*Akı	→	H_0 Red
Kuvvet*Zaman*Akı	→	H_0 Reddedilemez

Tablo 6'daki ANOVA Tablosuna göre temel faktör olan A, B ve C den sadece Zaman(B) faktörünün istatistiksel olarak anlamlı çıktığı, fakat etkileşimlere bakıldığında Zaman(B) faktörünün diğer her iki faktör olan Kuvvet (A) ve Akım (C) ile de etkileşimlerinin anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

İstatistiklerde, varyans analizi (ANOVA), bir istatistiksel model koleksiyonudur ve belirli bir değişkende gözlenen varyansın, farklı varyasyon kaynaklarına atfedilebilen bileşenlere bölüdüğü ilgili prosedürlerdir. En basit haliyle ANOVA, birkaç grubun araçlarının hepsinin eşit olup olmadığına ilişkin istatistiksel bir test sunar ve bu nedenle t-testini ikiden fazla gruba yönelik uygulanır (Montgomery, 2012:71; Kim, vd., 2011:308-310).

Ardışık kareler toplamı (SEQ SS sütununda) (regresyon cinsinden) listelenen değişkene karşılık gelen tüm gösterge değişkenleri için kareler toplamı, daha önce listelenen değişkenlere karşılık gelen tüm terimler verilmiştir. Varyans terimlerinin analizinde sıralı kareler toplamı, daha önce listelenen tüm değişkenleri (azaltılmış model) içeren bir modelle birlikte, hata için karelerin toplamı arasındaki farkı alarak elde edilen karelerin toplamıdır. Yeni değişkeni önceden listelenenlere ekleyerek elde edilir (Montgomery,2012, s.31-32; Laurent, 2019; Normal Test Plot-Url, 2019; Peltier-Url, 2019; Scatter Plot-Url, 2019). Düzeltilmiş kareler toplamı (ADJ SS sütununda) (regresyon terimlerinde), diğer tüm terimler verilen, terime karşılık gelen tüm gösterge değişkenleri için karelerin toplamıdır. Varyans terimlerinin analizinde: düzeltilmiş kareler toplamı, söz konusu

değişkenin atlanmasıyla elde edilen indirgenmiş model ile tam model karşılaştırılırken karelerdeki hata toplamlarındaki farktır. Doğrusal regresyon denklemi, bir katsayı tablosu, regresyon çizgisi ile ilgili standart sapma tahmini, tayin katsayısı (R-kare), serbestlik dereceleri için ayarlanan R-kare, varyans tablosunun analizi ve olağandışı gözlemler yoluyla elde edilir (Montgomery, 2012, s.31-32; Laurent, 2019; Normal Test Plot-Url, 2019; Peltier-Url, 2019; Scatter Plot-Url, 2019).

Etkilerin Hesaplanması ve Regresyon Denklemi

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılması için istatistiksel bir araçtır. Genellikle araştırmacı, bir değişkenin bir başkasının nedensel etkisini belirlemeye çalışır. Fiyat artışının talep üzerine etkisi artar, örneğin para arzındaki değişikliklerin enflasyon üzerindeki etkisi. Bu tür sorunları araştırmak için araştırmacı, ilgilenilen değişkenler hakkında veri toplar ve nedensel değişkenlerin etkiledikleri değişken üzerindeki nicel etkisini tahmin etmek için regresyon kullanır (Schäfer ve Finke, 2008, s. 477-491; Shivhare ve McCreath, 2010; Laurent-Url, 2019).

Tablo 7. Faktörlerin Replikasyon-Etkileşim Özet Tablosu

FAKTÖR			TRETMAN KOMB.	REPLİKASYON		TOPLAM
A	B	C		1	2	
-	-	-	1	0,02	0,02	0,04
-	-	+	C	0,01	0,01	0,02
-	+	-	B	0,01	0,00	0,01
-	+	+	BC	0,02	0,01	0,03
+	-	-	A	0,00	0,02	0,02
+	-	+	AC	0,01	0,00	0,01
+	+	-	AB	0,02	0,03	0,05
+	+	+	ABC	0,03	0,05	0,08

Faktörlerin etkenlerin hesaplanması aşağıdaki gibidir. Formüldeki kullanılan ve hesaplanan değerler, Tablo 7 'deki değerlerdir:

$$\begin{aligned} \text{Etki}_A &= \frac{C_B}{2^{k-1} * n} = \frac{(A + AC + AB + ABC - 1 - C - B - BC)}{(2^{3-1} * 2)} \\ &= \frac{(0,02 + 0,01 + 0,05 + 0,08 - 0,04 - 0,02 - 0,01 - 0,03)}{8} = 0,0075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Etki}_B &= \frac{C_B}{2^{k-1} * n} = \frac{(B + BC + AB + ABC - 1 - C - A - AC)}{(2^{3-1} * 2)} \\ &= \frac{(0,01 + 0,03 + 0,05 + 0,08 - 0,04 - 0,02 - 0,02 - 0,01)}{8} = 0,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Etki}_C &= \frac{C_C}{2^{k-1} * n} = \frac{(C + BC + AC + ABC - 1 - B - A - AB)}{(2^{3-1} * 2)} \\ &= \frac{(0,02 + 0,03 + 0,01 + 0,08 - 0,04 - 0,01 - 0,02 - 0,05)}{8} = 0,0025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Etki}_{AB} &= \frac{C_{AB}}{2^{k-1} * n} = \frac{(1 + C + AB + ABC - B - BC - A - AC)}{(2^{3-1} * 2)} \\ &= \frac{(0,04 + 0,02 + 0,05 + 0,08 - 0,01 - 0,03 - 0,02 - 0,01)}{8} = 0,0175 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Etki}_{BC} &= \frac{C_{BC}}{2^{k-1} * n} = \frac{(1 + BC + A + ABC - C - B - AB - AC)}{(2^{3-1} * 2)} \\ &= \frac{(0,04 + 0,03 + 0,02 + 0,08 - 0,01 - 0,01 - 0,05 - 0,01)}{8} = 0,0112 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Etki}_{AC} &= \frac{C_{AC}}{2^{k-1} * n} = \frac{(1 + B + AC + ABC - C - BC - A - AB)}{(2^{3-1} * 2)} \\ &= \frac{(0,04 + 0,01 + 0,01 + 0,08 - 0,02 - 0,03 - 0,02 - 0,05)}{8} = 0,0025 \end{aligned}$$

$$Etki_{ABC} = \frac{C_{ABC}}{2^{k-1} * n} = \frac{(C + B + A + ABC - 1 - AB - AC - BC)}{(2^{3-1} * 2)}$$

$$\frac{(0,02 + 0,01 + 0,02 + 0,08 - 0,04 - 0,03 - 0,01 - 0,05)}{8} = 0$$

=

Hesaplanan etki değerlerine bakıldığında, B (0,01), AB (0,0175) ve BC (0,0112) ve etkileşimleri daha yüksek etkiye sahiptir.

Regresyon Denklem

Ele alınan çalışmadaki veriler doğrultusunda yapılan hesaplamalara bağlı olarak elde edilen regresyon denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 * X_1 * x_2 + \beta_2 * x_1 * x_2 + \beta_3 * x_2 * x_3$$

$$\hat{y} = 0,01625 + 0,001 * x_2 + 0,00875 * x_1 * x_2 + 0,005625 * x_2 * x_3$$

Bu denklemde kullanılan değişkenler X_1 , X_2 ve X_3 sırasıyla A, B, C'yi temsil eder. $X_1 * X_2$ terimi AB etkileşimini, $X_2 * X_3$ terimi de BC etkileşimini sembolize etmektedir.

Denklemin Geçerliliğinin Testi

$$SS_{MODEL} = SS_{ZAMAN} + SS_{KUVVET * ZAMAN} + SS_{ZAMAN * AKIM} = 0,0005000 + 0,0007000 + 0,0005000 = 0,0017$$

$$SS_{TOPLAM} = 0,0025650$$

SS: Sum of Square (Kareler Toplamı)

Tablo 8. Regresyon Analiz Tablosu

D.K	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F ₀ (Fisher)
Regresyon	0,0017	3	0,000566667	7,782539
Hata	0,000865	12	0,0000729167	
Toplam	0,002565	15		

Yukarıdaki analiz sonucu elde edilen verilere bağlı olarak (Tablo 8); $F_{hesaplanan} > F_{tablo} \rightarrow (7,782539 > 3,49)$ $F_0 > F_{0,05;3,12}$ olduğu için ($F_{hesaplanan} > F_{tablo}$) olduğu için regresyon denklemi istatistiksel olarak anlamlıdır.

Kararlılık Katsayısı

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = \frac{0,0017}{0,002565} = 0,6627$$

Kararlılık katsayısı 1'e yaklaştıkça denklemin kuvveti de artmaktadır.

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{SS_E/(n-p)}{SS_T/(n-1)} = 1 - \frac{0,0000729168}{0,000171668} = 0,57524$$

Minitab Programı ile elde edilen Regresyon Denklemi

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0 \text{ en az bir } j \text{ için}$$

Analiz sonucu elde edilen verilere bakarak $F_{\text{hesaplanan}} = 1,39$; $F_{(0,05,3,12)\text{tablo}} = 3,49 \rightarrow F_{\text{hesaplanan}} < F_{\text{tablo}}$ olduğu için H_0 reddedilemez, yani regresyon denkleminin istatistiksel olarak anlamsız olduğunu söylenebilir.

Sonuç ve Yorumlar

İşletmelerin başarısı, tüketicilerin ihtiyaçlarını belirleme ve bunu kısa sürede ve düşük maliyetle üretilen kaliteli ürünlere dönüştürme becerisine bağlıdır. Deneylemlerin yürütülmesi için ürün tasarımına büyük zaman harcanır. Tasarım süresini azaltmanın bir yolu, deneylemlerin verimli bir şekilde yürütülmesidir. Deney Tasarımı (DT), ürün veya süreç kalitesini iyileştirmek ve hedeflenen düzeydeki performans ölçüm değişkenliğini etkili ve verimli bir şekilde azaltmak için güçlü bir tekniktir. Karmaşıklıkla önemli bir yönü ve istatistiksel düşünme felsefesinin temel bir bileşeni olan süreçlerin değişkenliğini incelemek ve azaltmak için sistemde önemli bir tekniktir. Sistem parametreleri ile performans ölçüleri arasındaki nedensel ilişkiyi keşfetmek, anlamak ve kurmak için etkili bir yaklaşımdır. Bir deneyin yürütülmesi, bilinen veya en azından çalışılan bir sürecin performansını etkilediğine inanılan parametrelerin değiştirilmesini içerir, böylece bunlar hakkında bilgi sahibi olunur.

DT, çeşitli faktörleri içeren deneylerde kullanılan deneylerin faktöriyel tasarımını kullanır ve bu durum, süreçteki faktörlerin etkilerini araştırmak için çok sayıda deney gerektirir, ancak bu yüksek sayıda deney, malzeme, insan kaynakları ve zaman açısından maliyetlidir. Bu nedenle, deney tasarımı yöntemi ile süreç için gerçekten önemli olan faktörlerin belirlenmesi için bir ön çalışma gereklidir ve bu yapıldıktan sonra çıktı değişkeninde bu faktörlerin etkileşimli etkilerinin araştırılması yapılır.

Gerçekleştirilen çalışmada bir punta robot kaynağının çenelerinde bulunan bakır uçların aşınması incelenmiştir. Bakır uçların aşınmasını incelerken 2^3 'lük tam faktöriyel bir deneysel tasarım çalışması yapılmıştır. Deneylerin gerçekleştirilmesi için belirlenen faktörler bilindiği gibi Kuvvet, Zaman ve Akımdır. Yapılan analizler sonucunda bakır uçların aşınmasını etkileyen en önemli faktörün Zaman faktörü olduğu gözükmemektedir.

Kuvvet ve Akım faktörleri tek başlarına istatistiksel olarak anlamlı bulunmasalar da bu faktörlerin Zamanla etkileşimleri önemli ölçüde aşınma üzerinde etkilidir. Zaman faktörünün, diğer faktörle olan ters yönlü etkileşiminden dolayı aşınmayı minimum seviyede tutabilmek için Zaman yüksek seviyede tutulduğunda Kuvvet ve Akım düşük seviyede bulunmalı ya da Zaman düşük seviyede tutulduğunda Kuvvet ve Akım yüksek seviyede bulunmalıdır. İncelemeler ve hesaplamalar sonucu elde edilen regresyon denklemlerinin anlamlılıkları test edilmiştir. Ana etkiler ve etkileşimlere göre elde edilen regresyon denkleminin geçerliliği istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır.

Diğer bir regresyon denklemi de Minitab paket programından elde edilmiştir. Bu programdan elde edilen regresyon denklemi test edildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bunun sebebi sadece Ana Etkileri-Faktörleri denkleme katması, etkileşimleri göz önünde bulundurmamasıdır. Ancak çalışma kapsamında yapılan analizde tek bir faktör olan zaman ve zamanın diğer faktörlerle (Kuvvet ve Akım) etkileşimleri aşınma için bir anlam ifade etmektedir. Buna bağlı olarak sade-

ce ana etkileri göz önüne alan oluşturulan regresyon denklemi anlamsız çıkmaktadır.

Araştırma kapsamında, kaynak atölyesindeki kaynak robotunun çenelerinde bulunan bakır uçların aşınma durumu azaltılmıştır. Böylelikle kalite iyileştirmesi ve geliştirilmesinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir, fabrikanın verimliliğinde ve karlılığında artış sağlamıştır. Deney tasarımı ile üretim sürecinin geliştirilmesi-iyileştirilmesi sağlanmış, kalite sorunu az maliyetle azaltılarak kaliteli üretim düzeyi arttırılmıştır.

Teşekkür

Çalışmalar sırasında verdikleri destek için şirket yöneticisine ve deneylerin gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı fabrika atölye şeflerine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Andersson, P. (1997). On Robust Design in the Conceptual Design Phase: A Qualitative Approach, *Journal of Engineering Design*, 8(1), 75-89.
- Antony, J. ve Capon, N. (1998). Teaching Experimental Design Techniques to Industrial Engineers, *International Journal of Engineering Education*, 14(5), 335-343.
- Bahloul, R., Mkaddem, A., Santo, P.D. ve Potiron, A. (2006). Sheet metal bending optimisation using response surface method, numerical simulation and design of experiments, *International Journal of Mechanical Sciences*, 48, 991-1003.
- Baray, A. ve Sarı, T. (2006). Kalite Geliştirmede Deney Tasarımı Yöntemi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 35 (2), 37-62.
- Beal, A., Claeys-Bruno, M. ve Sergent, M. (2014). Constructing space-filling designs using an adaptive WSP algorithm for spaces with constraints. In *Chemometrics and intelligent laboratory Systems*, 133, 84-91.
- Bernd, A., Behrens, P., Poeschl, O., Milch, M. ve Helms, G. (2007). International Journal of Prod. Eng. Res. Devel 1, s.3-8, Optimization of

- ironing process by means of DOE, Production Process.
- Box, G. E. P., Hunter, W. G. and Hunter, J. S. (1978). *Statistics for Experimenters an Introduction to Design, Data Analysis and Model Building*, John Wiley& Sons..
- Certified Welding Inspector and Educator Package, American Weldin Society, LeJeune Road, Miami, Florida, Erişim Tarihi: 12.05.2019, https://app.aws.org/certification/docs/packages/cwi_cwe_pkg.pdf.
- Cheng, W.T., Li, H.C. ve Huang, C.N. (2008). Simulation and optimization of silicon thermal CVD through CFD integrating Taguchi method. *Chemical Engineering Journal*, 7 (3), 603-613.
- Davim J. P., (2001). A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments, *Journal of Materials Processing Technology*, 116, 305-308.
- Design-Ease(R) software, Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, <http://www.statease.com>, Erişim Tarihi: 20.05.2019.
- Dizdar, E.N. (1998). *Üretim sistemlerinde olası iş kazaları için bir erken uyarı modeli*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD.
- Garud, S. S., Karimi, I. A., ve Kraft, M. (2017). Design of computer experiments: A review. In *Computers and chemical engineering*, 106, 71-95.
- Griffiths, C. A; Howarth, J; De Almeida-Rowbotham, G.; Rees, A. ve Kerton, R. (2016). A design of experiments approach for the optimisation of energy and waste during the production of parts manufactured by 3D printing, *Journal of Cleaner Production*, 1-41.
- Gore, D. W. ve Langston, D. R. (2006). University And Industry Collaboration to Solve Welding Quality Problem Using Design Of Experiments (Doe), s.1-5 2006 CIEC Conference, https://cdnm.statease.com/pubs/CIEC_paper_Gore&Langston.pdf.
- Hamzaçebi, C., Kutay, F. (2003). Taguchi metodu: bir uygulama. *Tekno-*

loji, (3-4), 7-17.

Izgı, S. (2001). *Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu Ürün ve Proseslerin Optimizasyonu*, Federal Mogul, İstanbul.

Karimshoushtari, M. ve Novara, C. (2020). Design of experiments for nonlinear system identification: A set membership approach. *Automatica*, 119, 109036.

Kim, W., Jeon, W. H., Hur, N. ve Hyun, J.J.(2011). Development of a low-noise cooling fan for an alternator using numerical and DoE methods, *International Journal of Automotive Technology*, 12 (2), 307-314.

King, DW., DeVor, RE., Chang, T. ve Sutherland, JW. Statistical quality design and control, *Technometrics*, 35 (1993), s. 331.

Laurent, E. C., HEC Paris, Fall 2011, *Topic 4. Multivariate Regressions*, Erişim Tarihi: 15.05.2019.
<https://www.coursehero.com/file/27185656/Topic4-MultivariateRegressionspdf>.

Montgomery, D. C., (2012). *Design and analysis of experiments*, 8th Edition, John Wiley, Wiley & Sons, New York, 1-19.

Montgomery, D.C.(2001). *Design and Analysis of Experiments*, 5th Edition, John Wiley&Sons.

Montgomery, D. C. (1999b). Experimental Design for Product and Process Design and Development, *The Statistician*, 49, Part 2, 159-177.

Montgomery, D. C. (2001a). *Design and Analysis of Experiment*, New York, John Wiley&Sons.

Montgomery, D. C. (2005c). *Introduction to Statistical Quality Control*, Fifth Edition, John Wiley&Sons.

Normal Test Plot, Skymark, Erişim Tarihi: 12.03.2019,
http://www.skymark.com/resources/tools/normal_test_plot.asp.

Oudjene, M. ve Ben-Ayed, L. (2008). On the parametrical study of clinch joining of metallic sheets using the Taguchi method. *Engineering Structures*, 30 (6), 1782-1788.

- Peltier, J. (2010). *Main Effects and Interaction Plots*, Erişim tarihi: 24.05.2019, <http://peltiertech.com/WordPress/main-effects-and-interaction-plots>.
- Robert L. M., Richard F. G. ve James L. H. (2003). *Statistical Design and Analysis of Experiments with Applications to Engineering and Science*, John Wiley & Sons Ltd Publications.
- Ross, P. J. (1989). *Taguchi techniques for quality engineering, loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design*, McGraw-Hill International Book Company, 1-66, 167-202.
- Rosa, J. L., Robin, A., Silva, M.B., Baldan, C.A. ve Peres. M.P. (2009). Electrodeposition of copper on titanium wires: Taguchi experimental design approach. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(3), 1181-1188.
- Scatter Plot, Erişim tarihi: 24.05.2019, <http://www.netmba.com/statistics/plot/scatter>.
- Schäfer, C. ve Finke, E. (2008). *Shape optimisation by design of experiments and finite element methods – an application of steel wheels*, Struct Multidisc Optim, 36, 477-491.
- Schindler, S., Bauer, M., Cheetamun, H. ve Danzer, M. A. (2018). Fast charging of lithium-ion cells: Identification of aging-minimal current profiles using a design of experiment approach and a mechanistic degradation analysis. *Journal of Energy Storage*, 19, 364-378.
- Shaw, M. (1984). *Metal Cutting Principles*, Oxford University Press, Oxford, s. 450-542.
- Shivhare, M. ve McCreath, G. (2010). *Practical Considerations for DoE Implementation in Quality By Design*, BioProcess International, BioProcess. Erişim Tarihi: 12.05.2019, <https://bioprocessintl.com/manufacturing/information-technology/practical-considerations-for-doe-implementation-in-quality-by-design-297328>.
- Subbarao, PMV. Mechanical Engineering Department, Selection of Significant Parameters for Experimentation, Erişim Tarihi: 14.04.2019, <https://slideplayer.com/slide/5935873>.

- Suhartono, Suhermi, N. ve Prastyo, D. D. (2018). Design of Experiment to Optimize the Architecture of Deep Learning for Nonlinear Time Series Forecasting. *Procedia Computer Science*, 144, 269-276.
- Taguchi, G. (1990). *Introduction to quality engineering*, Asian Productivity Organisation, Japan, 97-132.
- Taguchi, G. ve Konishi, S. (1987). Taguchi Methods, Orthogonal Arrays and Linear Graphs, *Tools for Quality Engineering*, American Supplier Institute, s. 35-38.
- Thompson, V. S., Gupta, M., Jin, H., Vahidi, E., Yim, M. ve Jindra, M. A. (2018). Techno-economic and life cycle analysis for bioleaching rare-earth elements from waste materials, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6 (2), 1602-1609.
- Kırıs, S., Anagün, A.S. ve Yüzügüllü, N. (2009). Bir kalite karakteristiğinin deney tasarımı ile iyileştirilmesi, c. 1-5, Erişim tarihi: 20.01.2009, <http://mmf.ogu.edu.tr/sanagun/Docs/Dok34.pdf>.
- Yang, W. H. ve Tarng, Y. S., (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, 84, 122-129.
- Yondo, R., Andrés, E. ve Valero, E. (2018). A review on design of experiments and surrogate models in aircraft real-time and many-query aerodynamic analyses. *Progress in Aerospace Sciences*, 96, 23-61.

