

## FAKTÖRİYEL TASARIM VE SÜREÇ OPTİMİZASYONU

Tuna Uslu\*

### ÖZ

Faktöriyel tasarımlar, basit yapılanmalardan kompleks adapte olan sistemlere (complex adaptive systems) kadar organize olma eyleminin geometrik altyapısının modellenmesinde kullanılabilir. Deney tasarımı ile faktörler arasındaki ilişkiler ve optimum sonuçlar önceden hesaplanmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada faktöriyel tasarımın arkasındaki kuramın matematiksel altyapısı incelenmekte ve sonuçların süreç mühendisliği ve bilişsel bilimler çerçevesinde örneklerine değinilmektedir. Çalışmanın başında aynı seviyede bulunan faktörler arasında farklı alternatif değerler aldıklarında içinde buldukları etkileşimler matematiksel olarak modellenmektedir. Son kısımda ise farklı yöntemleri kullanmanın faktöriyel tasarımda sağlayacağı avantajlardan bahsedilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Faktöriyel tasarım, kompleks sistemler, süreç optimizasyonu, ortagonal dizinler, yapay sinir ağları

### GİRİŞ

Bilgisayarların 1950'lerden beri kullanım alanını genişletmesiyle beraber mantıksal hesaplamaların gerçek dünya problemlerini çözebileceği umudu ve bunun örnekleri artmıştır.<sup>1</sup> Tarif ettiğimiz bu dünyada mantık ve matematik aynı bilimin iki ayrı yönü olarak karşımıza çıkmaktadır.<sup>2</sup> Mantıksal cebirin temelini Boole'nin kurduğu ikili sistem oluşturur. George Boole 1854'te mantıksal operasyonları kodlamak için sadece iki karakterin kullanılabileceği bir sistem geliştirdi. Mantıksal hesaplama, Boole cebirine göre belirlenen bu ikili sistemi

---

\* Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Enformatik Enstitüsü, Bilişsel Bilimler Bölümü doktora öğrencisi.

<sup>1</sup> D.W. LOVELAND, *Automated Theorem Proving: a Logical Basis*, North Holland, 1978.

<sup>2</sup> P.L.HAMMER, S. Rudeanu. *Boolean Methods in Operations Research and Related Areas*, Springer-Verlag, New York, 1968.

kullanır. Değişkenler  $B = \{0, 1\}$  -doğru/yanlış, açık/kapalı... gibi- ikili operatörler ile tanımlanmaktadır.

$f(x): B_n \rightarrow B$

$\mathbf{X} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_N) \in B^n; x_i \in B$

$B = \{T, F\}$  veya  $\{D, Y\}$  ile tanımlanan kümenin Boole fonksiyonu,  $F_B(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$  fonksiyonunun  $B^N$  Boole hiperküpünden  $B$  setine tanımlanması ile oluşur.<sup>3</sup> Boole küpü  $N$  sayıda değişken ile yapılan seçimlerin görselleştirilmesi ile açıklanabilir. 3 değişkenin olduğu bir uzayda  $N=3 \Rightarrow 2^3=8$  köşe ile tanımlanır.

$B_1 = \{0, 1\}$

$B_2 = \{0, 1\} \times \{0, 1\} = \{00, 01, 10, 11\}$

$B_3 = \{0, 1\} \times \{0, 1\} \times \{0, 1\} = \{000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111\}$

Bu ikili seçim üzerinde şekillenen sistem,  $2^N$  farklı çıktıya sahip bir ağ yapıyı<sup>4</sup> verir. Yüksek boyutlu haritalar farklı yöntemlerle oluşturulabilir.<sup>5</sup> Değişkenlik uygun sınırlar ile tanımlandığında değişkenlerin sadece 0 ve 1 değerleri alması sağlanabilir. Bu Boole kısıtları ile mantıksal anlambilim, 0 ve 1'in yanlış ve doğru ile örtüşmesi ile tanımlanabilir. John von Neumann bu ikili sistemi kullanarak bütün enformasyonun programlanabilmesi kavramını geliştirmiştir. Bu sistemde bilgisayarının belleğinde bilgi tutan birim Binary digit (bit) idi. Bu birim elektronik sinyal var/yok (on/off veya 0/1) değerlerini alabilirdi.

Claude E. Shannon "iletişimin matematiksel teorisi" ile enformasyon teorisinin temelini atmıştır. Kapalı veya izole sistemlerde enformasyon içeriği yok olur veya benzer bir ifadeyle termodinamiğin ikinci yasasına göre entropi azalmaz, sadece artar. Ancak açık sistemler gelişmeyi sürdürür, yani farklı değişkenlerin sürekli sisteme dahil edilmesi gerekir.

## 1. FAKTÖRİYEL TASARIM

Deneylerde birden çok faktörün etkileri aynı anda incelenir. Tercihler farklı faktörlerin bütün kombinasyonlarını içerir.<sup>6</sup> Ana etki, bir faktörün diğer faktörlerden bağımsız olarak ortaya koyduğu sonuçlar iken etkileşim etkisi ikiden  $n$  faktöre kadar herhangi sayıda kombinasyonunun etkileşimlerinin sonuçlarıdır. Örnek deney tasarımı tablosu Şekil 1'de görülmektedir.

<sup>3</sup> y.a.g.e.

<sup>4</sup> bkz. Boolean Network

<sup>5</sup> Maurice KARNAUGH, *The Map Method for Synthesis of Combinational Logic Circuits*, Trans. AIEE. part I, 72(9):593-599, November 1953.

<sup>6</sup> W.G. COCHRAN, G.M Cox. *Experimental Designs*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 1957.

A	B	C	...	N	AB	AC	...	ABCDEF
1	1	0		...	1	0		1
1	1	1			1	1		0
1	0	...			0	...		...

### Şekil 1: N Faktörlü Deney Tasarım Tablosu

Süreç tasarımı sırasında ortaya çıkan parametreler kullanıcılar için üretilen ürünlerin özdeşliği önemli olduğundan bunu sağlayacak olan limitler olarak kabul edilir. Buna göre bu limitlerin içinde kalan çalışmalar kabul, limitler dışında çıkanlar ise reddedilecektir. Bu bakımdan çalışmada belirtilen limitler aynı zamanda o çalışmanın kalite standardını oluşturur.<sup>7</sup> Üretilen ürünlerin veya tasarlanan süreçlerin nicelik veya nitelik yönünden pek çok kalite özelliği vardır. İstatistiksel kalite kontrol ile süreç esnasında veya sonunda ürünler bir veya birkaç özellik bakımından ayrı ayrı veya bir arada ele alınarak kontrol edilir. Bu tür kalite kontrollerinde ürün özelliklerinin birbiriyle ilişkili olmadıkları varsayılmaktadır. Oysa ürünlerin çeşitli özellikleri arasında ilişki olması beklenen bir sonuçtur.<sup>8</sup> Aynı durum süreç tasarımı öncesinde de geçerlidir, süreci veya ürünü bir araya getiren etkiler birbirleriyle etkileşime veya tepkimeye girebilir, karmaşık ilişki yapıları doğurabilirler. Bunlar artan veya azalan veya eğilimini değiştiren ilişkiler olabileceği gibi anlaşılabilirliği gibi etkileşimin doğrusal olmaması istisnai bir durum değildir.

## 2. FAKTÖR ETKİLEŞİMLERİ

Bir deneye dahil olan çoklu faktörlerin tüm şartlar altında incelenmesi ve tanımlanması tekniği deney tasarımı olarak bilinmektedir. Bu teknik literatürde faktöriyel tasarım olarak da yer almaktadır.<sup>9</sup> Deney tasarımı, gerçek süreç ve üretim dışında deneylerden elde edilen bilgileri en üst düzeye erişirebilmek için

<sup>7</sup> F.ERCAN, *Makine Sanayiinde Kalite Kontrolü*, Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi Yayını, Ankara, 1987

<sup>8</sup> F.KUTAY, *Çok Değişkenli Kalite Kontrolü*, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 3, 1-2, Ankara, 1988, s. 151.

<sup>9</sup> Ranjit K. ROY, *A Primer On The Taguchi Method*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990, s. 1.

deneilerin değerlendirilmesi ve tasarımına yönelik bir dizi çalışmadır.<sup>10</sup> Deneysel tasarımı teknikleri istatistiksel bir yaklaşım olmanın yanında, tüm araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde kullanılabilen, kaliteyi artıran, maliyetleri düşüren, sonuçların güvenilirliğini sağlamlaştıran, tüm diğer kalite tekniklerini destekleyen ve tamamlayan tekniklerdir. Uygulamada getirdikleri avantajlar performans ve kalitenin artırılması, kaynakların verimli kullanılması, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin hızlandırılması, ve ürünün ve prosesin kalite özelliklerini belirleyen değerlerin kontrol edilemeyen veya edilmesi zor ve maliyetli faktörlere karşı daha az duyarlı olması şeklinde sıralanabilir.<sup>11</sup>

Bir deneyde birden fazla faktör bulunmaktaysa faktöryel tasarımlardan faydalanılır. Bu, faktörlerin bir arada değiştiği, birbirlerinden etkilendiği ve bu değişimlerin ayrı ayrı ortaya konduğu bir tasarımdır.<sup>12</sup> Faktöryel tasarım, her bir faktör seviyesinin tüm mümkün kombinasyonlarının deneyde katılmasıdır.

#### A. TAGUCHİ DENEY TASARIMI

Taguchi deney tasarımı 1950'lerde süreç optimizasyonu tekniği olarak geliştirilmiştir.<sup>13</sup> Yöntem istatistiksel veri analizi üzerine kurulmuş ve kompleks sistemlerin analizini ve süreç optimizasyonunu basitleştirmiştir. Öncelikle süreç mühendisliğinde kullanıldığı halde diğer pek çok sistemin incelenmesinde ve modellenmesinde uygulanabilir.<sup>14</sup> Taguchi deney tasarımında yeni ürün geliştirme ve karmaşık problemleri araştırmanın yanında uygun alternatiflere harcanacak maliyet ve zaman etkin olarak sunulmaktadır. Teknik gücünü teknik deneylerden çok disiplininden almaktadır. Taguchi tekniği dört adımda uygulanır; süreç ve ürün için önemli olan kalite karakteristiklerinin beyin fırtınası yardımıyla bulunarak parametrelerinin tasarlanması, deneylerin tasarlanarak uygulanması, sonuçların analiz edilmesi ve optimum koşulların belirlenmesi ve optimum koşulların uygulanarak sonucun değerlendirilmesi. Uygulamada beyin fırtınası gerekli ve önemli bir adımdır. Bir deney tasarımından önce beyin fırtınası Taguchi yaklaşımının olmazsa olmaz gereğidir. Bununla beraber Taguchi beyin fırtınası için bir rehber veya yol göstermemiştir. Beyin fırtınasının içeriği ve çıktıları büyük

<sup>10</sup> J. BANKS, J.S. Carson. *Discrete-Event System Simulation*, Prentice Hall, 1984.

<sup>11</sup> Yılmaz TAPTIK, Metin SAVAŞKAN, Mustafa ÜRGEN, *İmalatta performans optimizasyonu için farklı bir yaklaşım: Deneysel Tasarımı*, Makina, Metalurji, İmalat Teknolojileri, Otomasyon, Kontrol Sistemleri, Elektrik- Elektronik Sektörleri Tanıtım ve Pazarlama Dergisi, Online Dergi, Yıl :17 Sayı :147, Mayıs - Haziran 2004 <http://www.metalmakina.com/?a=makale/makale005>

<sup>12</sup> W.W. HINES, D.C. Montgomery. *Probability and Statistics in Engineering and Management Science*, 3rd Edition, John Wiley and Sons.

<sup>13</sup> ROY, 1990.

<sup>14</sup> H. R. LOCHNER ve diğerleri. *Designing for quality, An Introduction to The Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Method Design*, Chapman-Hall, 1990.

oranda çalışılan sürecin doğasına bağlıdır ve teknik tecrübeyle ortaya konur. Beyin fırtınasının yapısı üzerinde çalışılan konunun tipine bağlı olarak değişebilir, kesin kalıpları belirlenmemiştir. Taguchi bu konuda ilgili olan tüm departmanların katılımını tavsiye etmektedir. Deneye başlamadan önce ne kadar deneme yapmak gerekeceği, sonuçların nasıl analiz edileceği, hangi faktörlerin en önemli olacağı belirlenen tüm sürecin ele alındığı bir yaklaşım geliştirilir. Yaklaşımında neyin, nasıl, kaç kez test edileceği ve sonuçların ne zaman analiz edileceği önceden düşünüp karara bağlamak esastır. İdeal olan uygun tasarım test edilecek faktörlerin belirlenmesi üzerine tüm grubun tecrübelerinin toplanması ile yapılan kolektif çalışmalardır. Teknik pratikte optimizasyonun tasarlanması için ekip yaklaşımını geliştirmeyi ön görmektedir.<sup>15</sup>

Taguchi tasarımında deney sayılarını ortogonal dizinler kullanarak azaltmak veya faktörler arasındaki etkileşim etkilerinin hepsinin hesaplamayarak bölmek ve bloklamak mümkündür. Bu zaman ve kaynak kullanımında tasarrufu artırırken diğer taraftan unutulmaması gereken bu deney tasarımı ile faktörler arasındaki etkileşimlerin basit tasarımlarda göz ardı ediliyor olması ve faktörlerin planlama aşamasında belirlenen seviyeleri dışında bir optimum değer seçilmesinin söz konusu olamamasıdır.

Taguchi metodu, yüksek kalitede süreç ve ürün geliştirilmesini her açıdan desteklemeyi amaçlar. Buna, sürecin veya ürünün üretim şartlarına ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı minimum hassasiyeti göstermesi, gerekli sistemin, parametrelerin ve 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 dahil edilmelidir.<sup>16</sup>

## **B. TAGUCHİ YAKLAŞIMI VE DEĞİŞKENLİK**

Süreç mühendisliğinde değişkenlik hesaplanırken Taguchi deney tasarımı kullanılarak zaman ve maliyet tasarrufu hedeflenebilir. Bütün ürünler ve süreçler belirlenen bazı fonksiyonları yerine getirmek için tasarlanırlar. Bazı ölçülebilen karakteristikler ki bunlar kalite karakteristikleri olarak adlandırılır, bir ürünün fonksiyonunu ne kadar iyi gerçekleştirdiğini ifade eder. Taguchi değişkenliğin süreçlerde oldukça yaygın olduğunu ve çıktının kabul edilebilir sınırların dışına çıkmasında birincil neden olduğunu gözlemledi. Muayenelerde reddedilen parçalar önceden belirlenen spesifikasyonları karşılamamaktaydı. Kalite kaybını iyileştirmek değişkenliği azaltmakla mümkündür. Taguchi üründe tutarlılık yoksunluğu olan değişkenliğin zayıf kalite olduğunu savundu ve değişkenliği hedeften sapma ve gruptaki diğer elemanlara bağlı değişkenlik çerçevesinde azaltmak için yöntemler geliştirmeye çalıştı. Performanstaki

---

<sup>15</sup> ROY, 1990, s. 29-31.

<sup>16</sup> y.a.g.e.

değişkenliğin azaltılması için Taguchi yaklaşımı, zamanın büyük kısmında ürün ve süreçleri en iyi anlamıyla gerçekleştirmeye çalışmayı, yani hedeften daha az sapmayı ve bütün ürünlerin yapımını mümkün olduğunca birbirine benzer olacak şekilde tasarlamayı, yani ürünler arasında daha az değişimi amaçlamaktadır.<sup>17</sup>

Taguchi deney tasarım evresinde kaliteyi arttırmak için ürün ve süreç tasarımını, sistem yaklaşımını ve tasarımını kontrol edilemeyen etkilere karşı duyarsızlaştırmayı, sağlamlığını artırmayı hedeflemektedir. Ürün ve süreç tasarımı doğru ve uygun ayarlanmış girdilerle birlikte üretim süreçlerindeki mekanizmaların ve süreç evrelerinin uygun bir şekilde ayarlanmasının kombinasyonudur. Taguchi tekniği temel olarak değişkenliği ortaya çıkartan nedenleri azaltarak kaliteyi iyileştirmeyi temel alır. Değişkenliği yaratan faktörleri tamamen ortadan kaldırmak oldukça maliyetli olabilir, oysa bunları yaratan faktörleri kontrol etmek ve seviyelerini ayarlayarak düşük maliyetli çözümler geliştirilebilir. Bunlar parametre tasarımı yoluyla düzenlenmeye çalışılır.<sup>18</sup>

Kalite ürünü veya süreci kontrol etmek için ortaya çıkmamıştır, amaç kaliteyi ürüne direkt olarak uygulamaktan öte geliştirmenin en iyi yolunu bulmak için sürece dahil etmek üzere tasarlamaktır. Kaliteyi süreçlerin muayenesi, taranması ve kontrolü yoluyla iyileştirmek yerine tasarımı üretim süreçlerindeki değişen, kontrol edilemeyen çevre faktörlerinden etkilenmeyecek sağlamlığa getirmek hedeflenmelidir. Kalite iyileştirme hedeften sapma minimuma indirilerek başarılıdır. Taguchi, kalitenin doğrudan tasarım parametrelerinden sapma ile ilgili olduğunu, sabitlenmiş standartlara veya spesifikasyonlara uygunlukla ilgili olmadığını iddia etmiştir. Kalitenin maliyeti standarttan sapmanın bir fonksiyonu olarak ölçülmelidir. Ürün yaşam döngüsü maliyete bağlı olarak belirlenmiş parametrelerden sapmanın ölçülmesi ile ilgilidir. Bu maliyetlere atık, yeniden kazanım, muayene, garanti ve servis hizmetleri, geri dönüşümler ve ürün değiştirme maliyetleri dahil edilmelidir. Maliyet hangi temel parametrelerin kontrol edilmeleri gerektiğine rehberlik edecek faktördür. Taguchi kalite iyileştirme çalışmalarını sürekli bir çaba olarak görmekteydi. Kalite iyileştirme sırasında ilk basamak popülasyon dağılımını hedeflenen değere mümkün olduğunca yaklaştırmaktır. Bunu başarmak için Taguchi tasarım deneylerinde ortogonal dizin olarak bilinen tablolama kullanılır.

Tasarım ile hedeflenen kaliteyi elde edebilmek için Taguchi süreç evreleri belirler. Sistem tasarım evresindeki odak nokta tasarım faktörleri için uygun çalışma derecelerinin belirlenmesidir. Bir sistemin tasarlanması ve test edilmesi, seçilmiş materyallerin ve parçaların teknik kararlarını ve teknolojik seviye esas

---

<sup>17</sup> ROY, 1990, s. 19-22.

<sup>18</sup> y.a.g.e., s. 24-27.

alınarak belirlenen nominal ürün ve süreç parametrelerini içerir. Sistem tasarımı çalışma seviyelerinin belirlenmesine yardım ederken, parametre tasarımı bu çalışma altında ürün ve sürecin en iyi performansını üretmesiyle ilgilidir. Tolerans tasarımı, ürüne etki eden önemli faktörlerin daraltılan toleranslarıyla parametre tasarım sonuçlarının ince ayarını yapmakta kullanılan bir adımdır. Bu tür adımlar normal olarak muayene ve benzer işler için daha fazla para harcanmasına, daha yeni ekipmanlar alınmasına, ihtiyaçlar için daha iyi malzemelerin belirlenmesine yol açar.<sup>19</sup>

### 3. FAKTÖRLERİN ETKİLERİ VE ETKİLEŞİMLERİ

#### A. ORTAGONAL DİZİNLER

Deneyler oldukça sıkı kurallarla tasarlanmaktadır, rastlantısal durumlara ve karmaşık etkilere yer bırakmayacak kadar katı düzenlenen dizin sistemleri ile deneyin tasarımı oldukça yalınlaştırılmıştır. Bir ortagonal dizin seti deney tasarlamak için kullanılır. Bir ortagonal dizin birkaç farklı durum, deneysel alternatif taşıyabilir. Çoğunlukla kullanılan ortagonal dizinler 2, 3 ve 4 alternatifli faktörlerden oluşur. Bazı dizinler karışık alternatifteki faktörleri içerebilmektedir. Pek çok durumda standart bir ortagonal dizin karışık alternatifte faktörleri içeren bir deneye uygun hale getirilir. Deney tasarım süreci uygun bir ortagonal dizin seçimi, faktörlerin uygun sütunlara atanması ve deney koşullarını belirlemekle başlar.<sup>20</sup> Bir faktörün alternatif değişiminin yanıt üzerindeki etkisi o faktörün etkisi olarak tanımlanır ve bu etkiye ana etki denir. Sadece ana etkilerin göz önünde bulundurulduğu bir deney tasarımında her faktör tek tek ele alınmakta ve her faktörün sistem üzerindeki etkileri ayrı ayrı tespit edilmektedir. Ancak böyle bir yaklaşımda faktörler arasındaki etkileşimler göz ardı edilmiş olacak ve bir faktörün etkisi değerlendirilirken diğer faktörlerin buldukları alternatiflerin sonuçlar üzerinde yarattığı etki yanıltıcı olacaktır. Bundan farklı bir yaklaşımla mümkün olan tüm kombinasyonların denenmesi ise yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açacaktır.  $N = k$  faktörün yer aldığı tasarımın boyutları (1)'deki gibi hesaplanır. Bir faktörün yanıt değişkenine olan etkisi, diğer bir faktörün farklı alternatiflerinde anlamlı bir farklılık gösteriyor ise bu iki faktör arasında etkileşim etkisi vardır. Ana etkilerin ve etkileşim etkilerinin dahil olduğu bütün etkilerin kombinasyon sayısını hesaplamak için;

$$\sum_{a=1}^k \binom{k}{a} = \sum_{a=1}^k \frac{k!}{(k-a)!a!} = 2^k - 1 \quad (3)$$

<sup>19</sup> ROY, 1990, s. 8-10.

<sup>20</sup> y.a.g.e., s. 30.

*Örnek(1)*

A, B, C, D, E, F, G, H, I faktörlerinin bulunduğu bir deney tasarımında ana etkilerin ve etkileşim etkilerinin sayısı;

$$2^9 - 1 = 511$$

Deney tasarımında ortogonal dizinlere dayanılarak örnek uzayı oluşturulmaktadır.<sup>21</sup> Tasarımı oluşturmak için  $k$  faktöre sahip bir denemede eğer her faktör 2 alternatife sahip ise analiz için  $2^k$  deney ön görülmektedir ki bu  $k$  faktörün bulunduğu bir deney tasarımı için minimum deneme sayısını vermektedir. Her biri 2 alternatife sahip A, B, C, D, E, F, G, H, I faktörlerinin bulunduğu bir deney tasarımında yapılması gereken deney sayısı  $2^9$  adet olarak belirlenir; analiz yapılabilmesi için 512 tane deney sonucu alınmalıdır. Elbette deney tasarımı bloklara ayırmak mümkündür. Fakat teorik olarak deney tasarımında  $2^k$  faktöriyel deneyde etkileşim etkileri dahil oluşturulan örnek uzayın boyutu  $2^k (2^k - 1) = 2^{2k} - 2^k$  olarak belirlenir. Bu dizinlerin oluşturduğu tablonun boyutlarını oluşturmaktadır. Bu formülasyon Pascal kuramından yola çıkarak türetilmiştir, Pascal üçgeninden kanıtlanabilir.

Faktörlerin arasındaki etkileşimler bütün kombinasyonlar göz önüne alınarak kurulum, yani ikili etkileşimlerden başlanarak  $k$  faktörün etkileşimini sorgulayan etkileşim etkisine kadar bütün alternatifler belirlenir, bütün etkileşim etkilerinin kombinasyon sayısını hesaplamak için;

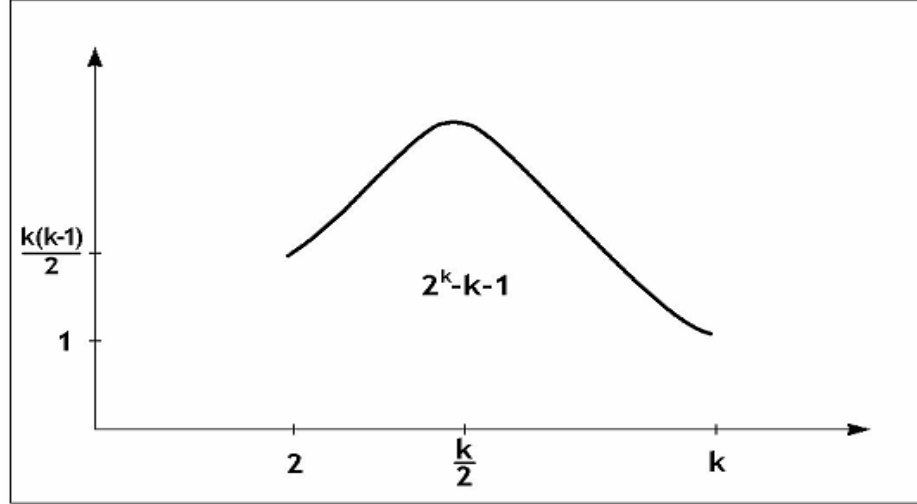
$$\sum_{a=2}^k \binom{k}{a} = \sum_{a=2}^k \frac{k!}{(k-a)! \cdot a!} = 2^k - k - 1 \quad (4)$$

Bütün deneylerin bulunduğu kümenin oluşturulması sırasında  $k$  faktörlü bir deneyde kullanılabilecek etkileşim etkilerinin sayısı ve  $a$  sayıda faktörün etkileşime göre tasarımda önceden belirlenmiş dağılımı Şekil 2'deki gibi belirlenebilmektedir. Bu şekil, deney kümesinin toplam etkileşim içinde bulunan eleman sayısını verir.

---

<sup>21</sup> Ercan ÖZTEMEL, *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003, s. 108.





**Şekil 2: Tüm Etkileşim Etkilerinin Dağılımı**

*Örnek(2)*

A, B, C, D, E, F, G, H, I faktörlerinin bulunduğu bir deney tasarımında tüm etkileşim etkilerinin sayısı;

$$2^9 - 9 - 1 = 502$$

Bir deney tasarımında  $a$  sayıda faktörün birbirleriyle girdiği tüm etkileşimlerin sayısını hesaplamak için;

$$\binom{k}{a} = \frac{k!}{(k-a)! \cdot a!} \quad (5)$$

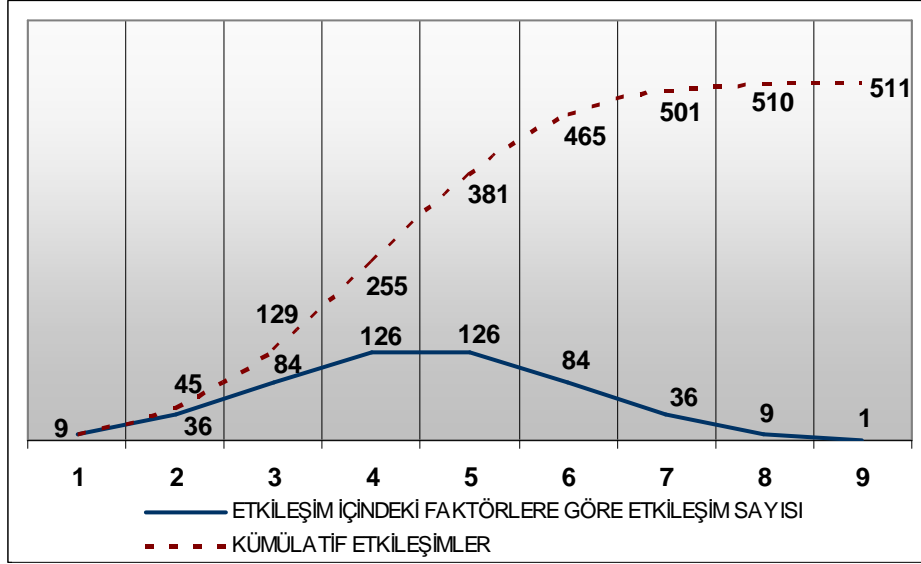
*Örnek(3)*

A, B, C, D, E, F, G, H, I faktörlerinin bulunduğu bir deney tasarımında 3 faktörünün içinde bulunduğu etkileşim sayısı;

$$\binom{9}{3} = 9! / [(9-3)! \cdot 3!] = 9 \cdot 8 \cdot 7 / 3 \cdot 2 \cdot 1 = 84$$

9 faktörlü bir tasarımda ana etkiler ve 2 faktörün etkileşiminden başlayarak 9 faktörün de içinde bulunduğu etkileşime kadar bütün etki kombinasyonları ve kümülatif deney sayısı Tablo 1'e yansıtılmıştır. 9 faktörlü bir tasarımda yapılması gereken toplam deney sayısı 511 olarak bu tabloda da görünmektedir.

**Tablo 1: 9 Faktörlü Tasarımda Etkilerin Dağılımı**



$$\binom{9}{1} = 9! / [(9-1)! \cdot 1!] = 9 / 1 = 9$$

$$\binom{9}{2} = 9! / [(9-2)! \cdot 2!] = 9 \cdot 8 / 2 \cdot 1 = 36$$

$$\binom{9}{3} = 9! / [(9-3)! \cdot 3!] = 9 \cdot 8 \cdot 7 / 3 \cdot 2 \cdot 1 = 84$$

$$\binom{9}{4} = 9! / [(9-4)! \cdot 4!] = 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 / 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 126$$

$$\binom{9}{5} = 9! / [(9-5)! \cdot 5!] = 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 / 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 126$$

$$\binom{9}{6} = 9! / [(9-6)! \cdot 6!] = 9 \cdot 8 \cdot 7 / 3 \cdot 2 \cdot 1 = 84$$

$$\binom{9}{7} = 9! / [(9-7)! \cdot 7!] = 9 \cdot 8 / 2 \cdot 1 = 36$$

$$\binom{9}{8} = 9! / [(9-8)! \cdot 8!] = 9 / 1 = 9$$

$$\binom{9}{9} = 9! / [(9-9)! \cdot 9!] = 1$$

Mümkün olan tüm kombinasyonları denemek için öncelikle bir faktörün her alternatifi ile diğer bir faktörün tüm alternatiflerinin etkileşimleri incelenir ve bütün faktörler için diğer  $k-1$  faktörle etkileşimi hesaplanır. Ana etki dışında her faktör için diğer faktörlerle etkileşime girdiği kombinasyon sayısını hesaplamak için;

$$2^{k-1} - 1$$

(6)

*Örnek(4)*

A, B, C, D, E, F, G, H, I faktörlerinin bulunduğu bir deney tasarımında A faktörünün içinde bulunduğu etkileşim sayısı;

$$2^{9-1} - 1 = 255$$

Bir deney tasarımında bir faktörün  $a$  sayıda faktörle girdiği tüm etkileşimlerin sayısını hesaplamak için;

$$\frac{(k-1)!}{(k-a)!(a-1)!} \quad (7)$$

*Örnek(5)*

A, B, C, D, E, F, G, H, I faktörlerinin bulunduğu bir deney tasarımında A'nın içinde bulunduğu 3 faktörlü etkileşim sayısı;

$$8! / [(9-3)! \cdot 2!] = 8.7 / 2.1 = 28$$

Deney sonuçları analiz edilirken amaç, ürün veya süreç için en iyi şartları düzenlemek, bireysel faktörlerin katkılarını ve varsayılan şartlar altında cevapları tahmin etmektir. Üretim süreçleri son ürünü etkileyen pek çok faktörden oluşmaktadır. Bu tür süreçleri geliştirmek için bu faktörlerin bireysel olarak katkılarını ve faktörler arasındaki ilişkileri bilmek bu tür süreçleri geliştirmek için temel teşkil eder. Fakat bu etkilerin hepsini hesaplamaya ve bulmaya çalışmak maliyetlerin artışı ve zaman kaybını beraberinde getirir. Bu nedenle Tablo 3'de 3 faktörlü deney tasarımında örnek olarak görüldüğü gibi deneme sayısını azaltmak için Taguchi tabloları kullanılır. Bütün denemeler yapılmaya kalkıldığında 8 deneye ihtiyaç varken bu yaklaşım sayesinde deney sayısı yarıya indirilmiştir. Artan faktör sayısının ortogonal dizinler kullanılarak hesaplanması deneme sayısının oranını daha da azalmasını sağlayacaktır. Örneğin aynı seviyede 4 alternatifi olan 21 faktörün bulunduğu bir deney tasarımında toplam  $4^{21} = 4.398.046.511.104$  deneme yapmak gerekirken Taguchi yaklaşımı ile 64 deneye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süreci ciddi oranda kısaltmakta, zaman ve maliyet avantajı sağlamaktadır.

**Tablo 2: 3 Faktörlü Taguchi Ortogonal Dizinleri**

<i>Deney Sayısı</i>	A	B	C
1	0	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
	1	1	1

Taguchi tekniği ürün veya süreç sistemlerinin tasarımında erken evrelerde uygulandığında etkili olabilir.<sup>22</sup> Ortogonal dizinler ufak değişikliklere imkan vermemesine rağmen ilk tasarımda deneyin boyutlarını ciddi olarak azaltabilmektedir. Diğer taraftan Taguchi'nin yaklaşımı sürecin kendi kendine modellenmesini ve optimizasyonu içermez; deneylerin sonuçlarının analizi faktörlerin etkilerini tanımlamak, ek deneyler planlamak ve performans gelişimi için kullanılır.<sup>23</sup> Görüldüğü gibi Taguchi'nin deney tasarımında faktörlerin karakteristikleri modelleme yapmak için kullanılmaz. Faktörün bulunması dışında alternatifler arasındaki farklılıklar ve diğer faktörlerle etkileşimler tasarımı etkilemez. Her etkileşim tasarımda yer alıyor olsa da etkileşimin etkinliği ile ilgili bir öngöründe bulunmak ve bu etkileşimlere yönelmek tasarım sırasında mümkün değildir. Faktörler arasındaki etkileşimler dogmatik bir yaklaşımla tasarlanmaktadır. Bu durum karmaşık ve çok faktörlü deneylerin sıralanmasında ve incelenmesinde sorun yaratmaktadır. Fakat diğer taraftan ilk tasarım aşamasında sağladığı avantajda göz ardı edilemez niteliktedir, bu durumda erken evrede kullanılan ortogonal dizinler ile ana hatlar oluşturulabilir, daha sonraki evrelerde farklı yöntemlere başvurulabilir. Bu sayede tasarımın verimliliği, farklı yöntemlerin kombine edilmesi ve farklı aşamalarda kullanılması sonucu artırılabilir.

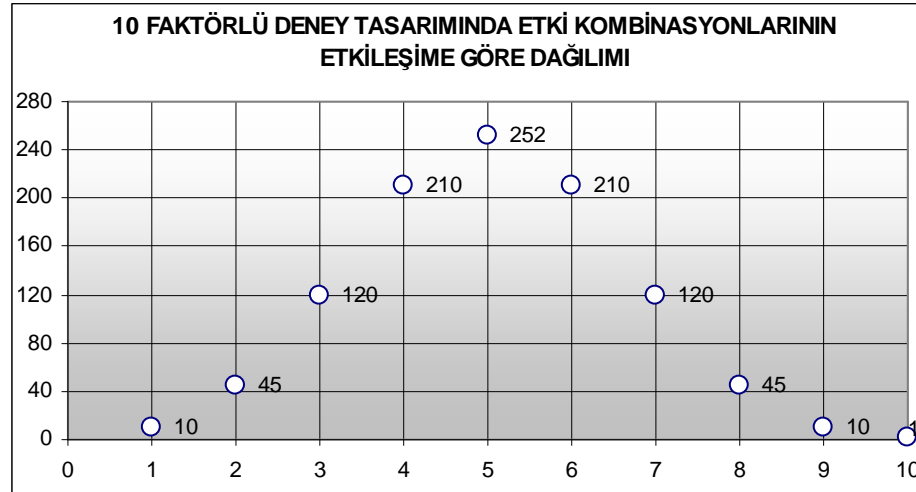
Faktör sayısının artması deney tasarımının başarısını azaltmaktadır, çünkü faktör sayısındaki her artış etkileşim etkilerinin katlanarak artmasına neden olmakta, bunun sonucu olarak deneyi uygulayanın belirli bir noktadan sonra etkileşimleri göz ardı etmesi gerekmektedir, yani gözlemci artan faktörler

<sup>22</sup> ROY, 1990, s. 18.

<sup>23</sup> Timothy W. SIMPSON, Jesse Peplinski, Patrick N. Koch, and Janet K. Allen. ON THE USE OF STATISTICS IN DESIGN AND THE IMPLICATIONS FOR DETERMINISTIC COMPUTER EXPERIMENTS, DETC97/DTM-3881, Proceedings of DETC'97, 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences, September 14-17, Sacramento, California, 1997, s. 6.

karşısında bütün etkileşim etkilerini katlanan maliyet ve zaman nedeniyle sınamayacak hale gelmektedir. Uygulamada zorunlu olarak bütün kombinasyonların denenmesini mümkün değildir. Örneğin 10 faktörlü bir deneyde 5 faktörlü ilişkiler incelenmek istenir, bütün kombinasyonların dikkate alınması 252 hesaplamayı zorunlu kılar. Üstelik 2 alternatifli tasarımlarda bu etkileşimler doğrusal kabul edildiği için sonuçların verimi azalmaktadır. Maliyet ve zaman açısından bu hesaplamaları yapmak etkileşimin giderek azaldığı varsayılan durumlarda yük haline gelmektedir. 10 faktörün dahil olduğu bir deneyde etkilerin  $a$  sayıda faktörün etkileşimine göre kombinasyonu Tablo 3'den izlenebilmektedir. Bu nedenle deneyleri ortogonal dizinler yardımıyla yapmak etkileşimlerin bir kısmını göz ardı etmek anlamına gelse de uygulanabilirliği açısından tercih edilmelidir.

**Tablo 3: 10 Faktörlü Tasarımda Etkileşim Etkileri Dağılımı**



Faktöriyel deney tasarımı kullanımında çeşitli sıkıntılar ile karşılaşılabilir. Değişken sayısı çok fazla olduğunda, deneyler, zaman ve maliyet açısından zorlayıcı bir hantallığa ulaşmaktadırlar. Aynı deneyin iki farklı tasarımı farklı sonuçlar üretebilir. Tasarımlar normalde her bir faktörün katkısının belirlenmesine müsaade etmez. Çok fazla sayıda faktörle yapılan deneylerin sonuçlarının ifade edilmesi oldukça zordur.<sup>24</sup>

## B. ÇOK KATMANLI ALGILAYICI AĞLAR

Çok katmanlı algılayıcı ağlar endüstriyel uygulamalarda süreçlerin izlenmesinde kullanılmakta, kalite kontrolüne adapte edilebilmektedir. Kurulan ağ yapı süreç davranışlarını sürekli izleyerek değerlendirmekte, anormal

<sup>24</sup> ROY, 1990, s. 5.

durumları saptaması durumunda operatörleri uyarmaktadır, tasarımlar ile ilgili çeşitli örnekler verilebilir.<sup>25</sup> Çok katmanlı algılayıcı ağı uygulaması Taguchi yaklaşımına alternatif olarak kullanılabilir ve Taguchi deney tasarımının eksikliklerini ve olumsuz yönlerini ortadan kaldıracak bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.<sup>26</sup> Bunun yanında Taguchi ortogonal dizinler ile eğitilen yapay sinir ağları deneylerin süresini ve deneme sayısını kısaltarak verimliliği artırır. Ortogonal dizinlerin kullanılması küçük ağırlık değişikliklerine izin vermese de hatanın ilk matris tasarımında ciddi bir şekilde azaltılmasına imkan tanıyabilir. Bu noktadan sonra farklı ağırlık hesaplamaları kullanılarak ağırlıkların düzeltilmesi sağlanabilir.<sup>27</sup>

Yapay sinir ağlarında çıktı ile örneklerden alınan gerçek sonuçlar karşılaştırılarak ara katman belirlenmekte fakat etkileşimler hakkında modelden hiçbir yorum yapılamamaktadır. Çok katmanlı algılayıcı ağlar dinamik bir model oluşturdukları için süreç içinde gelişirler. Gelişmelerine neden olan öğrenme felsefesi ağ eğitilirken modelin verdiği çıktılar ile gerçek sonuçların karşılaştırılabilmesi ve hataların sürekli azaltılabilmesi için aradaki farkların, yani hata oranlarının model içinde ağırlıkların değiştirilmesi sonucu düzeltilmesi ile mümkündür. Öğrenme sırasında önce girdiler gösterilerek bu girdilere karşılık gelen çıktılar üretilir, bu ileri doğru hesaplamadır. Daha sonra üretilen çıktı ile beklenen çıktı karşılaştırılarak aradaki fark geriye doğru dağıtılarak düzeltmelere gidilir, bu geriye doğru hesaplamadır. Çok katmanlı algılayıcı ağın eğitim performansının ölçülmesi için modele ağ kurulurken girdi olarak kullanılmamış veriler gösterilerek sonuçlar sınanabilir.<sup>28</sup> Model zaman içerisinde örnekler yardımıyla öğrenmeye ve geri beslemeye açık bir sistem olduğundan çok faktörlü, karmaşık ilişkili endüstriyel uygulamalarda ve modelin kendi kendine inisiyatif kullanabileceği ve süreci izleyebileceği uygulamalarda tercih edilir. Çok katmanlı algılayıcı ağlar çıktıyı ortaya çıkaran işlemler konusunda açıklamalar sunmamasına karşın süreçlere uyumlu modeller ortaya çıkarmak üzere yapıları üzerinde ileri ve geri hesaplamalar yardımıyla ve beslemelerle geliştirilebilirler.

Çok katmanlı algılayıcı ağlar için ilişkilerin türü önceden doğrusal olup olmadıkları kabul edilmediği için önem taşımamaktadır. Modelleme sırasında ağ örneklere göre ilişkinin yapısını öğrenecektir. Etkileşimlerin doğrusal olmaması veya ilişki yapılarının karmaşıklaşması durumunda modelin ara

---

<sup>25</sup> T. USLU, (2004) Bilişim Teknolojilerinin Toplam Kalite Yönetimine Etkisi, Yayınlanmamış TKY Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

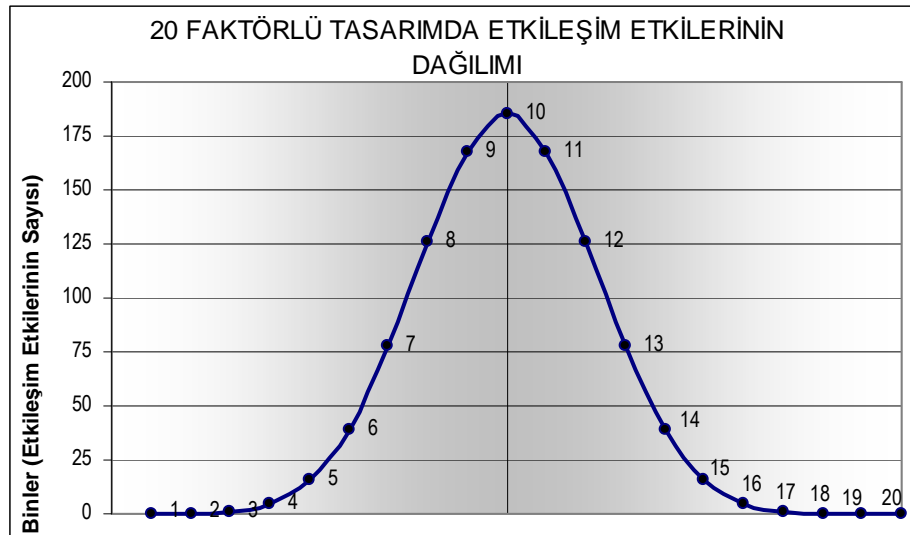
<sup>26</sup> ÖZTEMEL, 2003, s. 106-107.

<sup>27</sup> J. MCSHANE, *An Introduction to neural nets*, Hewlett Packard Journal, Vol. 43, No. 1, 1992

<sup>28</sup> y.a.g.e, s.112-113.

katmanları artırılarak ağın yapısı gerçek yapıya uyumlu hale getirilebilir.<sup>29</sup> Diğer taraftan deney tasarımında faktör sayısı artıkça etkileşim etkileri hesaplanamaz hale geldiği için tekniğin başarısı azalmaktadır. Ayrıca 2 alternatifli denemelerde Taguchi deney tasarımı tasarım etkileri aralarındaki etkileşimi doğrusal olarak kabul etmektedir ki hesaplama için 2 nokta belirlendiği için teorik olarak doğrusal olmayan etkileri ayırt etmek mümkün değildir. Deney tasarımında da her bir tasarım parametresi için üç veya daha fazla test alternatifinin araştırılması, tasarım parametrelerinin etkileri açısından doğrusal olup olmadığını ortaya çıkarabilir. Ortogonal dizinler ise bu tarz küçük ayarlamaları oldukça güçleştirmektedir. Erken evrelerde, ilk tasarım matrisinin denenmesinde, Taguchi metodunun kullanılmasının faydası vardır; sonraki evrelerde küçük değişiklikleri kısıtlamaktadır. 20 faktörlü bir tasarımda bütün etkileşim kombinasyonları hesaplanmaya alışılrsa Tablo 4'ten çıkartılabileceği gibi 1 milyondan fazla etki hesaplamak gerekecektir.

**Tablo 4: 20 Faktörlü Tasarımda Etkileşim Etkilerinin Dağılımı**

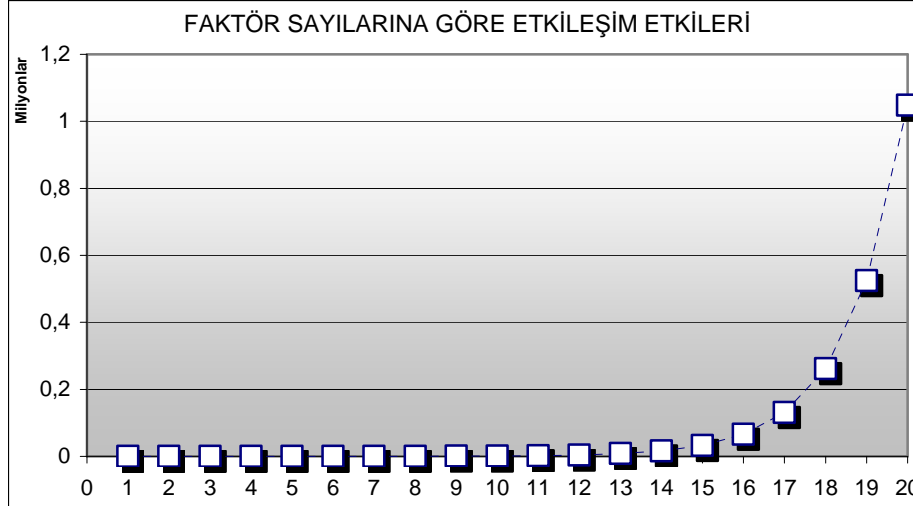


Faktörlerin artması sonucu tasarımın bütün deneylerin yardımıyla özölmeye çalışması, maliyetlerin karşılanması ve harcanan zamanın geri kazanılmasını imkansız hale getirmeye başlar. 20 faktörlü bir deney tasarımı etkileşimlerin hesaplanabilmesi için yüz binlerce etkileşim etkisi ile uğraşmak gerekecektir. Deney tasarımı her artan bir faktörün, etki sayısını katladığı Tablo 5'den anlaşılmaktadır. Faktör sayılarının artması veya faktörlerin alternatif

<sup>29</sup> y.a.g.e, s. 112.

değerlerinin çoğalması, ilk tasarımda ortogonal dizinlerin kullanımını artıran hesaplama ihtiyacından dolayı daha verimli hale getirir.<sup>30</sup>

**Tablo 5: Faktör Sayısına Göre Etkileşim Etkilerinin Toplamı**



### C. BİLGİ TEMELLİ SİSTEM TASARIMI

Diğer taraftan sistem entegrasyonu ve tasarım optimizasyonu çerçevesinde teknoloji yol haritaları ve yatırım planlaması ile ilgili metodolojilerinin, farklı disiplinlerin bir arada kullanıldığı tasarım optimizasyon tekniklerinin ve tasarım hedefli araçların geliştirildiğini görüyoruz.<sup>31</sup> Bu yaklaşımlar çeşitli koşullarda uygulanabilecek en etkili ve verimli tekniklerin değerlendirilmesini ön görüyor, yani belirli bir tekniğin kullanılması yerine farklı tekniklerin koşullara göre değerlendirilmesi ve zihinsel süreçlerden geçirildikten sonra optimizasyon konusunda en ideal yöntemlerin ihtiyaca göre belirlenmesini amaçlıyor. Tasarım optimizasyonu ile elde edilen kalite, üreticilere ve süreci tasarlayanlara maliyet ve zaman etkisi ile rekabetçi pozisyonlarını korumalarını sağlayacaktır.

Farklı disiplin ve yaklaşımların bir arada kullanıldığı benzetim (simülasyon) temelli tasarım optimizasyonlarının hesaplamaların verimini artırmak ve uygulama alanlarını genişletmek amacıyla kullanılmaktadır, bu çalışmalar

<sup>30</sup> ROY, 1990

<sup>31</sup> John OLDS, Wei Shyy, Corin Segal, Barry Davidson, Anthony Ingraffea, Bharat Soni, Suresh Chandra, Ziaul Hugue. (2003) FIRST YEAR REPORT, THE INSTITUTE FOR FUTURE SPACE TRANSPORT A UNIVERSITY RESEARCH ENGINEERING and TECHNOLOGY INSTITUTE, <http://www.mae.ufl.edu/ureti/>, October 2003, s. 15.



Taguchi ortogonal dizinleri gibi çeşitli deney tasarım tekniklerinin yanında yapay sinir ağları ve simulasyon uygulamalarını bir araya getirmeyi amaçlayan tasarım optimizasyonuna doğan ihtiyacın bir sonucu olarak karşımıza çıkıyor. Karmaşık (kompleks) mühendislik sistemleri ve uygulamaları yarar fonksiyonunun, çevresel kriterlerin formüle edilmesini ve oyun teorisi yaklaşımının aynı anda test edilmesini zorunlu hale getiriyor.<sup>32</sup> Bunun yanında ekonomik kararlarda da psikolojik sezgilerin rolü ve belirsizlik durumunda karar almayı etkileyen unsurlar hakkındaki çalışmalar sonucunda geliştirilen teknikler, alternatif piyasa tasarımlarının uygulamadan önce laboratuvar ortamında test edilebilmesini sağlıyor. Bu teknikler, elektronik piyasalarının denetimden arındırılmasının veya kamu iktisadi kuruluşlarının özelleştirmesinin olası sonuçlarının ve etkilerinin önceden kestirilebilmesine olanak veriyor. Ekonomide de bu yaklaşımlar bilişsel ekonomi (cognitive economy) başlığı altında toplanabilmektedir. Bu yaklaşımlarla tasarlanan deneyler bireylerin kararlarında izledikleri yollar ve karar mekanizmaları deneylenmektedir.

#### **KAYNAKÇA**

- BANKS J., J.S. Carson. *Discrete-Event System Simultion*, Prentice Hall, 1984.
- COCHRAN, W.G., G.M Cox. *Experimental Designs*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 1957.
- HAMMER, P.L., S. Rudeanu. *Boolean Methods in Operations Research and Related Areas*, Springer-Verlag, New York, 1968.
- ERCAN, F., *Makine Sanayiinde Kalite Kontrolü*, Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi Yayını, Ankara, 1987.
- HINES W.W., D.C. Montgomery. *Probability and Statistics in Engineering and Management Science*, 3rd Edition, John Wiley and Sons, 1990.
- ROY, Ranjit K. *A Primer On The Taguchi Method*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- KARNAUGH, Maurice. *The Map Method for Synthesis of Combinational Logic Circuits*, Trans. AIEE. part I, 72(9):593-599, November 1953.
- KUTAY, F., *Çok Değişkenli Kalite Kontrolü*, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 3, 1-2, Ankara, 1988, s. 151.
- LOCHNER, H. R. ve diğerleri. *Designing for quality, An Introduction to The Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Method Design*, Chapman-Hall, 1990.

---

<sup>32</sup> y.a.g.e, s. 72.

- LOVELAND, D.W. *Automated Theorem Proving: a Logical Basis*, North Holland, 1978.
- MCSHANE, J. *An Introduction to neural nets*, Hewlett Packard Journal, Vol. 43, No. 1, 1992.
- OLDS, John, Wei Shyy, Corin Segal, Barry Davidson, Anthony Ingraffea, Bharat Soni, Suresh Chandra, Ziaul Hugue. FIRST YEAR REPORT, THE INSTITUTE FOR FUTURE SPACE TRANSPORT A UNIVERSITY RESEARCH ENGINEERING and TECHNOLOGY INSTITUTE, <http://www.mae.ufl.edu/ureti/>, October 2003, s. 15.
- ÖZTEMEL, Ercan. *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003.
- ROY, Ranjit K. *A Primer On The Taguchi Method*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- SIMPSON, Timothy W., Jesse Peplinski, Patrick N. Koch, and Janet K. Allen. ON THE USE OF STATISTICS IN DESIGN AND THE IMPLICATIONS FOR DETERMINISTIC COMPUTER EXPERIMENTS, DETC97/DTM-3881, Proceedings of DETC'97, 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences, September 14-17, Sacramento, California, 1997.
- TAPTIK Yılmaz, Metin SAVAŞKAN, Mustafa ÜRGEN, *İmalatta performans optimizasyonu için farklı bir yaklaşım: Deney Tasarımı*, Makina, Metalurji, İmalat Teknolojileri, Otomasyon, Kontrol Sistemleri, Elektrik- Elektronik Sektörleri Tanıtım ve Pazarlama Dergisi, Online Dergi, Yıl :17 Sayı :147, Mayıs - Haziran 2004 [<http://www.metalmakina.com/?a=makale/makale005>]
- ÜSLU, T. *Bilişim Teknolojilerinin Toplam Kalite Yönetimine Etkisi*, Yayınlanmamış TKY Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2004.