

# DENEY TASARIM NEDENLERİNİ BİLİYORSANIZ SONUCU DEĞİŞTİREBİLİRSİNİZ!

Barış Oğuz<sup>1</sup>

## 1. GİRİŞ

Bu yazıda, üretimde yenilik ve geliştirme için kullanılacak bir gereklilikten, "Deneysel Tasarım"ın endüstrideki kullanımından bahsedilecektir. "Deneysel Tasarım" ("Deney Tasarımı" olarak da kullanılmaktadır), bir sonucu oluşturan etkenlerin sonuç üzerindeki etkisini ölçen, sonucu optimize eden ve etkenlerin değerlerinin bilinmesini sağlayan istatistiksel bir yöntemdir. Günümüzde birçok kuruluştaki gerçekleştirilen gelişmelerin ve buluşların arkasındaki yaklaşım da bu yöntemdir.

Birçok süreci yakından inceleme ve sürecin verilerini irdeleme olanağı bulan bir kişi olarak, iki önemli konuyu dikkatinize sunmak isterim. Bu konulardan ilki, kuruluşun güçlüklerle katlanarak ve para harcayarak derlediği verilerdir. Veriler, bir kuruluştaki raporlama ve iyileştirme amaçlı olarak iki temel işlevi yerine getirir. Herkesin bildiği gibi ortalaması yüz olan bir seri, birçok farklı veri setinden elde edilebilir. Örneğin on, yüz, yüz doksan serisi de yüz ortalama değerini verir. Yüz on, yüz, doksan serisi de yüz ortalama değerini verir. Günün sonunda her iki seri

için de sonuç ortalaması yüz'dür ve yüz değeri raporlanır. Peki, bu iki serinin hikayesi aynı mıdır? Eğer ikisi de aynı olarak değerlendirilirse bir hata yapılmış olur. Sözelimi bir gün on, bir gün yüz doksan, elde eden bir süreçte çalışan kişi, en masum kestirimle "ne yazarsan yaz gider" diye düşünebilir ki, bence haklıdır.

İkinci önemli konu da, istatistik olarak adlandırdığımız, veri işleme araçlarındaki inanılmaz gelişimdir. İstatistik yazılımları bizlere her geçen gün hayatı daha da kolaylaştırmakta ve en karmaşık verilerin irdelenmesini olanaklı hale getirmektedir. Bir örnek sunmak gerekirse; üretimde kullanılan bir katalizör, katkı maddesi ya da bir kimyasal için eskiden tedarikçinin sunduğu standart ürüne mahkumken, şimdi doğru bir yazılım ve doğru verilerle sizin üretim koşullarınıza en uygun hammaddeyi belirleyip, tedarikçiden hammaddenin içeriğini istenilen özelliklerle değiştirmesi istenebilmektedir.

Endüstriyel dünyada çeşitli gelişmeler yaşanmaya devam ederken biz, üretimde elde ettiğimiz verilerin hangilerine aşağıdaki soruları sormaktayız?

<sup>1</sup> IASSC SSMBB, Bursa - [info@barisoguz.com](mailto:info@barisoguz.com)

“Güven aralığı nedir?

Verilerimin standart sapması nedir?

Aynı işi yapan A, B, C makinalarının çalışma verimleri arasında istatistiksel olarak fark var mı?

Bu ayki tüketimlerim, geçen aylardaki tüketimle karşılaştırıldığında, eğilimleri örtüşüyor mu?

Regresyon (bir değişkenin ortalama çıktı değeri ile diğer değişkenlerin karşılık gelen değerleri arasındaki ilişkinin ölçüsü) ve korelasyon (ilişki, bağıntı) değerleri nedir?”

Eğer bu sorular kurumunuzdaki uygulamanın alışılagelmiş bir parçası ise, güncel değişiklikleri izleyebildiğiniz ve zamanı yakaladığınız söylenebilir. Bu durumda, istatistik aracılığı ile verilerinizi değerlendirerek, fark yaratacak bilgilere ulaşabiliyorsunuz demektir.

İki önemli konu olan veriler ve istatistikten etkin olarak yararlanılamıyorsa, bu verilerin irdelenmesinin zor olduğu düşünülüyor ve verilerin nasıl tutulacağı konusunda problem yaşıyorsa, doğru bir yazılım ile doğru kurgulanmış basit ancak amacı olan bir veri derleme sistemi oluşturmak gerektiği açıktır ve günümüzde bunu yapmak çok kolaydır.

Esas konuya giriş yapılırken, bu noktanın çözülmesi gerekir. Doğru ilerleme ve gelişim, doğru verinin işlenmesi ve irdelenmesi ile olasıdır. Bunun aksini aramak ve uğraşmak, boşa harcanmış zaman olarak görülebilir.

## 2. DENEYSEL TASARIM KULLANIMI

Deneysel tasarım, literatürdeki adı ile “Design of Experiment” (DOE) son derece gelişmiş bir istatistik aracı olarak görülmektedir. Bu şekilde, sonucun oluşumunu şekillendiren etkenlerin sonuç ile ilişkisi ve bu ilişkinin düzeyi ölçümlenebilmektedir. Şöyle bir örnek verilebilir. Üretilen ürünün viskozitesini (akışkanlığını) üç değişik etkene bağlı olarak istenilen değere ulaştırabilmek olasıdır. Bu üç etken; sıcaklık, hammadde tipi ve süre olsun. Bilinmek istenilen, belli bir viskozite değerini elde etmek için hangi sıcaklık, hangi hammadde ve ne kadar süreye gereksinim duyulduğu bilgisi ise, bu bilgiyi DOE sağlamaktadır ve DOE, yalnızca verilen bilgiyi değil, irdelenmede kullanılan etkenler çerçevesinde, gelecekte olabilecek sonuçlarla ilgili bilgileri de vermektedir.

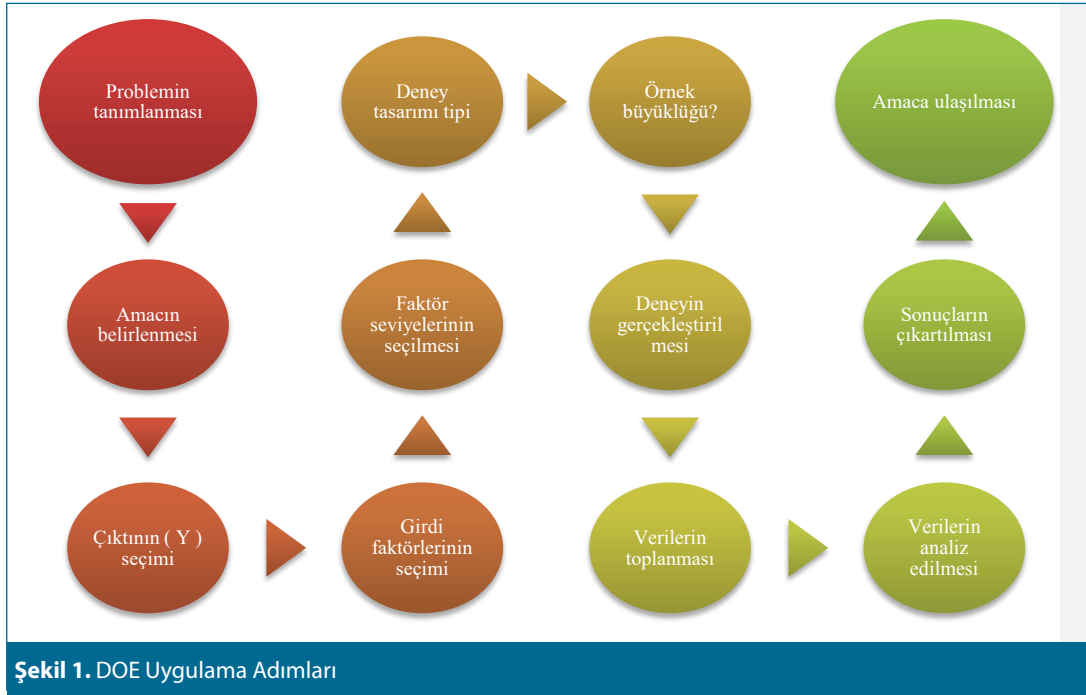
Bu yazıda, çok teknik detaylara girilmeden birkaç örnek

üzerinden DOE kavramına açıklık getirilmeye çalışılacaktır. Herhangi bir DOE analizi, en az iki tip değişkenden oluşur. İlki bağımlı değişken olarak adlandırılan istenilen sonuç, yazıda sıklıkla “Y” harfi ile belirtilecektir. İkincisi ise, bu bağımlı değişken üzerinde etkili olduğu düşünülen, bağımsız değişkenler ki bunlar da “X” harfi ile gösterilir. Bu noktada ilk belirlenmesi gereken bilgi “Y” olacaktır. Yani “Y”, optimize etmeye çalıştığımız sonuçtur. “Y” bu konuda yapılacak tüm çalışmaların sınırlarını, yönünü ve stratejisini oluşturması bakımından oldukça önemlidir. Sonuç “Y” seçimi çalışmanın süresini, karmaşıklığını, zorluğunu, ulaşılabilirliğini ve maliyetini doğrudan etkilemektedir. Bazı projelerde gün kadar açık olsa da bazı projelerde adımlamak ve hatta küçültmek yöntemlerini kullanmak gerekebilmektedir. Örneğin bir araştırma konusu 4 makinayı ilgilendiriyorsa çeşitliliği daraltarak mümkün tüm makinaların sonuçlarını ayrı ayrı araştırmak yerine makinalar arasında ilişkiyi ve farklılıkları eşitleyip tek bir makina üzerinden hareket etmek çalışma alanını azaltarak odaklanmayı artıracaktır.

Bu gibi durumlarda, herhangi bir sonuç üzerinde çok minik adımlarla ilerletmek, gelişimin ve iyileşmenin süresini uzatabileceği gibi, diğer taraftan da büyük adımlar atmaksa konuyu karmaşıklıştırarak sonucun elde edilmesini negatif yönde etkileyebilecektir. Tarafımca kullanılan aşağıda tanımlanmış olan bir pratik, bu noktada çoğu kez bana yardımcı olmaktadır. “Sonuç başka sonuçlar tarafından açıklanıyorsa, karmaşık bir problemle karşılaşıyoruz demektir”.

“Y”nin sınırları belirleyeceğinden bahsedilmişti. Bu noktadan sonra “Y”yi etkileyen faktörlerin araştırmasına geçilebilir. En bilinen kök neden analiz yöntemleri (beyin fırtınası, ISIKAWA, QFD, beş neden analizi) olmak üzere birçok araştırma ve kök neden ortaya çıkarma tekniği kullanılmaktadır. İyi bir deney tasarımında takip edilecek aşamalar Şekil 1’de verilmiştir.

“Y” değişkenini etkileyen etkenler ortaya çıktıktan sonra, bu etkenlere ait veriler elde edilerek ön bir inceleme ve irdeme başlatılır. Deneysel tasarım çalışmasının (DOE) tipi “Y” değişkenine göre değişecektir. Örnek vermek gerekirse, sonuç sürekli aynı hacim içerisinde gerçekleşiyorsa, “Karışım Tasarımı - Mixture Design” yeğlenmeli ya da etkenlerin veri tipine ve düzeylerine göre de değişik tasarımlar uygulanmalıdır. Bu tasarım yöntemleri, Faktö-



Tablo 1. DOE Karşılaştırma Tablosu

Tasarım Türü	Çıktı Tipi "Y"	Girdi "X" Tipi	Seviye Sayısı	Avantajları	Çalışma Uzayı	3 Faktör İçin Deneme
Faktöriyel 2 <sup>k</sup>	Sürekli	Sürekli /Ayrık	2	Etkileşimler dikkate alınır	Küp	8
Genel faktöriyel	Sürekli	Sürekli / ayrık	>2	İki ve üzeri seviyelere sahip faktörlerin incelenmesine olanak sağlar. Etkileşimler dikkate alınır.	Küp	7
Mixture (karışım)	Sürekli	Sürekli	2	Faktörler, bir karışımı oluşturan oranlar olarak ele alınır.	Üçgen prizma	>2 <sup>k</sup>
Yanıt yüzey (C.C)	Sürekli	Sürekli	>2	Sonuçları en iyi açıklayan tasarım denebilir.	Küp	20
Cevap yüzey (B.B)	Sürekli	Sürekli	>2	Sonuçları en iyi açıklayan tasarım denebilir.	Küre	15
Taguchi	Sürekli	Ayrık	>2	Faktörlerin etkileşimlerini göz ardı ederek gürültü faktörünü dikkate alır.	Üçgen	4

riyel Tasarım ("Factorial Design", Yanıt Yüzeyi ("Respond Surface" ya da Gürültü Etkeni "Noise Factor" olabilir.

Tablo 1'de bu durum, çalışma uzayı açısından değerlendirilerek üç etken için deney sayıları ile özetlenmeye çalışılmıştır.

Tasarım şekli seçildikten sonra, gereken deney deseni oluşturulmuş olur. Çalışmada örnek için bir deney de-

seni hazırlanmıştır. Şekil 2 bu örnek için incelenebilir. Yapılması gereken denemelerin parametreleri ve sıraları belirlenmiştir. Buna göre denemeler tek tek ve büyük bir titizlikle gerçekleştirilir. Alınan sonuçlar kaydedilerek irdelenmeye hazır hale getirilir. Şekil 3, buna ait bir örnek olarak görülebilir. Sonraki adımda, seçilen irdeleme yöntemiyle sonuçlar değerlendirilmektedir.

Eğer Şekil 1'de verilen tüm aşamalar doğru ve titizlikle



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Devir	Hız	Sertlik	
1	1	1	1	1	1000	5	Sert	
2	2	2	1	1	1700	5	Sert	
3	3	3	1	1	1000	12	Sert	
4	4	4	1	1	1700	12	Sert	
5	5	5	1	1	1000	5	Yumuşak	
6	6	6	1	1	1700	5	Yumuşak	
7	7	7	1	1	1000	12	Yumuşak	
8	8	8	1	1	1700	12	Yumuşak	

Şekil 2. Minitab Örnek Sayfa Görüntüsü

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Devir	Hız	Sertlik	Aşınma	
1	1	1	1	1	1000	5	Sert	60	
2	2	2	1	1	1700	5	Sert	72	
3	3	3	1	1	1000	12	Sert	54	
4	4	4	1	1	1700	12	Sert	68	
5	5	5	1	1	1000	5	Yumuşak	52	
6	6	6	1	1	1700	5	Yumuşak	83	
7	7	7	1	1	1000	12	Yumuşak	45	
8	8	8	1	1	1700	12	Yumuşak	80	

Şekil 3. Minitab Örnek Sayfa Görüntüsü



Şekil 4. Torna Kesme Kalem

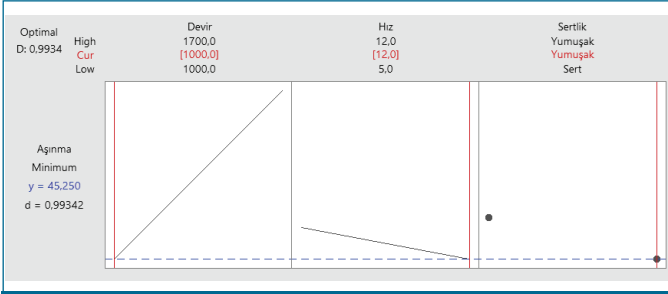
izlenmişse, elde edilen sonuç, “Y” değişkenini açıklayan fonksiyondur. Bu da etkenlerdeki değişikliklerin sonucu nasıl etkilediğini veya optimum sonucu elde etmek için fonksiyonların ne olması gerektiğini verebilmektedir.

Sonuç olarak, optimum değere ulaşmak için, birçok farklı yol denenerek çalışılmaktadır. Çalışmada başvurulabilecek yöntemler ve özellikleri Tablo 2’de özetlenmeye çalışılmıştır. Bilinen en ucuz, kesin, hızlı ve basit yöntem deneysel tasarım olabilir.

Yazının bu noktadan sonrasında merak eden okurlar için bir örnek paylaşmak isterim.

Tablo 2. DOE Yöntem Seçenekleri Karşılaştırma Tablosu

Karşılaştırma Ölçütü	Gözlem	Tahmin	U z m a n Yargısı	Aynı Anda Her Şeyi Kontrolsüz Değiştirmek	Tek Tek Değiştirmek	İstatistiksel Deneyler
Zaman	Uzun	Uzun	Orta	Uzun	En Uzun	Kısa
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	En yüksek	Düşük
Optimal eviyeleri yakalama şansı	Düşük	Düşük	Orta	Orta	Düşük	Mükemmel
Sonuçlarda güven	Düşük	Düşük	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek
Bağımsız ana ve etkileşim etkilerini tanıma yeteneği	YOK	YOK	YOK	YOK	YOK	VAR



Şekil 5. Minitab Optimizasyon Sayfası Görüntüsü

Tablo 3. Regresyon Analiz Sonuçları

#### Model Özeti

S <sup>1</sup>	R-sq <sup>2</sup>	R-sq(adj) <sup>3</sup>	R-sq(pred) <sup>4</sup>
0,707107	99,96%	99,73%	97,57%

Tablo 4. Formülize Edilmiş Sonuç

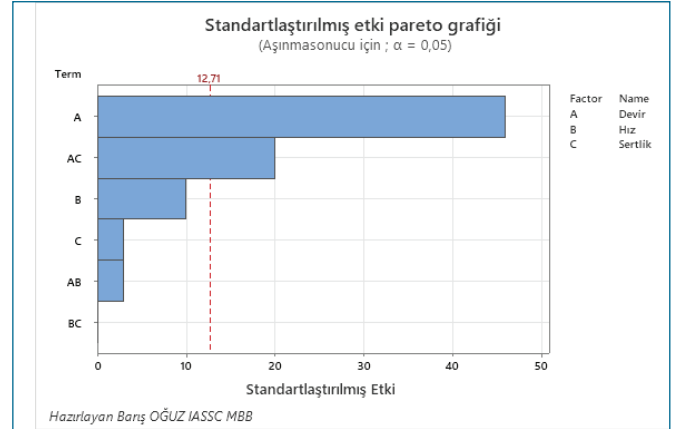
#### Kodlanmamış Birimlerde Regresyon Denklemi

$$\begin{aligned} \text{Aşınma} = & 32,99 + 0,02765 \text{ Devir} - 1,541 \text{ Hız} - 18,54 \text{ Sertlik} \\ & + 0,000612 \text{ Devir} * \text{Hız} + 0,014286 \text{ Devir} * \text{Sertlik} \\ & + 0,0000 \text{ Hız} * \text{Sertlik} \end{aligned}$$

Tasarıma karar verildikten sonra seçilen tasarıma ait deney deseni oluşturulur. Basitçe açıklamak gerekirse bu örnekte iki üzeri "k faktöriyel" bir tasarım seçilmiştir. Çalışmadaki örnek, torna tezgâhı kesme kalem kullanım ömrüdür (Şekil 4).

Hedefimiz, aşındırıcı uçların kullanım ömrünün artırılmasıdır. Bunu etkileyen etkenler, tornanın devri (1.000 - 1.700 d/dk), ilerleme hızı (5 -12 m/h) ve malzeme cinsi (yumuşak - sert) olarak belirlenmiştir. Kalemın aşınma miktarının bu üç faktör tarafından etkilendiği düşünüldüğünde, elde edilecek deney deseni şöyle olacaktır (Şekil 2). Sonrasında sonuçlar derlenir ve denemelerin karşısına yazılır (Şekil 3).

Bu örneğin çözümünde MINITAB yazılımından yararlanılmıştır. Sonrasında yazılım kullanılarak sonuç derlendiğinde ve irdelendiğinde, Tablo 3 ve Tablo 4'deki sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6'da ise, etkenlerin sonuç üzerindeki etkilerini gösteren optimizasyon ve pareto analiz (bir sorunun önemli sebeplerini, nispeten daha



Şekil 6. DOE Faktörler Pareto Analizi

önemsiz sebeplerden ayırmak için kullanılan bir çubuk diyagramı) yer almaktadır. Burada "A" ile işaretli olan en yüksek etki, devir etkisidir. Tablo 6 ise sonuç sağlayan fonksiyonu vermektedir. Bu fonksiyonda, değerleri yerine koyarak, kullanıldığı şartlarda, uç ömrünün ne olacağını bilmek olasıdır.

Tablo 3'teki sonucun bağımsız değişkenlerce açıklanmasını gösteren ilişki düzeyi R-sq >%80 ve üzeri olduğu sürece, Tablo 4'te elde edilen fonksiyonun bağımsız değişkenlere atanacak deneme yapılan sınırlar içerisindeki değerler için doğru sonuçları vereceği söylenebilir.

### 3. SONUÇ

Bu yazıda, sonucu oluşturan etkenler biliniyorsa, sonucu da bulunabilecek bir yöntem tanıtılmak istenmiştir. Bugün endüstride bir olayı meydana getiren etkileri bilmek ve bunları ölçümlemek bundan beş yıl önce olduğundan daha kolaydır. Yazıda paylaşılmak istenen günümüzde veri toplamanın kolaylaşmış olması ve daha kolay ve doğru irdelenebilecek duruma gelmiş olmasıdır. Bugün kuruluşlar için istatistikten yararlanmanın tam zamanıdır. Rekabette büyük avantaj sağlayacak fırsatı belki de sizlere istatistik verecektir. Dijitalleşmenin çok zor olduğu günlerden, kolayca dijitalleşmenin yaşandığı bir dünyaya koşulmaktadır. Bu yarışta farkı yaratacak en önemli unsurlar, veri doğruluğu ve istatistiksel yöntemlerin doğru kullanılması olacaktır. Sonraki gereksinim ise, bu verileri akılla birlikte, "İSTATİSTİĞİ" işlerimizin içine katmak olacaktır. ◀

<sup>1</sup> Model uygulandığında elde edilen matematiksel değerlerin standart sapması

<sup>2</sup> Model ile elde edilen gerçek sonuçlar arasında ilişki düzeyinin % olarak ifadesi

<sup>3</sup> Güven bandı

<sup>4</sup> İlişkinin tahmin bandı