Shainin Deney Tasarımı ile Çıktı Değişkenliğinin Azaltılması ve Bir Uygulama

Kasım BAYNAL

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fak. Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli
kbaynal@kocaeli.edu.tr

Barış AKSU

Kocaeli Üniversitesi, Kandıra MYO, Kocaeli
baris.aksu@kocaeli.edu.tr

ÖZET
Üretimde uygulanan deney tasarımı (DT) ile oluşturulan yeni parametre değerleri ile çıktı değişkeni üzerindeki varyasyonda azaltma sağlanır. Amaç, çıktı üzerindeki değişkenliğe sebep olan faktörlerin/etkileşimlerin optimum değerlerini bulmaktır. Ancak, rekabetçi ortamda, hem maliyetlerin azaltılması, hem de kısa sürede karar verilmesi gerektiğinden işletmeler uzun süren deneylerden kaçınmaktadır. DT'nın çok fazla tercih edilmemesinin bir başka nedeni de hesapların zor, karmaşık ve işgörenler tarafından anlaşılmaz olmasıdır.
Shainin Yöntemi (SY) ile yapılan deney tasarımı belirtilen bu olumsuz nedenleri yok ederek varyasyonda %70'in üzerinde bir düşüş sağlayabilmektedir. Kendine özgü bazı araçları olan yöntemin ana fikri varyasyona neden olan ana faktörlerin (Kırmızı X, Pembe X, Soluk Pembe X) belirlenmesi ve diğer faktörlerin elenmesidir. Böylece Tam Faktöriyel Deney *(TFD)* yapılarak net sonuçlara ulaşılabilmektir. Çalışmada SY bir uygulama ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Değişken Araştırması, Deney Tasarımı, Kırmızı X, Optimizasyon, Shainin Yöntemi, Taguchi Yöntemi

1. GİRİŞ

Süreç iyileştirmede, çıktılardaki değişkenliğin azaltılması ile maliyetlerin azalması, ürün kalitesinin iyileşmesi ve müşteri memnuniyetinin artması sağlanmaktadır. Bu bağlamda, süreç iyileştirmeyi başarmak için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Deney Tasarımı (DT) da bu yöntemlerden birisidir.

DT ilk olarak R.Fisher tarafından 1920'li yıllarda ortaya atılmıştır. İlerleyen yıllarda ihtiyaçların artması ve değişmesine bağlı olarak, DT'nda değişik araştırmacılar tarafından pek çok yenilik yapılmıştır. Fisher'in tam faktoriyelli deneyleri yarı faktoriyelli deneylerle hızlandırılmaya çalışılmıştır. Taguchi ise, ortogonal dizileri (OD) kullanarak klasik deney tasarımı (KDT)'nı basitleştirmiştir. Ancak, bunda da hesaplama yoğunluğunun fazla olması ve deneyi yapılacak parametrelerin net olarak ortaya çıkarılamaması, sonucu olumsuz olarak etkileyebilmekte ve deneyin farklı kombinasyonlarla yapılmasına sebep olabilmektedir.

Süreç çıktısındaki değişkenliği azaltmak için Dorian Shainin'ın geliştirdiği, basit, anlaşılması ve uygulanması nispeten kolay ancak güçlü istatistik tekniklerin birleşiminden oluşan Shainin Yöntemi (SY), diğer tekniklere göre daha güvenilir ve daha hızlı sonuca ulaşmaktadır. SY'nde, kalitesizliği oluşturan problem ile bu problemi oluşturan nedenler Yeşil, Kırmızı ve Pembe renkleriyle belirtilir. Bu parametrelerden Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X, Pareto Prensibi ilkelerine göre sıralanırlar. Varyasyonun önemli bir kısmını oluşturan faktörlere dikkat çekmek için kırmızı renginin tonları ile bu faktörler tanımlanmaktadır.

Yeşil Y: Müşteri için önemli olan özel bir kalite karakteristiği olarak tanımlanırken (Mast, 2004), seçim ve ölçümleri tasarım ekibinin görüşleri ve kurumsal hedeflere bağlı olarak elde edilen yanıt değişkeni olarak da söylenebilir (Steiner ve diğ, 2008).

Kırmızı X: Varyasyonun oluşmasında en fazla öneme sahip nedendir. Varyasyonu oluşturan nedenlerin (Yeşil Y'nin) en az %50'sini kapsar.

Pembe X: Varyasyonda ikincil öneme sahip nedendir. Yeşil Y'nin %20-30'unu oluştur.

Soluk Pembe X: Üçüncül öneme sahip sebeptir. Yeşil Y'nin %10 ile %15'lik kısmına neden olur (Steiner ve diğ, 2008).

SY ile verilen bir Yeşil Y'ye dair nedenlerin (Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X) çözümlenmesinde varyasyon % 75 ile % 95 oranında azaltılabilmektedir (Bhote, 2000).

1.1. Taguchi Deney Tasarımı

Taguchi, ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde pek çok yöntem ve düşüncenin oluşmasını sağladı. Bunlardan bazıları "Taguchi Kayıp Fonksiyonu" ve ürün/süreç tasarımında kullanılacak üç yaklaşım olan "Sistem, Parametre ve Tolerans Tasarımı" olarak sıralanabilir. Bunların yanı sıra, alternatif bir deney metodolojisi olarak OD kullanmıştır (Schippers, 2000). Taguchi, OD kullanarak klasik deney tasarımını (KDT) basitleştirmiştir. Taguchi'nin varyans indirgemede sinyal/gürültü (S/N) oranlarını kullanması deney tasarımında bir ilktir. Taguchi Yöntemi (TY), pekçok çalışmada iyi sonuçlar vermesine rağmen, zayıf olduğu yönler de bazı istatistikçiler tarafından eleştirilmiştir.

1.2. Shainin Deney Tasarımı

Deney tasarımına KDT ve Taguchi'den sonra üçüncü yaklaşım olarak, Amerikalı kalite yönetim danışmanı olan Dorian Shainin'ın geliştirdiği, basit, anlaşılması ve uygulanması nispeten kolay ancak güçlü istatistik tekniklerin birleşiminden oluşan SY yer almaktadır. Stratejisi, süreç çıktısı üzerindeki bir probleme odaklanarak varyasyona neden olan bir, iki veya üç baskın sebebin tespit edilmesi üzerine kuruludur. Shainin geliştirdiği bu yönteme aldığı mühendislik eğitimi desteğiyle "İstatistiksel Mühendislik" adını vermiştir (Steiner ve diğ, 2008).

SY, uyguladığı tekniklerle, dünya çapında önemli kabul edilen pek çok kalite geliştirme ödülünü almıştır. Motorola, 1980'li yıllarda Shainin ve 6 Sigma Yöntemleri sonucunda 1988'de ABD ulusal kalite ödülü olan "Malcolm Baldrige" ödülünü ilk senesinde alan ilk firma olmuştur (Şirvancı, 1997). Bhote'a (2000) göre, Motorola çalışmasında söylenen şu deyim SY'nin önemini açık bir şekilde ifade etmektedir: "Deming olmasaydı bir *kalite felsefesi* olmazdı; Juran olmasaydı *kalitenin nasıl ölçüleceği* bilinemezdi; Shainin olmasaydı *kalite problemleri çözülemezdi*."

KDT, TY ve SY arasında, tüm faktörleri hesaba kattığı için, KDT (TFD) kuşkusuz en doğru sonucu verecektir. Buna rağmen TFD'inin tercih edilmemesinin nedeni, bu yöntemin pratik bir kullanımı olmamasından kaynaklanmaktadır. TFD'lerin en büyük sıkıntısı çok fazla deney yapılması gerekliliğidir. Örneğin; 2 seviyeli 4 faktör olduğunda, $2^n = 2^4$ sonucunda 16 deney yapılması gereklidir. Fakat uygulamada genellikle bu kadar az faktör olmayacağı için, mesela, 2 seviyeli 15 faktör olduğunda $2^{15} = 32768$ deney yapılması gereklidir. Deney sayısını azaltmak için Kesirli Faktöriyeller (KDT) geliştirilmiştir.

Çok faktörün sınanmasında L_8, L_{16} veya L_{27} olarak adlandırılan Taguchi Ortogonal Dizilerinin kullanılmasında da bazı faktörler veya etkileşimler atlanabilmektedir. Hangi faktörün deneye gireceği net olarak belirlenemediğinden deney sonuçlarının da optimal sonuç olmaması olasıdır. Uygun L dizilerine atanan faktörlerin beyin fırtınası, vb yöntemlerle belirlenen önemli faktörler olduğunu savunan TY'nin ortaya koyduğu bu tutum çok da tutarlı değildir. Çünkü mevcut kombinasyon içerisinde hangi faktörün daha önemli olduğunun nasıl hesaplandığı şüphelidir. Kullandığı "eşad"lar ile önemli faktörün veya etkileşimin yakalanamaması olasıdır. KDT, TY'ne göre daha sağlıklı sonuçlar sunabilmektedir. Çünkü, yapılan deneye kombinasyon sonucunda oluşan gözlem sayısı Taguchi'ye göre çok daha fazladır. Ancak, yanlış değerlerle işe koyulmak hem zaman kaybına hem de sonucun yanlış çıkmasına neden olmaktadır.

2. DEĞİŞKEN ARAŞTIRMASI

Değişken Araştırması (DA), kusura sebep olan nedenlerin azaltılması ve çıktı varyasyonunu oluşturan faktörlerin önemli ile önemsizleri ayrıştırılarak, en önemli faktörlerin (Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X) ayıklanmasını sağlar. Böylece önemsiz olarak nitelenen faktörlerin C_p ve C_{pk} değerlerinin 1.0 veya daha küçük değerlere inmesine izin

verilerek, bu faktörlerin tolerans değerlerinde bir yükseltme sağlayacağı için üretim maliyetinin azaltılmasına da katkıda bulunur (Anthony ve Cheng, 2003).

DA'nın en önemli özelliği ise önemli olarak ortaya çıkarttığı faktörlerin veya etkileşimlerin süreç yeterliliğinin en az 2.0 olmasını sağlamaktır (C_{pk} = 2.0). Böylece ilgili faktörlere dair tolerans değerleri daha da sıkılaşacaktır. DA yönteminde şu aşamalar izlenir:

1. *Tahmini Değerlerin Bulunması:* Deney için doğru değişkenlerin (faktörlerin) ve bu faktörlerin doğru seviyelerinin belirlenmesi.
2. *Eleme:* Önemli olarak belirlenen diğerlerinde ayrılması ve önemsiz değişkenlerin elenmesi.
3. *Teyit Etme:* Önemli ve önemsiz olarak belirlenen değişkenlere dair bu kararın doğruluğunun teyit edilmesi.
4. *Faktöriyel Analiz:* Önemli değişkenlerin geçerli seviyelerini ve etkileşim değerlerinin tespit edilmesi.

2.1.Tahmini Değerlerin Bulunması

Araştırma için doğru faktörlerin seçilip seçilmediği belirlenir. Eğer başarılı bir şekilde doğru parametreler (faktörler) belirlenmişse istatistiksel olarak %95'lik bir güven düzeyi yakalanmış demektir. Bu seçim için ilk önce üretim, kalite ve tasarım departmanlarından kişiler ve operatörlerin belirttiği Yeşil Y'ye sebep olan faktörler önem sırasına göre dizilir. İkinci adımda, üretim içerisinden Yeşil Y'ye göre iki örnekler belirlenir. Bu örneklerin ilki tüm faktörlerin "en iyi" ($E_İ$) ve diğerinin de "en kötü" (E_K) seviyede tutulmasıyla elde edilir. $E_İ$ ve E_K için rassal olarak iki farklı ölçüm daha alınır. Böylece, her bir faktörün 3 tane iyi, 3 tane de kötü değerleri için toplamda 6 deney yapılır. Kritik değerlerin (Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X) belirlenen listenin içerisinde olup olmadığını anlamak için "iyi" ve "kötü" değerlerin medyanları arasındaki ilişkiye bakılır. İlk önce "iyi" ve "kötü"lerin medyan farklarına bakılır. *$M_İ$: "İyi"ler grubunun medyanı* ve *M_K*: *"Kötü"ler grubunun medyanı* olmak üzere, medyanlar farkı $D_M=M_İ-M_K$ ile hesaplanır. Bunun arkasından çıktı değişkenlerinin iyi ve kötü değerleri için ayrı ayrı değişim aralıkları hesaplanır ($R_İ$ ve R_K) ve bunların ortalaması ($\overline{R}$)alınır. İstatistiksel anlamlılık için medyan farkı ile değişim aralığı ortalaması oranlanır (D_M / $\overline{R}$). Eğer bu oran *en az 1.25* çıkarsa kritik faktörler (önemli faktörler) belirlenen listenin içerisindedir.

Medyan için Kontrol Limitleri (Karar Limitleri) hesaplanır. Bu limitlerin bulunması için şu formüllerden yararlanılır:

$$KL_K = M_K \mp t_{(\alpha;n-2)} \cdot \left(\frac{\overline{R}}{d_2}\right) \qquad KL_İ = M_İ \mp t_{(\alpha;n-2)} \cdot \left(\frac{\overline{R}}{d_2}\right)$$

$t_{(\alpha\,;\,n-2)} = t_{(0{,}05\,;\,6-2)} = 2.776$

d_2 = İstatistiksel sabit sayı (= 1.81)

2.2. Önemsiz Faktörlerin Elenmesi

Önemsiz olarak belirlenen faktörler ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan etkileşimler elenir. Bu eleme için faktörlerin yer değiştirerek oluşturduğu ikili kıyaslamalar yapılır. İlk önce en önemli olarak belirtilen faktör "İyi" (İ) seviyesindeyken diğer faktörler "Kötü" (K) seviyesinde tutularak deney yapılır (7. deney). Hemen peşinden, en önemli görülen faktörün K, diğerlerinin İ seviyeleri tutularak bir deney daha yapılır (8. deney). Bu deneyde elde edilen yanıt değişkenleri kontrol limitleri içerisinde yer alırsa, incelenen bu faktör elenir. Elenen faktör ile birlikte bu faktörün etkileşimleri de elenmiş olur. Eğer sonuç, limitler dışındaysa, "bu faktör varyasyonun oluşmasında etkilidir" olarak değerlendirme yapılır. Bu işlem (swapping) kritik değerlerin bulunmasına kadar devam eder. Yapılan deneyler sonrasında elde edilen 2 veya 3 faktör bir sonraki aşama olan "Teyit Etme" (Capping Run) işlemine girer.

2.3. Teyit Etme (Capping Run)

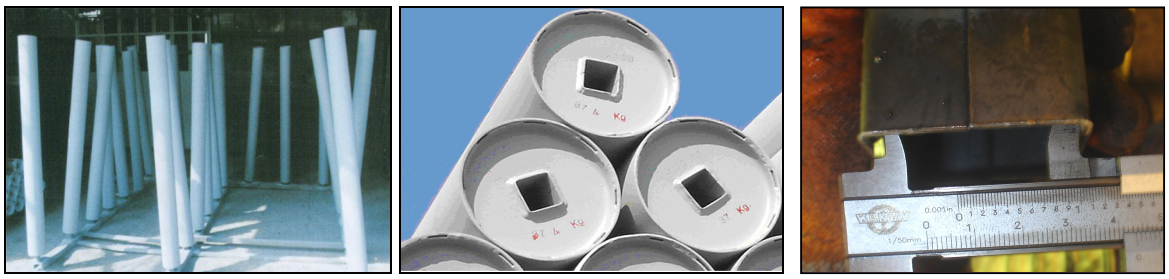
İkinci aşamada seçilen ve önemli olarak nitelenen faktörler ile önemsiz faktörler ayrıştırılarak bunların doğruluğu teyit edilir. Bu aşamadan çıkan önemli faktörler İ seviyesindeyken geri kalan faktörlerin K seviyeleri ile ve tam tersi seviye değerleri ile iki deney daha yapılır. Bu iki deney sonucunda eğer çıktı değişkeni medyan limitleri içerisinde kalırsa kritik değerlerden bazılarına ulaşılmıştır. (Capping run başarılı olmuştur). Eğer çıktı değişkenleri karar limitlerinin dışında kalırsa, muhtemelen ilk aşamada kritik faktörler doğru belirlenmemiştir; yeni kritik değerler belirlenmelidir.

3.4. Faktöriyel Analiz

İlk üç aşama sonunda elde edilen faktörlere göre tam faktöriyelli deney (TFD) matrisi tasarlanarak, ana etkilerin ve etkileşimlerin yönü belirlenir. Bu aşama yeni bir deney değil, yapılan deneylerin hesaplanması aşamasıdır. Belirlenen faktör sayısına (n) göre 2^n'lik TFD matrisi tasarlanır. Yapılan deney sonuçlarına göre ana ve etkileşim etkileri belirlenir.

3. UYGULAMA

Çalışma, endüstriyel bez üretimi yapan bir fabrikanın ürünlerini sarıp nakliyesini yapabilmesi için gerekli göbeklerin üretimini yapan bir işyerinde uygulanmıştır. Ürün sarıldıktan sonra göbeklerin üzerine 4–4.5 ton arasında yük binmektedir. Bu yükü kaldırmak için kullanılan araç, göbeklerin ortasındaki dörtgenden (kutu profil) malafa adı verilen kol ile kaldırılmaktadır. Belirlenen sorun, bazı profillere malafanın girememesi veya kutu profilin malafaya göre çok bol gelmesi sonucunda ortaya çıkan deformasyonun yaşanmasıdır. Sorunun bulunmasına yönelik ipucu yaratma çalışması sonucunda bu sorunun kutu profilin iç uzunluğundan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Kutu profilin iç kenar uzunluğu (mm) çıktı değişkeni olarak ele alınmıştır (Yeşil Y). Malafanın kalınlığı 366 mm ile 370 mm arasında değişmektedir.



Şekil 1: Üretilen profilin çeşitli açılardan görünüşü

Deneyle ilgili olarak yapılan ilk incelemelerde iç uzunluğa etkisi olan faktörler ve bu faktörlerin seviyeleri listelenmiş ve araştırma ekibi tarafından önemine göre sıralanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1: Faktörlerin önem sırasına düzenlenmiş hali.

Süreç Değişkenleri	Kod	En İyi Seviye	En Kötü Seviye
Sacın Karbon Oranı	A	Düşük	Yüksek
Sac Kesimi (en uzunluğu)	B	80 mm	75 mm
Punta Kaynağı	C	Gazaltı	Normal
Büküm Açısı	D	93°	91°
Kaynak Uzunluğu	E	3 cm	2 cm
Sac Kalınlığı	F	3 mm	2 mm
Hizalama	G	0 mm	2 mm
Punta Pozisyonu	H	Dikey	Yatay

Belirlenen sıralamaya göre ilk önce 3 tane tüm faktörlerin "iyi" ve 3 tane de tüm faktörlerin "kötü" seviyesindeyken rassal olarak gözlem yapılmıştır. Tablo 2'de rassal sırada yapılan deneylerin sonrasında elde edilen ölçümler verilmiştir.

Tablo 2: Başlangıç ve ilk çıktı gözlemlerinin belirtilmesi. (Parantez içindeki sayılar rassal sırayı göstermektedir.)

Deney No	Süreç Değişkenleri	Uzunluk(mm)
1 (4)	$A_İ$ $B_İ$ $C_İ$ $D_İ$ $E_İ$ $F_İ$ $G_İ$ $H_İ$	380
2 (2)	A_K B_K C_K D_K E_K F_K G_K H_K	417
3 (6)	A_K B_K C_K D_K E_K F_K G_K H_K	421
4 (1)	$A_İ$ $B_İ$ $C_İ$ $D_İ$ $E_İ$ $F_İ$ $G_İ$ $H_İ$	376
5 (5)	A_K B_K C_K D_K E_K F_K G_K H_K	409
6 (3)	$A_İ$ $B_İ$ $C_İ$ $D_İ$ $E_İ$ $F_İ$ $G_İ$ $H_İ$	377

	Deneyler	İyi (mm)	Kötü (mm)
Başlangıç	1. ve 2.	380	417
İkincil Gözlemler	3. ve 4.	376	421
Üçüncül Gözlemler	5. ve 6.	377	409

Yapılan bu gözlemler sonucunda İ ve K grubuna ait ölçüm değerleri şu şekilde oluşmuştur:

$M_İ = 377$, $M_K = 417$, $R_İ = 380 - 376 = 4$, $R_K = 421 - 409 = 12$, $D_M = 417 - 377 = 40$, $\overline{R} = (4+12)/2 = 8$

Önemli faktörlerin belirlenen listenin içerisinde olup olmadığının anlaşılması için $D_M / \overline{R}$ oranına bakılır. $D_M / \overline{R} = 5{,}0$ çıktığı için ($\geq 1{,}25$ şartını sağladığı için) listedeki faktörler doğru belirlenmiştir ve kritik faktörler bu listededir. Bu aşamadan sonra medyan için "Kontrol Limitleri" hesaplanır.

$KL_İ = 377 \pm 2.776(8/1.81) =$ ***(364.7 – 389.3)*** , $KL_K = 409 \pm 2.776(8/1.81) =$ ***(404.7 – 429.8)***

Faktörler belirtilen önem sırasına göre teker teker ele alınır. İlk önce birinci faktör A "İyi" seviyesindeyken diğer faktörler "Kötü" seviyelerinde tutularak bir deney yapılır (7. deney). Hemen arkasından seviyelerin yerleri değiştirilerek ikinci deney yapılır (8. deney).

Tablo 3: Önemli Faktörler ve Etkileşimler

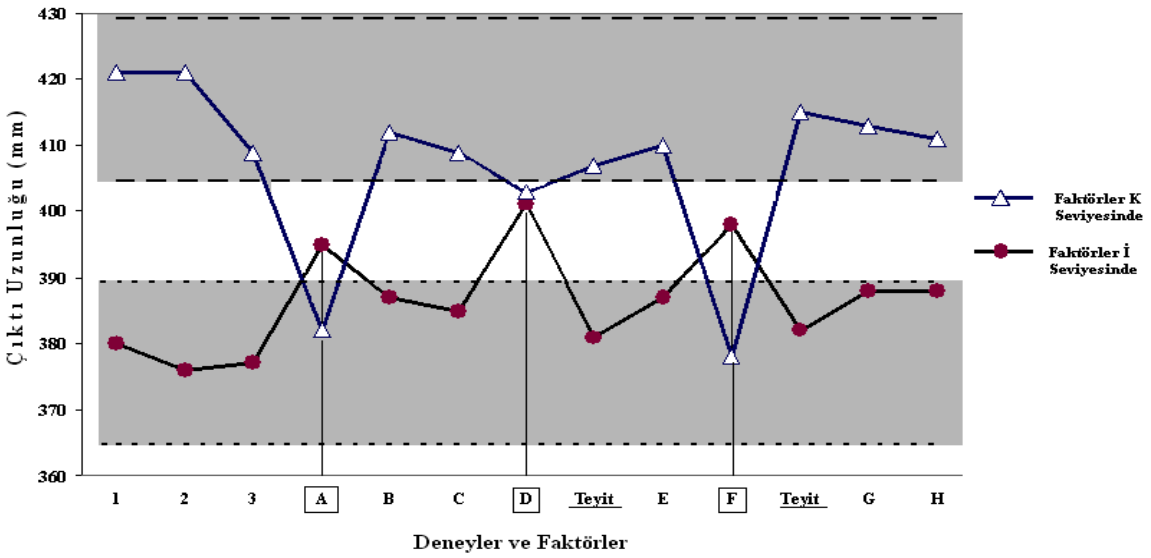
Dny.No	Süreç Değişkenleri	Uzunluk (mm)	Kontrol Limitleri	Sonuç
7	**$A_{(İ)}$**. Diğer$_{(K)}$	395	364,7 – 389,3	**A önemlidir**.
8	**$A_{(K)}$.** Diğer $_{(İ)}$	398	404,7 – 429,3	
9	**$B_{(İ)}$**. Diğer $_{(K)}$	387	364,7 – 389,3	B önemli değil
10	**$B_{(K)}$.** Diğer $_{(İ)}$	412	404,7 – 429,3	
11	**$C_{(İ)}$.** Diğer$_{(K)}$	385	364,7 – 389,3	C önemli değil
12	**$C_{(K)}$.** Diğer $_{(İ)}$	409	404,7 – 429,3	
13	**$D_{(İ)}$.** Diğer$_{(K)}$	401	364,7 – 389,3	**D önemlidir**
14	**$D_{(K)}$.** Diğer $_{(İ)}$	403	404,7 – 429,3	
15	**$A_{(İ)}$.$D_{(İ)}$**. Diğer$_{(K)}$	381	364,7 – 389,3	*Teyit etme başarılı*
16	**$A_{(K)}$.$D_{(K)}$**.Diğer $_{(İ)}$	407	404,7 – 429,3	
17	**$E_{(İ)}$.** Diğer$_{(K)}$	387	364,7 – 389,3	E önemli değil
18	**$E_{(K)}$.** Diğer $_{(İ)}$	410	404,7 – 429,3	
19	**$F_{(İ)}$.** Diğer$_{(K)}$	398	364,7 – 389,3	**F önemlidir**
20	**$F_{(K)}$.** Diğer $_{(İ)}$	378	404,7 – 429,3	
21	**$A_{(İ)}$.$D_{(İ)}$.$F_{(İ)}$.**Diğer$_{(K)}$	382	364,7 – 389,3	*Teyit etme başarılı*
22	**$A_{(K)}$.$D_{(K)}$.$F_{(K)}$.**Diğer $_{(İ)}$	415	404,7 – 429,3	
23	**$G_{(İ)}$.** Diğer$_{(K)}$	388	364,7 – 389,3	G önemli değil
24	**$G_{(K)}$.** Diğer $_{(İ)}$	413	404,7 – 429,3	
25	**$H_{(İ)}$.** Diğer$_{(K)}$	388	364,7 – 389,3	H önemli değil
26	**$H_{(K)}$.** Diğer $_{(İ)}$	411	404,7 – 429,3	

Elde edilen yeni uzaklık değerleri kontrol limitleri dışında olduğu için, A sonuca etki eden önemli bir faktör olarak değerlendirilir. Sonraki önemli faktörün belirlenmesi için ikinci sıradaki faktör için benzer bir ikili deney daha yapılır. Yapılan 9 ve 10. deneyler sonrasında da B faktörü kontrol limitleri içerisinde yer aldığı için önemsiz olarak sonuçlanmıştır. C faktörü için de aynı sonuç çıkmıştır. Sıradaki D faktörüne ait deney sonucunda, bu faktörün önemli olduğu görülmektedir.

A ve D'nin önemli olarak belirtilmesinden sonra bu kararın doğruluğu teyit edilir. Bunun için iki deney daha yapılır. 15. deneyde A ve D "İyi" seviyelerinde tutularak diğer faktörler kötü seviyelerinde bırakılır. 16. deneyde ise bu seviyeler yer değiştirir. Çıktı sonuçları kontrol limitlerinin içerisinde çıktığı için teyit süreci (capping run) başarılı olmuştur. Elde edilen bu sonuca göre diğer faktörlere bakılmasına gerek kalmaz. Çünkü varyasyonun çok büyük bir kısmını oluşturan en önemli iki faktör bulunmuştur. Ancak tüm faktörlerle yapılması istenen bu çalışmaya özel olarak diğer faktörler de deneye alınmıştır.

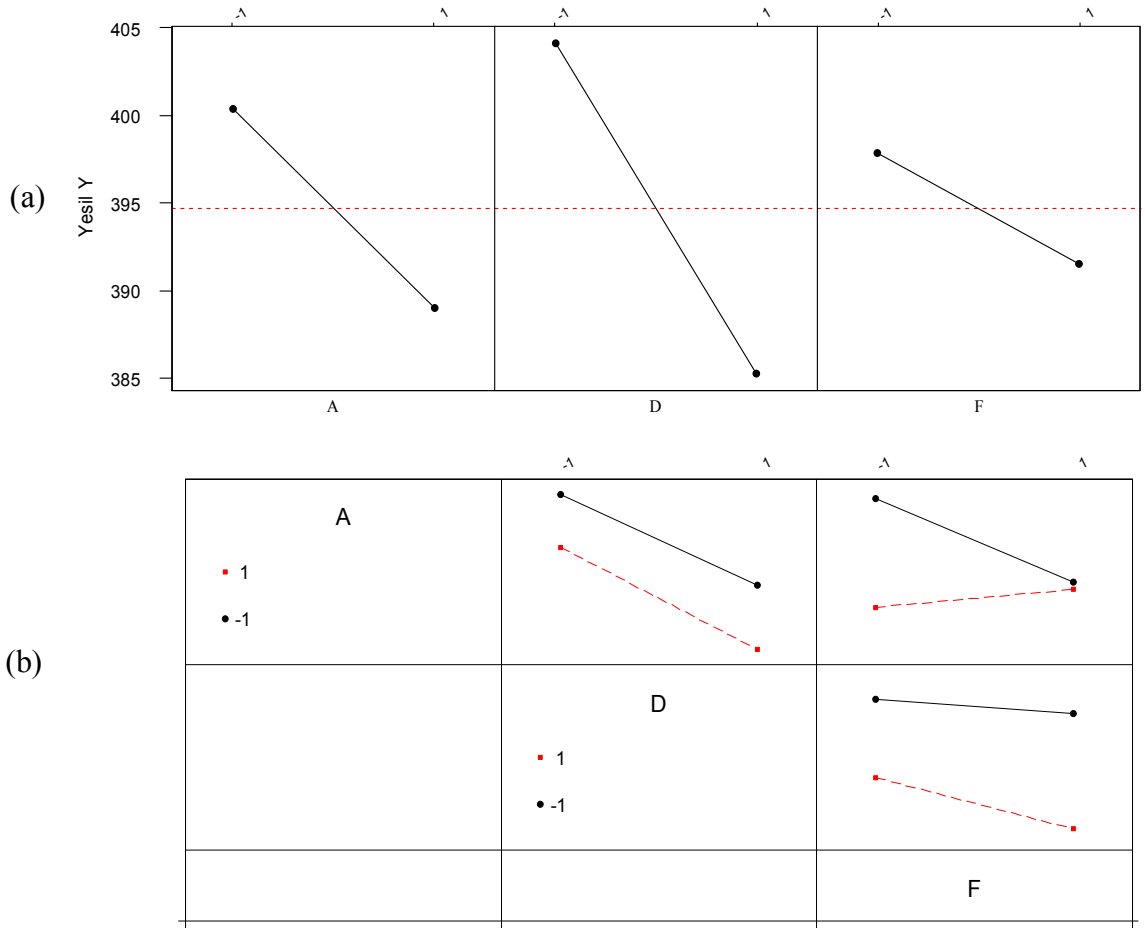
Bu nedenle sıradaki faktör (E) için bir ikili deney daha yapılmıştır; ancak E faktörü kontrol limitleri içerisinde olduğu için çıktı değişkenliği üzerinde etkisi yoktur. F faktörünün denenmesinden sonra F'nin önemli bir faktör olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu sefer üç önemli faktör için bir teyit süreci daha gerçekleştirilir.

21. deneyde A, D ve F faktörleri "iyi" ve diğer faktörler ise "kötü" seviyelerinde tutulmuştur. Bir sonraki deneyde A, D ve F "kötü" seviyelerindeyken diğer faktörler "iyi" seviyesine alınmıştır. Çıkan sonuçlara göre, söz konusu bu üç faktörün ve/veya etkileşimlerinin çıktı üzerinde etkili olduğu söylenebilir. G ve H faktörleri için de benzer incelemeler yapılmış ve bunların da önemsiz oldukları gözlenmiş (Tablo 3) ve sonuçlar grafiksel olarak da gösterilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Tüm deneylerin ortaya çıkardığı sonuçlar (Gri alan kontrol limitlerini göstermektedir)

Faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri aşağıdaki Şekil 2'de gösterilmiştir. Sonuçta ortaya çıkan çizgiler paralel bir yapı gösteriyorsa bu iki faktör arasında etkileşim yok demektir. Şekilde belirtilen çizgilerden A ve F faktörleri arasında güçlü bir etkileşim olduğu ancak diğer etkileşimlerin zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil 2: Önemli olarak belirlenen faktörler (a) ve etkileşimleri (b)

Yandaki şekillerle etkileşimlerin olduğu belirlendikten sonra önemli faktörlerin veya etkileşimlerin etki derecelerini belirleyebilmek için, "iyi" seviyeleri (+) ve "kötü" seviyeler (–) işaretiyle gösterilerek, bu üç faktöre dayalı TFD yapılır. Bunun için yeni bir gözlem yapmaya gerek yoktur. Önemli faktörlere ait elde edilen sonuçlar kullanılarak aşağıdaki tablolar oluşturulur. (Tablo 4 ve Tablo 5)

Tablo 4: Önemli faktörlerin seviyelerine göre ortaya çıkardığı sonuçlar

			A	
			(+)	**(–)**
D	(+)	**F (+)**	380 377 376 382 (Medyan = 378,5)	382 (Medyan = 382)
		F (–)	381 378 (Medyan = 379,5)	401 (Medyan = 401)
	(–)	**F (+)**	403 (Medyan = 403)	407 398 (Medyan = 402,5)
		F (–)	395 (Medyan = 395)	421 409 417 415 (Medyan = 416)

	Faktörler							
	A	**D**	**F**	**Gözlem Sonuçları**				**Medyan**
1	+	+	+	380	376	377	382	378,5
2	+	+	–	381	378			379,5
3	+	–	+	403				403
4	+	–	–	395				395
5	–	+	+	382				382
6	–	+	–	401				401
7	–	–	+	407	398			402,5
8	–	–	–	421	417	409	415	416

Tablo 5 incelendiğinde en büyük etkinin D faktörü (büküm açısı) olduğu görülmektedir. Kırmızı X olarak nitelenecek faktör büküm açısıdır. İkincil öneme sahip faktör, Pembe X, A faktörüdür (hammadde). Uzunlukta ortaya çıkan varyasyonun üçüncü önemli sebebi ise A ve F faktörlerinin (hammadde ve sac kalınlığı) etkileşimiyle oluşmaktadır (Soluk Pembe X).

Tablo 5: Ana etkiler ve etkileşim etkileri

	Ana Faktörler			**Etkileşimler**				**Uzunluk**
	A	**D**	**F**	**A*D**	**A*F**	**D*F**	**A*D*F**	**(mm)**
1	+	+	+	+	+	+	+	378,5
2	+	+	-	+	-	-	-	379,5
3	+	-	+	-	+	-	-	403
4	+	-	-	-	-	+	+	395
5	-	+	+	-	-	+	-	382
6	-	+	-	-	+	-	+	401
7	-	-	+	+	-	-	+	402,5
8	-	-	-	+	+	+	-	416
Uzunluk Ortalaması (+)	389	385,3	391,5	395,3	389,8	396,5	394,3	
Uzunluk Ortalaması (-)	400,4	404,1	397,9	394,1	399,6	392,9	395,1	
ETKİ	**-11,4**	**-18,9**	-6,4	1,1	**-9,9**	3,6	-0,9	
	Pembe X	**Kırmızı X**			**Soluk Pembe X**			

4. SONUÇ

Deneyler sonucunda elde edilen faktörler $A_{(i)}D_{(i)}F_{(i)}$ seviyelerinde tutulduğu sürece optimum bir sonuç alınacaktır. Buna göre büküm açısının yüksek tutulması (93°) ile kutu profilin iç uzunluk varyasyonun önemli bir kısmı azaltılacaktır. Bununla birlikte hammaddede karbon oranı düşük ve sac kalınlığı 3mm olmalıdır. Varyasyonu etkileyen faktörlerin bulunmasında kullanılan pek çok işlem ağırlıklı tekniğin yanında SY az işlem gerektiren ve anlaşılması kolay olan bir sistem sunmaktadır. Bu deneyde etkileşim değerlerinin bulunması için alternatif olarak varyans analizi de yapılmıştır ve aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuç olarak, işlem sayısının artmaması ve deney sonuçlarının bir an önce hayata geçirilebilmesi için, Shainin Yöntemini'nin sunduğu teknikler diğer yöntemlere göre daha etkili olmaktadır.

KAYNAKLAR

Antony Jiju, Cheng Alfred Ho Yuen, *Training For Shainin's Approach To Experimental Design Using A Catapult*,Journal of European Industrial Training, Volume 27, Number 8, Emerald Group Publishing Limited, 2003.

Bayou, Mohamed E., *Developing An Associative Costing Model For Product Design: A Critical Analysis*, http://aux.zicklin.baruch.cuny.edu/critical/html2/7094reinstein.html, 13.02.2009

Bhote, Keki, *World Class Quality: Using Design of Experiments to Make It Happen*, New York, Amacom, 2000.

Mast, Jeroen d., *A Methodological Comparison Of Three Strategies For Quality Improvement*, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 21 No. 2, Emerald Group Publishing Limited, 2004.

Schippers, Werner Andreas Johannes, "Structure and Applicability of Quality Tools", Eindhoven, Eindhoven Teknik Üniversitesi Yay., 2000.

Şirvancı, Mete, *Kalite için Deney Tasarımı–Taguçi Yaklaşımı*, İstanbul: Literatür Yayıncılık, 1997.

Steiner S.H., MacKAY R.J. ve RAMBERG J.S., *An Overview of the Shainin SystemTM for Quality Improvement*, Quality Engineering, 20: 6–19, 2008