

Taguchi yönteminin gıda sektöründe çok yanıtlı problemin eniyilemesinde uygulanması

Kasım Baynal^{1*}, İlknur Gencel²

09.14.2014 Geliş/Received, 19.01.2015 Kabul/Accepted

ÖZ

Tasarım için önerilen istatistiksel deneyler(İD), ürün parametrelerinin ve parametre değişkenlerinin artmasına paralel faktöriyel artmakta; bu da maliyet ve zaman açısından pratikte uygulanabilirliğini yitirmektedir. Ancak Taguchi Yöntemi(TY) daha az denemeli ve klasik yöntem kadar iyi sonuçlar veren ortogonal diziler(OD) geliştirmiştir. OD, faktör seviyelerini birer birer değiştirmek yerine eşzamanlı olarak değiştirmeye olanak verir. Taguchi, kaliteyi sağlamak için yapılan çalışmaları çevrim içi (on-line) ve çevrim dışı (off-line) olmak üzere ikiye ayırmaktadır. İD tasarımı Taguchi'nin kalite sisteminde çevrim dışı kalite kontrol içinde yer almaktadır. Çalışmada, kalite problemlerine neden olan değişkenlik kaynakları belirlenerek, kalite karakteristiklerinin eniyilemesine olanak veren TY, çok yanıtlı problemlerin eniyilemesinde kullanılarak, endüstriyel bir uygulamadaki iyileştirmeleri ve yöntemin etkinliğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: deney tasarımı, taguchi yöntemi, çok yanıtlı problemler, fermantasyon süreci

The application of Taguchi method in food industry for optimization of multi-response problem

ABSTRACT

The statistical experiments that are suggested can often lose their effectiveness in terms of cost and time because of the factorial enlargement of the product parameters and its varieties. However, the results of the researches that are conducted by Taguchi developed experiment designs (OA:orthogonal arrays) with less trial and high success rate as classic method and also accepted by the manufacturing sector. OA allow users to change factor levels simultaneously instead of changing them one by one. Taguchi divides the studies, which are done to provide quality, into two parts as on-line and off-line. The statistical experiment design falls into the off-line quality control of the Taguchi's quality system. In the study, it is aimed to discover the improvements as an industrial application and the effectiveness of the Taguchi method, which is used effectively in solving industrial problems and allows improving quality features, by determining sources that cause the quality problems. In this study an industrial problem is discussed, and it has been tried to solve this problem by using multiple response optimization.

Keywords: experimental design, taguchi method, multiple response problems, fermentation process

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli - kbaynal@kocaeli.edu.tr

2 Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli - ilknur.gencel@gmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir ürünün kalitesi; tasarım, uygunluk ve kullanım kalitesi olmak üzere üç yönde oluşmaktadır. Ürünün performansındaki varyasyon bu üç aşamadan kaynaklanmakta, varyasyonları enküçükleme için, ürün geliştirilirken bu üç konunun dikkate alınması gerekmektedir. Ürün ve süreç tasarımı geliştirilerek, hem üretim kusurlarını azaltmak hem de süreç kontrollerini azaltmak olanaklıdır. Süreç ne kadar duyarlı ayarlanırsa ayarlanırsa, yanlış tasarım nedeniyle süreçte oluşabilecek temel bozukluklar giderilemez. Ancak üretim sürecinde tam kontrol söz konusuysa ürün tasarımı olduğu gibi üretilebilir. Ürün ve süreç tasarımı aşamalarında uygulanacak bir kalite kontrolü ile ürünün üretilebilirliğini ve güvenilirliğini geliştirmek, kullanım maliyetlerini azaltmak olanaklı olabilmektedir. Ürün ve süreç tasarımı geliştirmeye yönelik yöntemler maliyet arttırmadan üretim kusurlarını azaltmaktadır [1].

Genichi Taguchi ise ürün kalitesi için alışılmamış bir tanım yapmaktadır [2]. "Ürünün gerçek fonksiyonları ile neden olduğu kayıplardan başka, ürün sevk edildikten sonra toplumda neden olduğu en az kayıptır". Taguchi "kayıp" kavramı ile aşağıdaki iki kategoriyi ifade etmektedir:

- 1) Fonksiyonun değişkenliği ile neden olunan kayıp,
- 2) Zararlı yan etkiler ile neden olunan kayıp.

Taguchi, sadece üretim esnasında üreticiye değil, aynı zamanda bir bütün olarak müşteri ve toplum için kaliteyi maliyetle ilişkilendiren holistik (bütünün parçaları arasındaki ilişkiye odaklanan) bir kalite bakışı önerir. Taguchi kaliteyi; "bir ürünün kalitesi, ürünün sevk edilmesinden sonra toplumda neden olduğu en az kayıp" olarak tanımlar. Bu ekonomik kayıp, yeniden işleme, üretim esnasında kaynakların israfı, garanti maliyetleri, müşteri şikayetleri ve tatminsizliği, hatalı ürünlerde müşteriler tarafından harcanan zaman ve para, sonuç olarak pazar payı kaybı yüzünden meydana gelen kayıplarla ilişkilidir [3].

2. DENEY TASARIMI (DESIGN OF EXPERIMENT)

Deney, genel anlamda bir veya daha fazla sayıda belirli bir konuda sınırlanmış soruları yanıtlamayı hedefleyen işlem şekli olarak tanımlanır. Deney tasarımı, belirlenmiş bir tasarım matrisine göre süreç üzerinde etkili olması muhtemel süreç değişkenleri değerlerinin sistematik olarak değiştirilerek, bir deney veya bir takım sıralı deneylerin gerçekleştirilmesi yöntemidir [4].

Deney tasarımında amaç, herhangi bir konu üzerinde düşünülen problem ile ilgili en fazla sayıda bilgiyi

mümkün olduğunca zaman, para ve deney malzemelerini en ekonomik şekilde kullanarak sağlamak ve kalite karakteristiğini etkileyen en önemli değişkenleri bulmaktır. Belirlenen hedeften olabilecek sapma, kalite kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle ürün; ürün ve süreç tasarımı sırasında en uygun şekilde tasarlanmalıdır. Bu iki aşamanın en önemli adımı şüphesiz parametre tasarımıdır. Parametre tasarımı aşamasında, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin ürünün performansına olan etkilerini belirlemek için kullanılan en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Burada amaç, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini en aza indirecek şekilde süreci ayarlamaktır. Bu çeşit ürün ya da süreç tasarımı ile sağlam (robust) ürün elde edilir. Deney tasarımı, çevrim dışı kalite kontrolün en etkin aracıdır [5]. Deney tasarımı ile değişik koşullar altında elde edilen sonuçlar aşağıdakilere ulaşabilmek amacı ile değerlendirilir [6]:

1. Test edilen değişkenlerin içinde etkili olanların tanımlanması
2. Belli bir aralıkta değişkenlerin çeşitli düzeylerinin etkilerinin ölçülmesi
3. Sürecin mevcut durumda işleyişinin daha iyi anlaşılması
4. Bir takım etkenlerin ve etkileşimlerin karşılaştırılması

Deney tasarımı yönteminin ürün ve süreç geliştirme çevriminin başlangıcında uygulanması aşağıdakiler gibi birçok fayda sağlar [6]:

- İyileştirilmiş süreç çıktıları
- Nominal veya hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılması
- Toplam geliştirme süresinin düşürülmesi
- Toplam maliyetin azaltılması

2.1. Kalite geliştirmede deney tasarımı ve önemi (Experimental design and importance in the quality development)

Tasarım bugün sadece estetik açıdan ele alınan ve sadece ürüne ait bir kavram olmaktan çıkmış ve müşteri istekleri doğrultusunda gerek fonksiyonel gerekse estetik açıdan ürüne en iyi özellikleri sağlayacak ürün ve üretim sisteminin beraber tanımlandığı bir kavram haline gelmiştir. "Kalite ürünle birlikte tasarlanmalıdır" anlayışı ile varolan veya yeni geliştirilen ürün/üretim sistemlerinde müşteri isteklerini karşılayacak ürünleri üretebilmek için gerekli ürün kalite karakteristiklerine ulaşmak için sistemli çalışmak şarttır [7].

Ürünün ve/veya üretim sisteminin performansını etkileyen faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi ile başlayan bu ön hazırlık safhasında beyin fırtınası, balık

kılıçığı diyagramı ve hata ağacı gibi kalite araçlarının kullanılması gereklidir.

Yapılan ön hazırlıklar genelde deneyin oluşum mekanizmasına da yansiyarak değişik deneysel tasarım yöntemlerinin oluşmasına neden olur. Bu deneysel tasarım yöntemleri temelde aynı amaca hizmet etmekle birlikte sonuca en kısa sürede ve maksimum kazançla ulaşabilmek için gerek ön çalışma gerekse deney matrisinin oluşturulmasında farklı yollar izlemektedir. Müşteri memnuniyetsizliği ve/veya kalitenin zayıflığı nedeniyle oluşan ekonomik kaybı ortadan kaldırmak için, incelenen sistemdeki değişimleri azaltmak gereklidir. Kalite yetersizliğinin neden olduğu bu kayıp, satış fiyatının %10-25'ini doğrudan harcar. Bunu aşmanın yolu ürünün ve sürecin doğru tasarımından geçmektedir [8]. Üretilen ürün/süreçte oluşacak değişimler, hem müşteri memnuniyetsizliğine yol açtığı için, hem de düşük kalitenin kaybettirdiği pazar payının etkisi ile ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Değişimin temelde altı kaynağı vardır. Bunlar aşağıdaki maddelerle ifade edilebilir [9]:

- Zayıf yönetim
- Yetersiz ürün/süreç spesifikasyonları
- Zayıf bileşen spesifikasyonları
- Yetersiz kalite sistemi
- Yetersiz tedarikçi malzemeleri
- Operatör hatası

Deney tasarımı, üretim süreci performansını arttırmak ya da dış kaynaklı değişkenlere karşı duyarsız bir üretim süreci elde etmek için yeni bir üretim süreci geliştirmekte ya da üretim sürecindeki sorunlara çözüm bulmakta kullanılır. Ürün veya süreç geliştirme; 1. *Sistem tasarımı*, 2. *Parametre tasarımı*, 3. *Tolerans tasarımı* olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir.

Sitem tasarımı, ilgilenilen ürünün veya sürecin temel fonksiyonel prototip modelini üretmek için mühendislik bilgilerinin kullanımını gerektirir ve bir takım yenilikleri içerir. Parametre tasarımında ise, klasik yaklaşımlardan farklı olarak, kontrol edilebilen faktörlerin iç (inner), kontrol edilemeyen faktörlerin de dış (outer) dizine yerleştirilerek incelendiği Şekil 1'deki deney tasarım modelinin kullanılması önerilmektedir [1].

Çok yüksek maliyet gerektirmeleri nedeniyle kontrol edilemeyen faktörlerin olumsuz etkilerini belirleyip ortadan kaldırmak yerine, bunların olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak veya azaltacak kontrol edilebilen faktörlerin değerleri araştırılır. Kontrol edilebilen faktörler de performans değerine etkileri bakımından üç grupta sınıflandırılabilir: 1. Kontrol faktörleri, 2. Düzeltme faktörleri, 3. Etkisiz faktörler.

Deneyler sonunda elde edilen performans değerleri ve performans istatistiği (Sinyal/Gürültü (S/N) oranı: signal to noise ratio) bilgileri analiz edilerek bu sınıflama yapıldıktan sonra; kontrol faktörleri yardımıyla performans değerindeki değişkenlik azaltılır, düzeltme faktörleri yardımıyla da ortalama hedeflenen değerine getirilir. Etkisiz faktörlerin de en iyi ve en ekonomik değerleri seçilir. Bir eniyileme süreci olan parametre tasarımı sonunda değişkenlik yeterince azaltılamazsa tolerans tasarımı yapılmalıdır. Basit olarak tolerans tasarımı, performans değişkenliği üzerinde etkili olan bazı faktörlerin değişkenliğini ek harcamalarla azaltarak (kalitesini yükselterek) performans değerindeki değişkenliği azaltmaktadır.

Deney No	İç Dizi					Veriler					Performans İstatistiği
	A	B	C	...	K	Y ₁₁	Y ₁₂	...	Y _{1k}	Z ₁	
1	-	-	-	...	-	Y ₁₁	Y ₁₂	...	Y _{1k}	Z ₁	
2	-	-	+	...	+	Y ₂₁	Y ₂₂	...	Y _{2k}	Z ₂	
.	
.	
.	
M	+	+	+	...	+	Y _{m1}	Y _{m2}	...	Y _{mk}	Z _m	

Şekil 1: Taguchi deney tasarım modeli (The experimental design model of Taguchi)

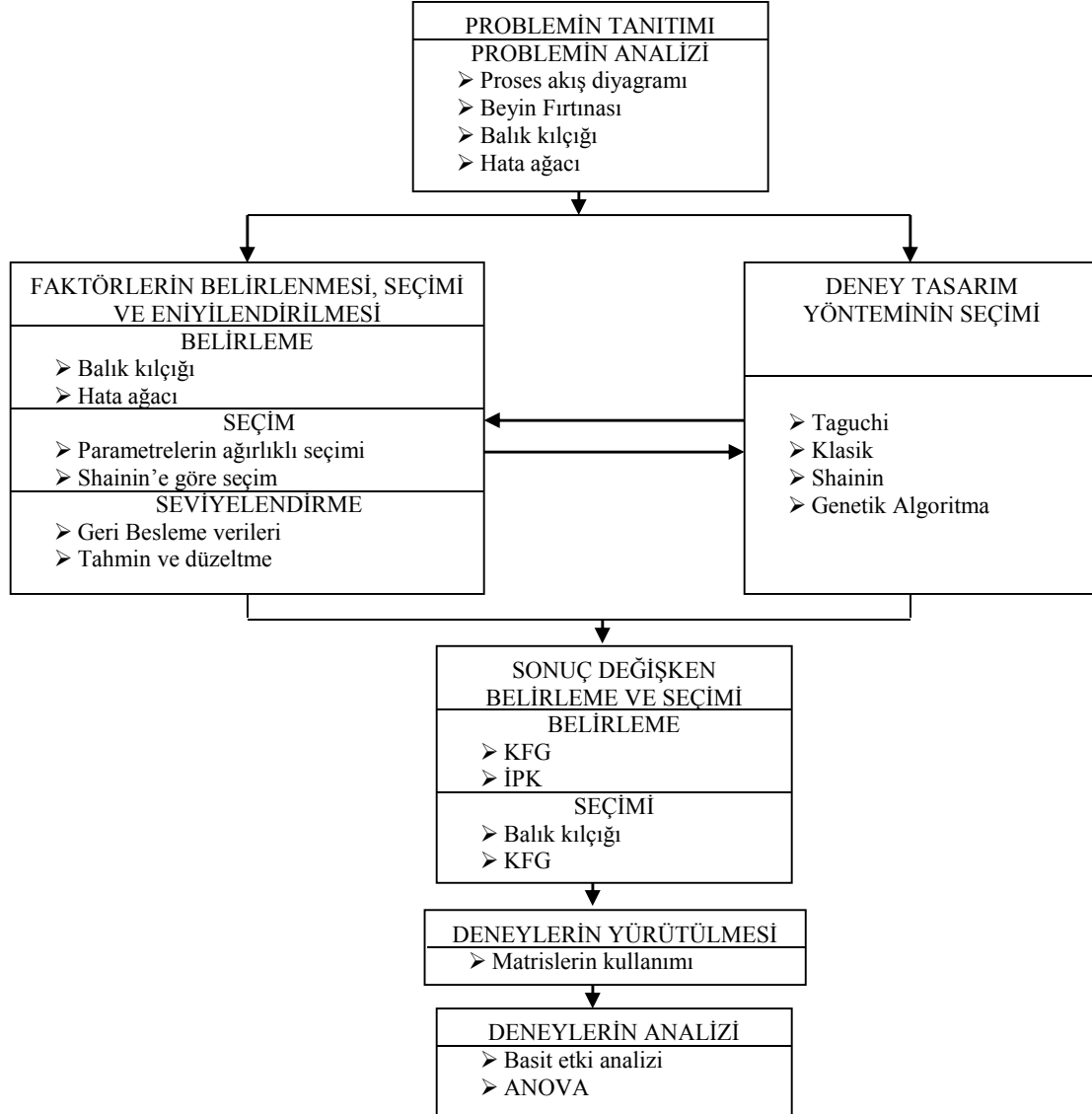
2.2. Deney tasarımının aşamaları (The stages of experimental design)

Deneysel tasarım konusu bir bütün olarak temelde tüm tasarım uygulamalarındaki yaklaşımla eşdeğer olarak problemin çözümüne yönelik adımları içerir. Sistematik olarak gerçekleştirilen deneysel tasarım çalışmalarında deneylerdeki faktörlerin ve seviyelerinin kombinasyonları farklı şekillerde ele alınsa da yaklaşım aynıdır. Problemin çözümüne yönelik olan deneysel tasarım çalışmaları Şekil 2'de görüldüğü gibi altı adımdan oluşmaktadır [10]: 1. Problemin durumu ve tanıtımı, 2. Faktörlerin ve seviyelerinin seçimi, 3. Sonuç değişkenlerin seçimi, 4. Deneysel tasarım yönteminin seçimi, 5. Deneylerin yürütülmesi, 6. Verilerin analizi. Deney tasarımı sürecin anlaşılır, ölçülen sonuç değişkenin kantitatif, kararlı ve anlamlı olmasının yanında amaç ve ilkelerin açık olarak belirlenmiş olması gereklidir. Amaç, en son ulaşılması istenen hedefdir. İlke ise, görevin nasıl gerçekleştirilebileceğini gösteren yöntemdir [9].

Deney tasarımında ön hazırlık kadar önemli olan bir aşamada sonuç değişkenlerin seçimidir. Sonuç değişkeni, deneyin çıktısı, sistem veya ürünün kalite karakteristiğidir. Kalite karakteristiği seçimi ancak

problemin iyi ve doğru olarak anlaşıldığı durumda yani problemin analizi ile mümkündür. Deneyi yapan kişi maliyeti, zamanı ve incelediği sistemi göz önüne alarak probleme en uygun deneysel tasarım

yöntemini seçmelidir. Deneysel tasarım yöntemlerini parametrelerin optimizasyonuna yönelik olarak aşağıdaki gibi sınıflandırma yapılabilir: 1. Klasik yöntemler, 2. Shainin yöntemi, 3. Taguchi yöntemi.



Şekil 2: Problemin çözümüne yönelik olan deneysel tasarım aşamaları (The experimental design stages for the solution of problems) [10]

Deneysel tasarım yönteminin seçimi, anlaşılır ve verimli sonuçlar elde etmek açısından oldukça önemlidir. Ürün ve/veya süreç geliştirme amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda amaç, gerek maliyet gerekse teknolojik açıdan gerçekleştirilebilir kaliteli tasarımı elde etmektir. Yüksek kalite ve düşük maliyete ulaşmanın yolu deneysel tasarım yönteminin doğru seçilip uygulanması ile sağlanabilir.

Klasik anlayışta deney matrisinin oluşturulması aşamasında keskin ve karmaşık uygulamalar benimsenmiştir. Bazı hallerde klasik anlayışta varolan ve

analizde kullanılan matematiksel yaklaşımın karmaşıklığı nedeniyle deneyi tasarlayan ve analizini gerçekleştiren kişilerin farklı olması, deney tasarımında hata olasılığını artırmaktadır. Klasik yöntemleri uygulamak için gerekli sürelerin uzun olmasının yanı sıra uzman personel gereksinimi söz konusu yöntemlerin güçlükleri arasındadır. Daha sonra ortaya çıkmış olan Taguchi ve Shainin yöntemleri ise deney matrisinin oluşumundan çok, ön hazırlık safhası üzerinde çok zaman harcamışlar ve özellikle iyi anlaşılabilir ve doğru analiz edilen sistemlerde deney tasarımının çok daha kolay yapılabileceğini savunmuşlar ve bireysel

çalışmadan çok grup çalışması üzerinde yoğunlaşmışlardır.

Deneylemlerin analizi aşamasında sonuç değişken veya kalite karakteristiği olarak isimlendirilen bağımlı değişkende görülen varyansın kaynağı incelenir. Bu inceleme çok basit olarak faktörlerin veya etkileşimlerin etkisi hesaplanıp daha sonra bu değerlerin grafiklerle gösterilmesi ile gerçekleştirilebileceği gibi daha karmaşık ama daha anlamlı olan Varyans Analizi (ANOVA) adı verilen istatistiksel yaklaşımla da gerçekleştirilebilir. Bu noktada tüm deney sonuçları sadece grafik olarak veya sadece faktörlerin tek tek etkisi olarak elde edilir. Buna göre değişik faktörlerin anlamının belirlenmesi varyans analizi ile sağlanır [11].

3. TAGUCHİ YÖNTEMİ (TAGUCHI METHOD)

Kalite geliştirmede Taguchi Yaklaşımı, varyans indirgemesi üzerinde odaklanmaktadır. Taguchi 'nin varyans indirgemesi yaklaşımı istatistik ve mühendisliğe çok önemli bir katkı olarak görülmektedir. Bazı yazarlar Taguchi' den önce gürültü faktörlerinin kullanılmasını önermekle birlikte, Taguchi'nin bu önerileri, varyans indirgemesinde kullanımı ile ilgili fikirleri orijinaldir ve çok büyük etkiye sahiptir [12].

Taguchi Yöntemleri, üretim kontrolü ve yapısal (structural) eniyileme ile ilgili çok farklı problemlere değişen başarı derecelerinde uygulanmaktadır. Batı dünyasındaki istatistikçiler tarafından eleştiriler almasına rağmen, Taguchi'nin yöntemleri ABD'ndeki birçok uygulayıcı tarafından kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Yöntemlerin zayıf yönleri bulunmasına rağmen, iyi sonuçların alındığı gerçek yaşam uygulamalarının sayısı az değildir. Taguchi kavramları bir kalite geliştirilmesine ilişkin mühendislik yöntemlerine dönüştürülmüştür. Buna Japonya'da kalite mühendisliği, Batıda ise robust tasarım denmektedir [13].

Genichi Taguchi'nin deneysel tasarım yaklaşımının önemi, istatistikçiler tarafından geniş bir şekilde tartışılmıştır. Yorumcuların çoğu, Taguchi'nin kayıp fonksiyonu kavramının gerçek bir desteği ifade ettiği görüşünde birleşmektedirler. Ayrıca, ürün tasarım aşaması esnasındaki yeni deneyimlerin, büyük bir değere sahip olduğu şeklinde genel bir fikir birliği vardır. Taguchi, bu konuya göstermiş olduğu özen nedeniyle geniş bir şekilde takdir edilmiştir [14].

3.1. Taguchi'nin kalite kavramı ve felsefesi (The quality concept and philosophy of taguchi)

İşletmeler genel olarak, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin içine kalite kontrolünü dahil etmeme eğilimindedir. Bunun en büyük nedeni kalite kontrol

denilince akla hemen kontrol tablolarının ve süreç kontrolünün gelmesidir. Oysa Japonlar, Genichi Taguchi'nin katkılarıyla, kalite yöntemlerini süreç tasarımının içinde kullanmaktadırlar. Taguchi, kalite kontrolünün sadece üretim esnasında değil, aynı zamanda üretim öncesinde de önemini vurgulayarak, deney tasarımı ve analiz tekniklerini daha da geliştirmiştir. Taguchi'nin tam ve bütünleşik sistemi, dünyada üretim süreci spesifikasyonlarını belirlemekte, bu spesifikasyonlara göre tasarım geliştirmekte ve ürünün ya da üretim sürecinin bu spesifikasyonlara göre gerçekleştirilmesinde yardımcı olmaktadır[13]. Taguchi yöntemi tüm mühendislik ve üretim sürecini içine alacak şekilde çalışır. Taguchi yönteminin uygulanması sonucunda üretimde ve sonrasında kalite kontrol fonksiyonları azalır. Bu azalmanın sağladığı tasarruf, Taguchi felsefesini öğrenmek için gösterilen çabanın en geçerli nedenlerinden biridir [2].

Taguchi yaklaşımını diğer lider kalite uzmanlarının yaklaşımlarından ayıran en önemli özelliklerden birisi; Taguchi'nin kalitenin yönetim felsefesi ya da istatistiğinden ziyade, teknik tarafıyla ilgilenmesidir. Taguchi deney tasarımını, ürünleri gürültü faktörlerine karşı daha az duyarlı yapmak için temel bir araç olarak kullanmaktadır. Deney tasarımının ilk uygulamaları değişkenliğin etkilerini göz ardı ederek, ortalama ürün performans özelliklerini hep eniyilemeye çaba göstermiştir [15].

Japonya'da çalışanlar, işletme amaçlarına ulaşırken, işlerine getirdikleri yeniliklerle sağladıkları katkıya göre terfi ettirilmekteydiler. Oysaki Amerika ve diğer ülkelerde bunun tam tersi uygulanmakta; çalışanlara işini nasıl yapması gerektiği gösterilmekte ve bu kuralların dışına çıkanlar uyarılmaktadır. Ayrıca, üst yönetim, işinde söylenenin dışına çıkanlardan rahatsız olmakta ve bu çalışanları kolay kolay terfi ettirmemektedir [15].

Taguchi yönteminin gerçek değeri, işletmelerde değişimin başlamasına neden olmasında yatmaktadır. Geleneksel istatistiksel yöntemlerle işletmeler ancak kendi durumlarını koruyabilmiştir. Daha sonra istatistiksel süreç kontrolü uygulamaları ile işletmelerde az da olsa değişim başlamıştır. Bununla birlikte, geleneksel deney tasarımı yöntemlerinin Taguchi düşünce tarzına göre uyarlanmasına kadar fazla bir etkisi olmamıştır. Taguchi yönteminin işletmelerde meydana getirdiği ve önerdiği altı değişim şunlardır [16]: 1. Kalite ve Kalite Geliştirmenin Tanımı, 2. Finansal Kontrol Sistemleri, 3.Mühendislik Hedef Değerleri, 4. Üretim Süreç Geliştirme, 5. Yatay Teknik Etkileşim.

3.2. Taguchi yöntemi'nin uygulama adımları (Application of Taguchi method stages)

Peace, iyi yürütülen ve organizeli çaba ile yeniden üretilebilir sonuçlar elde etmek amacıyla başarılı bir deney yapmak için dikkatli planlama ve sağlıklı uygulama gerektiğini söylemektedir. Ona göre bir deneyi tam anlamıyla yapmak için gerekli adımlar dört ayrı aşamada kategorize edilebilir [17]: 1. Deney planlama, 2. Deney tasarlama, 3. Deneyi gerçekleştirme, 4. Deneyin analizini yapma.

4. TAGUCHİ YÖNTEMİ'NİN FERMANTASYON SÜRECİNDE UYGULANMASI (APPLICATION OF TAGUCHI METHOD IN THE FERMENTATION PROCESS)

Gıda sektöründe kalitenin geliştirilmesi için daha çok istatistiksel kalite kontrol yöntemi kullanılmıştır. Lim ve diğerleri bununla ilgili detaylı bilgiler sunmaktadır [18]. Literatürde Taguchi Yöntemi hala etkin bir yöntem olarak kullanılmaktadır [19], [20], [21]; ancak gıda sektöründeki uygulaması ise oldukça azdır. Gomez ve Castro [22], çözünebilir kahve kalitesinin iyileştirilmesinde, Al-Darrab ve diğerleri [23] yüksek kaliteli bisküvilerin üretilmesi amacıyla ve Yadegary ve diğerleri [24] ise şeker kamışı küspesinden sitrik asit üretiminde etkili olan değişkenleri belirlemek ve kitle üretimini optimize etmekte için çalışmalarında Taguchi Yöntemi'ni kullanmışlardır.

Bu uygulamada, alkollü içeceklerin kalitesini belirleyen yedi kalite karakteristiği eşanlı olarak eniyilemeye çalışılmıştır. Taguchi Yöntemi, burada bir "çok yanıtli problemin" eniyilemesinde kullanılmış ve öncesine göre ürün kalitesinde bir iyileştirme gerçekleştirilmiştir.

4.1. Uygulamanın yapıldığı firma hakkında genel bilgi (General information about application firm)

Uygulamanın yapıldığı firma Türkiye'nin önde gelen alkollü içkiler üreticilerinden biridir. Ürünleri arasında rakı, votka, cin, likör, şarap bulunmaktadır. Beş farklı ildeki fabrikalarında üretilen bu ürünlerin yanı sıra 4 farklı ilde rakının hammaddesi olan suma ve votkanın hammaddesi olan Extra Nature Alcohol (ENA) üretimi yapılmaktadır. Ayrıca bir fabrikasında rakıda esans olarak kullanılan anason tohumu işleme yapılmaktadır. %5 Türk %95 Amerikan ortaklı bir firmadır. En önemli hammaddesinin üzüm olması dolayısıyla en önemli tedarikçileri arasında üzüm üreticileri gelmektedir. Ayrıca belli yasal sınırlar içinde ve üretim kapasitesine göre etil alkol alımı da yapmaktadır. Yurtiçinde çok geniş satış ve dağıtım ağına sahip olan firma ayrıca ihracat da yapmaktadır. Hızlı Tüketim Malları Sektörü (FMCG) içinde yer almaktadır.

4.2. Etil alkol üretimi ve fermantasyon süreci hakkında genel bilgi (General information about production of ethanol and process of fermentation)

Firmada etil alkol üretimi için işlem sırası, 1. Üzüm işleme, 2. Fermantasyon, 3. Suma distilasyon şeklindedir.

Alkol, hidrojen atomunun hidroksil grubu ile yer değiştirdiği hidrokarbon bileşimlerinin genel adıdır. Alkol kelimesi genel olarak kimyada etil alkolü (C_2H_5OH) belirtmek için kullanılır. Etil alkolün dışında bir dizi başka alkolde bulunduğundan, bilimsel tanımlamalarda alkol kelimesi yalnız başına kullanılamaz. Alkoller türedikleri alkanın sonuna -ol eki getirilerek adlandırılırlar. Konuşma dilinde ise yanlış olarak farklı alkolleri de belirtmekte kullanılır. Örneğin; sağlığa zararlı metil alkol için alkol kelimesi yanlış anlamlara ve zehirlenmelere sebep olabilmektedir. Halk arasında ispirto olarak bilinen etil alkol, şekerli ve şekerle dönüştürülebilen ham maddelerin fermantasyonu sonucu oluşan alkollü maişenin damıtılması ile elde edilir [18].

Etil alkol en iyi bilinen alkoldür. Bütün alkollü içeceklerin esas maddesidir. Etil alkol aynı zamanda alkol, etanol, tane (hububat) alkolü, fermantasyon alkolü, etil hidroksit ve metil karbinol olarak da adlandırılır. Ticari olarak etil alkol büyük miktarlarda, şeker sanayinde bir yan ürün olan melastan elde edilir. Burada melas maya ile fermente edilir. Bu şekilde elde edilen alkol, melas alkolü olarak adlandırılır. Alkol aynı zamanda nişastadan genellikle mısır nişastasından fermantasyonla da elde edilir. Bu yöntemde nişasta önce maya ile şekerle hidroliz edilir ve elde edilen şekerler alkole ve CO_2 'e maya etkisi ile dönüştürülür. Bu işlem sırasında yan ürün olarak CO_2 oluşur. Bu şekilde elde edilen alkol ise hububat alkolüdür [25].

4.2.1. Fermentasyonla alkol eldesi (obtained by fermentation of alcohol)

Fermantasyon; alkol, yoğurt, sirke, boza, turşu, ekmek, peynir gibi adı hemen akla gelen, gerçekte türü bunlarla sınırlı olmayan birçok gıda maddesi üretiminde uygulanması gereken bir işlemdir. Halk dilinde karşılığı "mayalanma" ve "ihtimar"dır. Genel anlamda fermantasyon; üretimi amaçlanan ürünün elde edilmesi için fermantasyonu gerçekleştirilecek, maya, bakteri veya mantar gibi mikroorganizmaların faaliyetine olanak sağlayan temel bir üretim aşamasıdır. Fermantasyon koşulları, üretilecek gıda maddesinin türüne göre seçilmiş olan, fermantasyonu gerçekleştirecek mikroorganizma talebine bağlı kalınarak oluşturulur. Örneğin: alkol üretiminde "alkol mayasının", sirke üretiminde "sirke bakterisinin" faaliyeti istenir ve fermantasyon ortamı bu mikroorganizmaların talebine

uygun hale getirilir. Fermantasyon üretilen ürüne veya fermantasyonu yapan mikroorganizma türüne göre adlandırılır. Örneğin: alkol fermantasyonu, ekmek mayası fermantasyonu, sirke fermantasyonu gibi. Fermantasyon ortamında çalışan mikroorganizma, üremesi ve beslenmesi için ortamda bulunan ve kendisi için gıda maddesi olan maddeyi tüketir ve bu esnada da, fermantasyondan beklenen ürünü, yan ürün olarak meydana getirir. Örneğin: alkol fermantasyonunda maya, ortamda bulunan şeker maddesini tüketirken, yan ürün olarak alkol meydana getirmektedir.

Alkol fermantasyonunu etkileyen 9 faktör aşağıda verilmiştir [26].

1. Havanın (Oksijen) etkisi, 2. Karbondioksit etkisi, 3. Fermantasyon sıcaklığının etkisi, 4. Fermantasyon sıvısının pH'sının etkisi, 5. Aşılama oranının etkisi, 6. Maya suşunun etkisi, 7. Maişe (şeker) konsantrasyonunun etkisi, 8. Alkol konsantrasyonunun etkisi, 9. Besin maddelerinin etkisi.

4.2.1.1. Kuru üzümünden alkol eldesi (Obtaining alcohol from raisins)

Alkol üretiminde küçük taneli, yemeklik olmayan çekirdekli üzümler kullanılır. Ülkemizde çekirdeksiz Sultaniye kuru üzümleri de kullanılmaktadır. Bu kuru üzümlerin şekerinin %50-60 gibi yüksek oranda ve su miktarının, %14 ve yabancı madde miktarının, %1'in altında olması istenir. Kuru üzümünden alkol eldesi aşağıdaki aşamalarla gerçekleştirilir [26]: 1. Ögütme, 2. Maişeleme, 3. Fermantasyon, 4. Damıtma.

Ögütme: Üzümler işletmeye 50-60 kiloluk çuvallar ile getirildiği için baskıdan dolayı topraklanmış kitlenin önce dağıtılması gerekir. Bu amaçla püskürtülen basınçlı su kısmen bir yıkamayı da sağlar. Bundan sonra üzümler elevatörler ile kıyma makineleri gibi çalışan parçalama değirmenlerine gönderilir. Üzümlerin değirmene bulaşmaması ve topraklanmaması için az miktarda su sürekli olarak verilir. Kıyılarak parçalanmış üzümler özel maişeleme kazanlarına (melanjör) gönderilir.

Maişeleme: Karıştırma, soğutma ve ısıtma düzenlerine sahip olan melanjörlerde yapılır. Melanjöre alınan her bir birim üzüm için dört birim su ilave edilir. Maişeleme sıcaklığı 22-25°C'a ayarlanır ve bu sıcaklıkta devamlı karıştırılmak suretiyle 30 dakika tutulur. Elde edilen maişenin şeker konsantrasyonu 15-16 Balling'e ayarlanır ve fermantasyon kaplarına gönderilir.

Fermantasyon ve distilasyon: Fermantasyonda saf maya kullanılır. Çeşitli kaynaklardan sağlanan saf kültürler, laboratuvarlarda üzüm şırası içinde 5 L'ye kadar çoğaltılır. Bu aşamadaki çoğaltma işlemi basamaklı olarak 50, 150, 500, 5000 ml pastörize edilmiş şıraya yapılır. Mayanın düzenli çalışmasını sağlamak ve

enfeksiyonu önlemek amacı ile mayalık maişeye %0,1 oranında H²SO⁴ katılarak pH=3,5 civarına düşürülür. Maişeye aynı zamanda maya besini olarak %0,1 oranında (NH⁴)² SO⁴ verilir.

Önceden hazırlanan 5 L maya ile aşılama yapılarak çoğaltılma işlemine başlanır. Bome derecesi yarıya düşünce bu maya aynı şekilde hazırlanmış 250 L'lik kaptaki maişeye aşılanır. Burada yeterli çoğaltma sağlandıktan sonra 500 L'lik çoğaltma kabına gönderilir. Bu şekilde 500 L'ye çoğalan maya 5 tonluk ön fermentasyon kabına gönderilir. Maişeleme kazanından buraya gönderilen normal kuru üzüm maişesi asit ve besin maddesi katıldıktan sonra sterilize edilir, soğutulur ve 500 L maya ile aşılanarak çoğaltma işlemi son aşamaya gelmiş olur.

Fermantasyon kaplarına (5 – 50 tonluk) gelen maişe bekletilmeden hemen daha önce hazırlanmış olan maya ile aşılanır. Fermantasyonun gidişi balling veya benzeri bir areometre ile kontrol edilir ve balling derecesi 6-6,5'e düşünce, hazırlanan ikinci parti maişe katılır. Bu işlem kap doluncaya kadar sürdürülür. Toplam fermantasyon üresi 50 – 60 saat, fermantasyon sıcaklığı, 28 – 31 °C olur. Fermantasyon, balling derecesi sıfıra düşünce sona erer. Fermantasyonu bitiren %8 alkollü maişe kaba tortunun dibine çökmesi için 8 – 10 saat dinlendirilir ve sonra damıtmaya gönderilir. Kuru üzüm etil alkol üretiminde kullanılan fermantasyon kaplarının kapalı olması fermantasyonun kontrolünü, temizlik ve alkol kaybının olmaması gibi yararlar sağlar.

Fermantasyon sırasında sürekli izlenen parametrelerden en önemlisi fermantasyonun sıcaklığıdır. Alkol fermantasyonu ekzotermik bir olay olduğundan sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Sıcaklığın fazla yükselmesiyle alkol fermantasyonunda aksamalar ve alkol kaybına neden olabilir. Bu sakıncaları önlemek için fermantasyon kaplarının soğutma sistemleri ve karıştırıcı monte edilmelidir. fermantasyon genellikle 22 – 25 °C başlatılır ve zamanla sıcaklık yükselerek 28 – 30 °C'ye çıkar. Bu sıcaklık aralıkları en uygundur. Soğutma sistemi ile sıcaklığın 30 °C'yi geçmemesi ve karıştırıcı sistemi ile de fermantasyon sırasında sıvı yüzeyinde şapka denen cibre tabakası oluşmaması sağlanır.

Fermantasyon sırasında izlenen diğer bir parametre şeker konsantrasyonudur. Fermantasyonu alınan kuru üzüm maişesinin şeker konsantrasyonu %13-17 olacak şekilde ayarlanmalıdır. Maişenin şeker konsantrasyonuna bağlı olarak maişede oluşacak alkol miktarı da değişir. Fermantasyonun bitişi şeker konsantrasyonunun sıfır olmasıyla anlaşılır. Fermantasyon sırasında maişenin genel ve uçur asidi de izlenmelidir. Normal koşullarda özellikle uçucu asit oluşumu çok az oluşur. İspirtoculukta

fermantasyon sonunda oluşan uçucu asit miktarı 0,3 g/L'den fazla olmamalıdır.

Tablo 1: Kontrol faktörleri ve seviye değerleri (The control factors and values of levels)

FAKTÖRLER	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
1 A: Maya Miktarı (gr)	200	500	700
2 B: Fermantasyon Isısı (°C)	30-32	33-34	35-36
3 C: Fermantasyon Süresi	24-28	28-32	32-36
4 D: Üre Miktarı (mg)	0	8	16

4.3. Taguchi Yöntemi'nin Uygulanması (Implementation of Taguchi Method)

Fermantasyon süreci yukarıda da anlatıldığı gibi birçok faktörün etkisi altındadır. Bunların bir kısmı kontrol edilebilir bir kısmı kontrol edilemeyen faktörlerdir. Uygulamanın yapıldığı firmada, rakının hammaddesi olan suma da üretilmektedir. Tesis entegre bir tesis olup üzüm işlemeden rakı üretimine kadar tüm süreç sürekli olarak devam etmektedir. Rakı firmanın diğer fabrikalarında da üretilmektedir. Dolayısıyla 2 fabrika arasındaki farklılık rakı tadında ayırt edilebilir farklar yaratmakta, müşteri gözünde ürünler arasında ayırım olduğu düşünülmektedir. Bu farkın rakı hammaddesi olan sumadan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Uygulamanın yapıldığı fabrikada suma spek dışı çıkmakta ve diğer fabrikalardan alınan sumalarla paçal yapılıp spek içine taşınmaktadır. Paçallama yüksek maliyetli ve uzun zaman alan bir işlemdir. Ayrıca yine spek içinde çıkmama riski fazladır. Problem belirlenirken suma oluşumu düşünülmüş ve yine sorunun önemli bir kısmını suma hammaddesi olan fermente maişenin oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca suma üretiminde kapalı bir sistem olan distilasyon sürecine çok fazla müdahale edilemeyeceğinden dolayı hammaddenin eniyilemesi yoluna gidilmiştir. Fermantasyon süreci ve ona etki eden faktörler çok nettir ve literatürde açıkça tanımlanmıştır. Dolayısıyla problem belirlendikten sonra faktörleri belirlemek zor olmamıştır.

4.3.1. Faktör ve seviyelerin belirlenmesi (Determining of the factors and levels)

Yapılan çalışmada fermentasyon süreci sonucu ortaya çıkan fermente maişenin analiz değerlerine etki ettiği düşünülen kontrol edilebilir faktörler ve hammaddenin özelliklerine bağlı olarak değişebilen kontrol edilemeyen faktörler belirlenmiştir. Faktörler belirlenirken, genel olarak tüm fermentasyon süreçlerinde çıktıya etki eden faktörler üzerinde tartışılmış ve alkol fermentasyonuna özellikle etkisi büyük olan 4 faktör seçilmiştir. Tüm faktörler üç ayrı deney seviyesiyle incelenmiştir. Deney bu üç seviyeli dört kontrol faktörünü içeren bir yapıda

$L_9(3^4)$ ortogonal dizisi kullanılarak ve 9 deney yapılarak yürütülmüştür. Belirlenen faktörler ve seviyeleri Tablo 1'de verilmektedir. Seviyeler belirlenirken ise bazı faktörlere belli aralıklar verilmiştir. Özellikle kimyasal reaksiyonların olduğu süreçler için seviyelerin aralık değerler içinde ve +/- toleranslarla belirlenmesi normaldir. Özellikle ısı için geçerlidir, çünkü gerçekleşen reaksiyonun etkisiyle kapalı sistem içinde ısı açığa çıkar ve ısı düzeyini etkiler [27].

4.3.2. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi (Selecting the appropriate orthogonal array)

Deney için uygun ortogonal dizi belirlenirken, faktörlerin seviye sayısına ve buna bağlı olarak da toplam serbestlik derecelerine göre karar verilir. Bu toplam serbestlik derecesine veya daha büyük deneme sayısına sahip olan ortogonal dizi uygun dizi olarak seçilir. Gerekli toplam serbestlik derecesi faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. Bir faktör için serbestlik derecesi, o faktörün seviye sayısının bir eksiğine eşittir. Eğer faktörler arasında bir etkileşim söz konusu ise bu etkileşim için serbestlik derecesi, etkileşim içinde olan faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir [28]. Bu çalışmada üç seviyeli ve 8 serbestlik derecesini kaldırabilecek ortogonal dizi L_9 olduğundan deney için $L_9(3^4)$ ortogonal dizisi seçilmiştir (Tablo 2). Uygulanacak deney koşulları da Tablo 3'te verilmektedir. Ortogonal dizilerin en önemli özelliklerinden birisi de her faktörün her seviyesine eşit şans verilerek deneye tabi tutulmasıdır. Örneğin A faktörünün 1., 2. ve 3. seviyelerinde 3'er kez deneye tabi tutulmaktadır. Aynı şey diğer tüm faktörler için de geçerlidir.

Tablo 2: Seçilen ortogonal dizi (Selected orthogonal array)

Deney No	FAKTÖRLER			
	A	B	C	D
1	3	3	2	1
2	2	2	3	1
3	1	1	1	1
4	3	1	3	2
5	3	2	1	3
6	1	3	3	3
7	2	1	2	3
8	1	2	2	2
9	2	3	1	2

4.3.3. Deneyin uygulanması ve verilerin analizi (Carrying out experiments and analysis of the data)

Deneyler fermentasyon ekibi tarafından deney planına uygun olarak yapılmıştır. Her deney konusunda 2 deneme yapılmıştır. Denemeler aynı ebatta ve özellikteki farklı tanklarda yapılmıştır. 32 adet fermentasyon

tankından 5 adedi bu denemeler için kullanılmış ve deney verileri elde edilene kadar başka bir üretim için kullanılmamıştır. Fermantasyonu biten tanklarda oluşan fermente maışeden deney tüplerine alınan örnekler kimyasal analiz laboratuvarında test edilmiştir. Kimyasal analizler Gaz Kromatografisi (GC) cihazları kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3). Fermantasyon sürecinin maksimum 36 saat sürmesi ve GC analiz sonucunun yaklaşık 3 saatte çıkması deney sonuçlarının uzun süreçlerde elde edilebilmesine sebep olmuştur. GC cihazının çok hassas ölçümler yapabilme yeteneği ve tüm deneylerde tek bir cihazın kullanılması dolayısıyla verilerin hassaslığı şüphe götürmez. Fakat hammadde kaynaklı birtakım kontrol edilemeyen faktörler ve farklı 5 tankın kullanılması deneylerde kontrol edilebilen faktörlere etki eden gürültü faktörleri olarak kabul edilmelidir

4.3.4. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi (Selecting the appropriate orthogonal array)

Deney için uygun ortogonal dizi belirlenirken, faktörlerin seviye sayısına ve buna bağlı olarak da toplam serbestlik derecelerine göre karar verilir. Bu toplam serbestlik derecesine veya daha büyük deneme sayısına sahip olan ortogonal dizi uygun dizi olarak seçilir. Gerekli toplam serbestlik derecesi faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. Bir faktör için serbestlik derecesi, o faktörün seviye sayısının bir eksiğine eşittir. Eğer faktörler arasında bir etkileşim söz konusu ise bu etkileşim için serbestlik derecesi, etkileşim içinde olan faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir [28]. Bu çalışmada üç seviyeli ve 8 serbestlik derecesini kaldırabilecek ortogonal dizi L_9 olduğundan deney için $L_9(3^4)$ ortogonal dizisi seçilmiştir (Tablo 2). Uygulanacak deney koşulları da Tablo 3'te verilmektedir. Ortogonal dizilerin en önemli özelliklerinden birisi de her faktörün her seviyesine eşit şans verilerek deneye tabi tutulmasıdır. Örneğin A faktörünün 1. 2. ve 3. seviyelerinde 3'er kez deneye tabi tutulmaktadır. Aynı şey diğer tüm faktörler için de geçerlidir.

Tablo 3: L_9 ortogonal dizisi için deney koşulları (The experimental conditions for orthogonal array of L_9)

Deney No	FAKTÖRLER			
	A	B	C	D
	MAYA MİKTARI	FERM. ISISI	FERM. SÜRE	ÜRE MİKTARI
1	700	35-36	28-32	0
2	500	33-34	32-36	0
3	200	30-32	24-28	0
4	700	30-32	32-36	8
5	700	33-34	24-28	16
6	200	35-36	32-36	16
7	500	30-32	28-32	16
8	200	33-34	28-32	8
9	500	35-36	24-28	8

4.3.5. Deneyin uygulanması ve verilerin analizi (Carrying out experiments and analysis of the data)

Deneyler fermantasyon ekibi tarafından deney planına uygun olarak yapılmıştır. Her deney konusunda 2 deneme yapılmıştır. Denemeler aynı ebatla ve özellikteki farklı tanklarda yapılmıştır. 32 adet fermantasyon tankından 5 adedi bu denemeler için kullanılmış ve deney verileri elde edilene kadar başka bir üretim için kullanılmamıştır. Fermantasyonu biten tanklarda oluşan fermente maışeden deney tüplerine alınan örnekler kimyasal analiz laboratuvarında test edilmiştir. Kimyasal analizler Gaz Kromatografisi (GC) cihazları kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3). Fermantasyon sürecinin maksimum 36 saat sürmesi ve GC analiz sonucunun yaklaşık 3 saatte çıkması deney sonuçlarının uzun süreçlerde elde edilebilmesine sebep olmuştur. GC cihazının çok hassas ölçümler yapabilme yeteneği ve tüm deneylerde tek bir cihazın kullanılması dolayısıyla verilerin hassaslığı şüphe götürmez. Fakat hammadde kaynaklı birtakım kontrol edilemeyen faktörler ve farklı 5 tankın kullanılması deneylerde kontrol edilebilen faktörlere etki eden gürültü faktörleri olarak kabul edilmelidir.

4.3.6. Deneyin uygulanması ve verilerin analizi (Carrying out experiments and analysis of the data)

Deneyler fermantasyon ekibi tarafından deney planına uygun olarak yapılmıştır. Her deney konusunda 2 deneme yapılmıştır. Denemeler aynı ebatla ve özellikteki farklı tanklarda yapılmıştır. 32 adet fermantasyon tankından 5 adedi bu denemeler için kullanılmış ve deney verileri elde edilene kadar başka bir üretim için kullanılmamıştır. Fermantasyonu biten tanklarda oluşan fermente maışeden deney tüplerine alınan örnekler kimyasal analiz laboratuvarında test edilmiştir. Kimyasal analizler Gaz Kromatografisi (GC) cihazları kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3). Fermantasyon sürecinin maksimum 36 saat sürmesi ve GC analiz sonucunun yaklaşık 3 saatte çıkması deney sonuçlarının uzun süreçlerde elde edilebilmesine sebep olmuştur. GC cihazının çok hassas ölçümler yapabilme yeteneği ve tüm deneylerde tek bir cihazın kullanılması dolayısıyla verilerin hassaslığı şüphe götürmez. Fakat hammadde kaynaklı birtakım kontrol edilemeyen faktörler ve farklı 5 tankın kullanılması deneylerde kontrol edilebilen faktörlere etki eden gürültü faktörleri olarak kabul edilmelidir.

Her deneyde yedi yanıt (kalite karakteristiği) için 2'şer tekrar olmak üzere toplam 126 (= 9*2*7) veri elde edilmiş ve söz konusu yedi karakteristiğe ait veriler Tablo 4'te gösterilmiştir. Bu verilere dayanarak her bir yanıtın ortalama, standart sapma ve değişim aralığı değerleri deney bazında hesaplanmıştır. Fermantasyon sonucu oluşan ve buradan suma distilasyon aşamasına giden fermente maışede analiz edilen ve kontrol altında

olması gereken yedi kimyasal değer kalite karakteristiklerini oluşturmaktadır.



Şekil 3: Gaz Kromatografisi (GC) cihazı (Gas Chromatography (GC) device) [29]

Deneylerin toplam süresi hakkında bilgi vermek gerekirse; fermantasyon ünitesi 24 saat çalışmaktadır. Toplam 5 tank kullanılmıştır. Dolayısıyla bir günde toplam 120 saatlik deney yapılabilmektedir. Bir deney için

harcanan süre 39 saat olduğunu düşünürsek 126 deney için toplam 4914 saat gereklidir. Mevcut koşullarda bu deneyler yaklaşık 41 günde tamamlanmıştır. Süreçte sürenin uzunluğuna bakıldığında deney verisi almanın güçlüğü ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4: Yedi kalite karakteristiğine ait veriler (The data for seven quality characteristics)

No/Deney	ALDEHİT				ESTER				METENOL				N-PROPONAL				ISO-BUTANOL				ISO-AMİNOALKOL				ISO-AMİNOALKOL			
	1	2	ORT.	SS	1	2	ORT.	SS	1	2	ORT.	SS	1	2	ORT.	SS	1	2	ORT.	SS	1	2	ORT.	SS	1	2	ORT.	SS
1	8,9	8,8	8,8	0,0	7,0	7,4	7,2	0,2	2,0	1,5	1,8	0,4	19,	26,	23	4,7	33,	43,	38,	6,8	55,	64,	59,	6,5	55,	64,	59,	6,5
2	12,	10,	11,	1,5	5,1	5,7	5,4	1,1	2,2	1,6	0,7	21,	24,	22,	2,0	39,	38,	1,8	50,	58,	54,	5,9	50,	58,	54,	5,9		
3	5,8	4,7	0,7	7,1	7,5	0,5	4,2	2,5	3,4	1,2	16,	22,	19,	3,8	31,	4,3	30,	35,	33,	3,1	30,	35,	33,	3,1				
4	5,9	4,9	5,4	0,7	14,	14,	14,	0,2	13,	13,	13,	0,1	25,	22,	23,	24,	19,	22,	3,1	30,	34,	32,	3,1	30,	34,	32,	3,1	
5	5,0	5,2	5,1	0,1	15,	16,	1,0	5,4	3,2	4,3	1,5	25,	21,	23,	21,	16,	19,	3,5	23,	23,	0,1	23,	23,	0,1				
6	3,7	2,4	3,0	0,9	6,8	6,8	0,1	3,2	1,5	2,3	1,1	31,	32,	32,	1,0	32,	38,	35,	4,4	41,	44,	42,	1,9	41,	44,	42,	1,9	
7	8,7	2,1	8,3	8,5	0,2	6,6	9,5	8,1	2,0	5,0	5,4	5,2	20,	18,	3,3	18,	15,	17,	2,3	18,	21,	20,	1,7	18,	21,	20,	1,7	
8	3,8	3,1	3,4	0,5	11,	11,	11,	0,5	6,4	6,4	6,4	0,0	25,	24,	7	1	18,	24,	21,	4,1	17,	21,	19,	17,	21,	19,		
9	7,7	6,6	7,2	10,	11,	1,4	1,6	2,4	1,0	18,	18,	18,	20,	20,	20,	20,	20,	20,	13,	13,	0,5	13,	13,	0,5				

4.3.3.1. Kalite kaybının hesaplanması (The calculation of quality loss)

Veriler elde edildikten sonra eniyileme prosedürü gereği kayıplar (L_{ij}), normalleştirilen kayıplar (C_{ij}), normalleştirilen toplam kalite kayıpları ($TNQL_j$) ve çok yanıtlı sinyal gürlüğü oranları ($MRSN_j$) hesaplanmaktadır [30]. Kalite kaybı hesaplanırken, toplam yedi yanıtın ikisi için (aldehit ve metenol) değerlerin minimizasyonu istendiğinden dolayı “daha küçük daha iyi” yanıtının formülü, diğer beş yanıtın ise spek aralığında olması istendiği için “nominal en iyi” yanıtının formülü kullanılmıştır. Hesaplanan kalite kayıpları ve bunlara dayalı olarak hesaplanan normalleştirilen kalite kayıpları Tablo 5’te verilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak

normalleştirilen kalite kayıpları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır[30]:

$$C_{11} = \frac{L_{11}}{L_{11}^*} = \frac{78,76}{128,9} = 0,611$$

C_{11} : i. kalite karakteristiği için ($i= 1,2,3,4,5,6,7$) 1 numaralı deneyde normalleştirilen kalite kaybını ifade etmektedir.

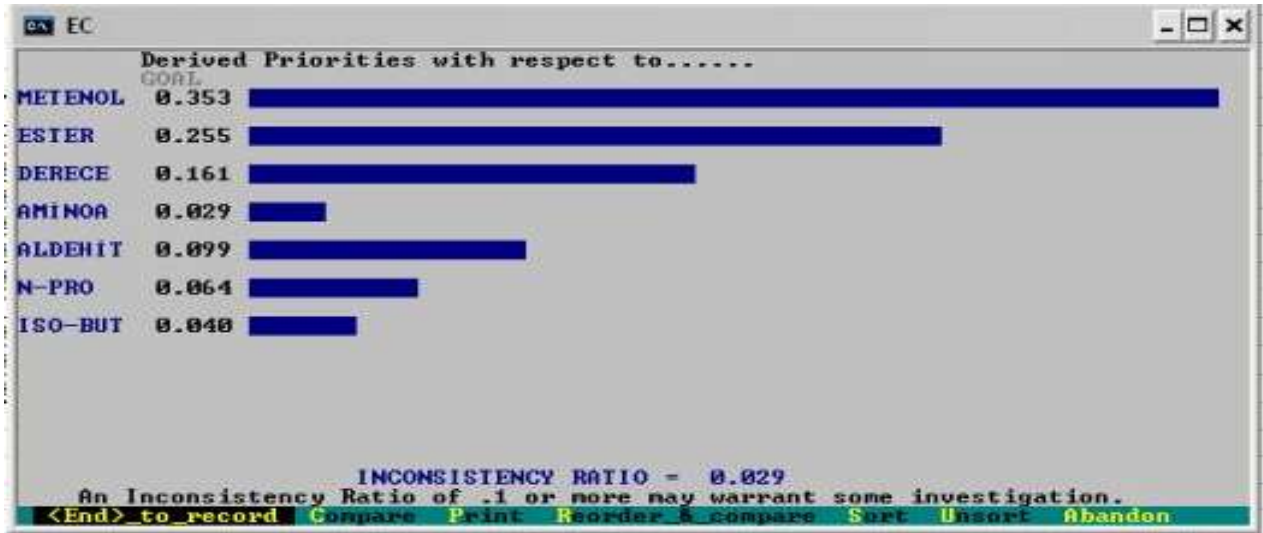
L_{i}^* : i. kalite karakteristiğinde yapılan deneyler içinde en yüksek değeri alan kalite kaybı değeridir.

Yanıtların aldığı ağırlıkları hesaplamak için Analitik Hiyerarşi Süreci’nden (AHP) yararlanılmış ve Expert Choice programı kullanılarak hesaplanmıştır. Yanıtların birbirine göre önem sıralaması yapılırken yasal gerekliliklerle getirilen sınırlamaların önemi, insan sağlığına zararlı olabilecek maddelerin varlığı, belirlenen ürün speklerine ve tanımlarına göre kimyasal değerlerin değişkenliği ve bu değişkenliklerin yaklaşık olarak oranlarını tahmin edebilen çalışanların deneyimleri

dikkate alınmıştır. Ortaya çıkan ağırlık değerleri ve yanıtların önem sırası Şekil 4’te gösterilmiştir.

Tablo 5: Hesaplanan kalite kayıp değerleri ve normalleştirilen kalite kayıp değerleri (The calculated and normalized values of the quality loss)

Deney No	Hesaplanan kalite kayıp değerleri							Normalleştirilen kalite kayıp değerleri						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	78,80000	0,00123	3,30000	0,04300	0,03180	0,01200	0,00001	0,61100	0,01980	0,01790	1,00000	0,86600	0,48200	0,35900
2	129,00000	0,00554	3,11000	0,00770	0,00239	0,01170	0,00001	1,00000	0,08910	0,01680	0,17900	0,06520	0,46900	1,00000
3	28,40000	0,00483	12,50000	0,03900	0,01540	0,00919	0,00000	0,22000	0,07770	0,06740	0,90700	0,42100	0,36900	0,16000
4	29,60000	0,00027	185,00000	0,01090	0,02020	0,00938	0,00000	0,23000	0,00440	1,00000	0,25400	0,55000	0,37600	0,03990
5	26,30000	0,00412	19,90000	0,01370	0,03480	0,00003	0,00001	0,20400	0,06620	0,10700	0,31900	0,94800	0,00106	0,35900
6	9,80000	0,00039	6,34000	0,00100	0,01560	0,00202	0,00000	0,07600	0,00629	0,03430	0,02330	0,42500	0,08110	0,16100
7	72,50000	0,06220	27,50000	0,03370	0,01800	0,00744	0,00000	0,56200	1,00000	0,14800	0,78300	0,49100	0,29900	0,00000
8	12,30000	0,00249	41,80000	0,00165	0,03670	0,02490	0,00001	0,09550	0,04000	0,22600	0,03840	1,00000	1,00000	0,35900
9	52,20000	0,01570	6,55000	0,00000	0,00000	0,00148	0,00000	0,40500	0,25300	0,03540	0,00000	0,00000	0,05950	0,15900



Şekil 4: Yanıtların aldığı ağırlık değerleri (The weight values of the responses)

Normalleştirilen kalite kaybı bulunduktan sonra söz konusu bütün yanıtlara ilişkin toplam normalleştirilen kalite kaybı her yanıtın aldığı ağırlık değeri ile çarpılarak toplanır ve bu şekilde bir deney için TNQL değeri hesaplanır[23]:

$$TNQL_1 = w_1C_{11} + w_2C_{21} + w_3C_{31} + w_4C_{41} + w_5C_{51} + w_6C_{61} + w_7C_{71} = 0,611*0,099 + 0,0198*0,255 + 0,0179*0,353 + 1,0000*0,064 + 0,866*0,04 + 0,482*0,029 + 0,359*0,161 = 0,242$$

$TNQL_1$; 1 numaralı deney için normalleştirilen toplam kalite kaybını ifade etmektedir. w_i ise i. yanıtın aldığı ağırlık katsayısıdır. ($\sum w_i=1$)

4.3.3.2. Çok yanıtlı sinyal gürültü oranının belirlenmesi (Determination of the multi response signal to noise ratio)

Normalleştirilen toplam kalite kaybı hesaplandıktan sonra her bir deney için MRSN hesaplanır. $TNQL$ 'nin daha küçük değeri, daha küçük kalite kaybı anlamına gelmektedir. Atanan ağırlıklara göre sinyal gürültü oranının nasıl hesaplanacağı dair formül bir önceki bölümde verilmişti. Dolayısıyla 1 nolu deneyde bulunan normalleştirilen toplam kalite kaybı deneyde yerine konularak 1 nolu deneyde performans istatistiği olan çok yanıtlı sinyal gürültü oranı;

$$MRSN_1 = -10\log_{10}(TNQL_1) = -10\log_{10}(0,242) = 6,156 \text{ olarak bulunur.}$$

Benzer şekilde bulunan bütün deneylere ait Lij, Cij, TNQLj ve MRSNj değerleri hesaplanmış ve MRSNj değerleri kullanılarak her bir faktörün seviye değerleri hesaplanarak Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Faktörlerin MRSN üzerindeki ana etkileri (The main effects of the factors on MRSN)

FAKTÖRLER	SEVİYELER			MAKS.-MİN.
	S ₁	S ₂	S ₃	
A	8,53849	5,65113	5,65967	2,887
B	4,90641	6,19619	8,74669	3,840
C	7,70470	5,37142	6,77317	2,333
D	6,22747	6,15034	7,47148	1,321

Bunların içinden en büyük değere sahip olan seviye, en iyi seviye olarak seçilir. Buna göre söz konusu ağırlıklar için en iyi faktör/seviye kombinasyonu A₁B₃C₁D₃ olarak bulunur. Görüldüğü gibi, tüm faktörlerin 2. seviyelerinden oluşan başlangıç kombinasyonundan çok farklı bir kombinasyon ortaya çıkmış ve hatta seçilen kombinasyonda 2. seviye değerleri hiçbir faktör için uygun bulunmamıştır.

MRSN, çok yanıtli problemler için performans istatistiği olarak kullanılmıştır. Deneyde bu performans ölçüsünün enbüyüklenmesi amaçlanmıştır. Bunların yardımıyla faktör etkilerinin analizi yapılarak hangi faktörün daha önemli ve bu faktörlere ait hangi seviyenin daha iyi olduğu bulunur. Bütün faktörlerin seviye değerleri belirlenir. Her kontrol faktörü için MRSN'de en büyük değere sahip olan seviye, o faktör için en iyi seviye anlamına gelmektedir. Buradan hareketle, en iyi faktör/seviye kombinasyonuna ulaşılmaktadır. Her faktörün seviyelerindeki değişimler dikkate alındığında problem için en önemli faktörler belirlenebilir. Burada faktörlerin önem sırası dikkate alınarak bir sıralama yapıldığında faktörler B, A, C, D şeklinde sıralanırlar. En önemli faktör olan B faktörünün seviyesi değiştiğinde yanıtta da önemli bir değişme meydana gelecektir. Bu durum Şekil 5'te açıkça görülmektedir. Faktör seviyelerine göre hesaplanan en büyük ile en küçük değerler, arasındaki farklara göre sıralandığında, faktörlerin önem derecelerini ortaya çıkarmaktadır.

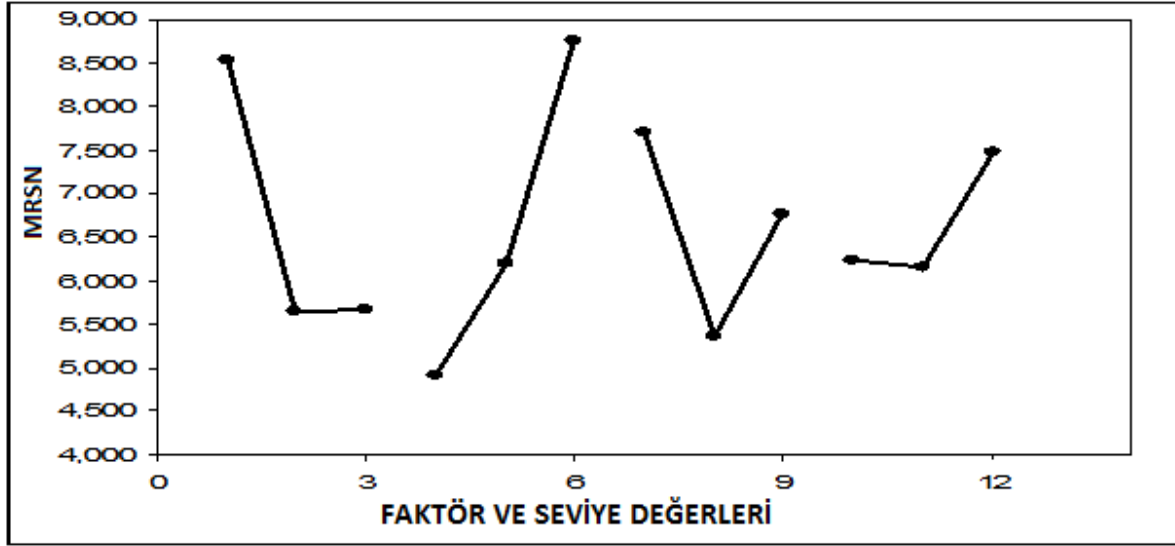
MRSN'de çok önemli etkiye sahip olmayan faktörlerin seviye değerleri arasında önemli bir fark yoktur. Diğer deyişle, yanıt değişkenleri üzerinde en az etkiye sahip olan faktör maks.-min. farkı en az olan faktördür. Uygulanan deneyde en az etkiye sahip faktör 1,321 değeri ile D faktörü olarak görülmektedir. Diğer faktörlerle kıyaslandığında etkisi azdır ama aslında değer etkisi azımsanamayacak kadar da büyüktür. Buradan çıkartılacak sonuç 4 faktörün de yanıt değişkenleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğudur.

4.3.4. Doğrulama deneyi (Validation experiment)

Başlangıç (deney öncesi) faktör/seviye kombinasyonu (üretim koşulları) ve deney verilerinin analizinden elde edilen faktör/seviye kombinasyonuna göre yapılan üretimden altışar deney numuneleri alınmış ve bunların yedi kalite karakteristiğine ait analiz değerleri ölçülmüş; iki farklı üretim koşulunda üretilen fermente maişe değerleri arasında çarpıcı bir farklılık bulunmuştur. Ayrıca bu değerlerin standart sapma ve değişim aralığı değerlerinde de azalma net olarak görülebilmekte ve yedi kalite karakteristiği için de çok daha iyi bir durum ortaya çıkmaktadır.

Başlangıç koşullarından kasıt işletmede bugüne kadar alışlagelmiş koşullardır. Maya miktarı 700 gr, fermantasyon ısısı 33-34 °C derece, fermantasyon süresi 28-32 saat ve kullanılan üre miktarı 8 mg'dır. Seçilen kombinasyonda ise alışlagelmiş üretim koşullarından farklı olarak maya kullanımı 200 gr'a indirilmiş, fermantasyon ısısı artırılarak 35-36 °C derecelere getirilmiş, fermantasyon süresi kısaltılarak 24-28 saat arasına indirilmiş, üre miktarı artırılarak 16 gr.'a çıkartılmıştır. Aldehit ve metenol değerleri için ise istenen azalma sağlanmıştır.

Tablo 7'deki sonuçlarda da görüldüğü gibi başlangıç üretim koşullarına göre gerçekleştirilen iyileştirme $3.588 - (-0.004) = 3.562$ birimdir (dB). Doğrulama deneyinin yapılmasıyla süreçteki iyileştirme açıkça görülmüştür. Taguchi Yöntemi'nin kullanılması sonucu daha avantajlı bir üretim faktörleri kombinasyonu ortaya çıkartılmıştır.



Şekil 5: Faktörlerin MRSN üzerindeki etkileri (The main effects of the factors on MRSN)

Tablo 7: Normalleştirilen kalite kayıplarına göre hesaplanan TNQL ve MRSN değerleri (The calculated values of MRSN and TNQL based on the normalized quality losses)

ALDEHİT	ESTER	METENOL	N-PROPONAL	ISO-BUTANOL	ISO-AMİNOALKOL	DERECE		
L1j	L2j	L3j	L4j	L5j	L6j	L7j		
35,5000	0,0228	121,0000	0,0625	0,0602	0,1800	0,0000		
15,5000	0,0131	44,8000	0,0075	0,0520	0,0588	0,0000		
C1j	C2j	C3j	C4j	C5j	C6j	C7j	TNQLj	MRSNj
1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	-0,0040
0,4370	0,5750	0,3700	0,1200	0,8630	0,3270	0,4060	0,4380	3,5880

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Endüstride zaman ve maliyet açısından bakıldığında da bilimsel metotların kullanılması bir zorunluluktur. Taguchi yöntemi, üretilen ve süreçte, varyasyon oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek, ürün ve süreçteki varyasyonu en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım yöntemidir. Bu yöntem; ürün kalitesinin gelişmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile aynı sonuçları alma imkanını sağlamaktadır.

Çalışmada, suma üretimindeki fermentasyon süreci incelenmiştir. İşletmede, fermentasyon süreci ve onu etkileyen faktörler çok iyi bilinmesine rağmen bu faktörler kontrol altına alınamamakta ve sürekli deneme yanılma yöntemiyle yüzlerce deney yapılmaktaydı. Bu durumda hem tanklar tam kapasite ile kullanılamamakta hem de çok uzun işlem süresi nedeniyle ciddi bir zaman kaybı yaşanmaktaydı. Uygun olmayan ürün diğer ürünlerle paçalanmak zorundaydı. Taguchi deney tasarımı kullanılarak etkili olan faktörlerin en uygun seviyeleri analiz sonucu belirlendikten sonra üretim reçetesi (üretim parametreleri kombinasyonu) A₁B₃C₁D₃

olarak oluşturulmuştur. Bu kombinasyonla tek seferde istenen sınır değerleri içinde ürünler üretilmeye başlanmıştır.

Çalışmanın sonucunda Taguchi'nin en büyük avantajlarından biri olan az deneyle uygun kombinasyona ulaşmanın faydası işletmede ciddi derecede hissedilmiştir. Paçal tanklarına ve deney tanklarına ihtiyaç kalmadığı için bu tanklar stok tankı olarak kullanılabilir hale gelmiştir. Yöntemin en büyük dezavantajlarından biri, etkileşimlerin göz ardı edilmesi olmakla birlikte bu çalışmada amaçlanan hedef yani, istenen speklerde suma üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında rakı distilasyon aşamasında da benzer bir uygulama yapılabilir ve rakı üretimi de paçalanmaya gerek kalmadan gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] C. Çelik, "Kalite geliştirmede tasarım eniyileme probleminde Taguchi yöntemlerinin

- uygulanmasında sistematik bir yaklaşım”, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1993.
- [2] R.H. Loncher ve J.E. Matar, “Designing for Quality: An Introduction to the Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design, First edition, Chapman and Hall, USA, (1990).
- [3] R. Ünal ve E.B. Dean, “Taguchi Approach to Design Optimization for Quality and Cost: An Overview”, Annual Conference of the Int. Society of Parametric Analysts, 1991.
- [4] Ş. Kasap, “F-4 savaş uçaklarında yakıt tüketimini etkileyen faktörlerin 2^k deneyleri ve Taguchi yöntemiyle belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2005
- [5] S. Koç, “Kritik ünitelerin performansını etkileyen faktörlerin deneysel tasarım yöntemi ile optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, F.B.E., Adana, 2003.
- [6] D.C. Montgomery, “Introduction to Statistical Quality Control”, John Wiley&Sons Inc., Canada, 1997.
- [7] A. Mitra, “Fundamentals of Quality Control and Improvement”, Macmillian Publishing Company, 1993.
- [8] K.R. Bhole, “World Class Quality”, Second edition, American Management Association, 1991.
- [9] J. Krottmair, “Optimizing Engineering Design”, McGraw-Hill Book Company, 1993
- [10] Ö. Keleş, “Matkap uçlarının ark PVD ile TiN kaplamasında proses parametrelerinin taguchi metodları ile optimizasyonu, Yüksek lisans tezi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
- [11] B. Graessel ve P. Zeidler, “Using quality function deployment to improve customer service”, Quality Progress, Vol.19, No:2, s.19-23, 1993.
- [12] C. Özler, “Cevap yüzeyi yöntemlerinin süreç iyileştirme amacı ile kullanılması üzerine bir araştırma, Doktora tezi”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 1997.
- [13] T.B. Barker, “Quality By Experimental Design”, Marcel Dekker Inc., 1994.
- [14] K. Baynal, “Çok yanıtli problemlerin taguchi yöntemi ile eniyilenmesi ve bir uygulama, Doktora tezi”, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- [15] C.H. Kağnıcıoğlu, “Üretim öncesi kalite kontrolünde taguchi yöntemi ve kükürtdioksit giderici sitrat yöntemine uygulanması, Doktora tezi”, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 1998.
- [16] G. Taguchi, S. Chowdhury ve S. Taguchi, “Robust Engineering: Case Studies”, McGraw-Hill, 1999.
- [17] H.H. Lai, Y. Chang ve H. Chang, “A robust design approach for enhancing the feeling quality of a product: a car profile case study”, Int. Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 169, s.10-16, 2004.
- [18] S.A.H. Lim, J. Antony ve S. Alblwi, “Statistical Process Control (SPC) in the food industry - A systematic review and future research agenda”, Trends in Food Science & Technology, Vol.37, s.137-151, 2014.
- [19] A.Király, L. Dobos ve J. Abonyi, “Economic oriented stochastic optimization in process control using Taguchi’s method”, Optim Eng, Vol. 14, s.547-563, 2013, DOI 10.1007/s11081-013-9237-3.
- [20] M. Pınarbaşı, Ç. Sel, H.M. Alağaç ve M. Yüzükırmızı, “Integrated definition modeling and Taguchi analysis of flexible manufacturing systems: aircraft industry application”, Int J Adv Manuf Technol., Vol.68, s.2169-2183, 2013, DOI 10.1007/s00170-013-4829-9
- [21] Y.Ş. Yıldız, E. Şenyiğit, Ş. İrdemez, “Optimization of specific energy consumption for Bomaplex Red CR-L dye removal from aqueous solution by electrocoagulation using Taguchi-neural method”, Neural Comput & Applic, Vol.23, s.1061-1069, 2013, DOI 10.1007/s00521-012-1031-1
- [22] A.Z. Gómez ve W.A.S. Castro, “Improving the quality of soluble coffee using the Taguchi method”, Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 22, No.1, s. 116-124, 2014.
- [23] Al-Darrab, I.A., Khan, Z.A., Ishrat, S.I. (2009) ”Determination of Optimum Level of Factors for Producing High-Quality Biscuits Using the Taguchi Method”. Journal of Culinary Science & Technology., Vol.7, No.2-3, s.105-118, DOI:10.1080/15428050903313366
- [24] M. Yadegary, A. Hamidi, S.A Alavi, E. Khodaverdi, H. Yahaghi, S. Sattari, G. Bagherpour ve E. Yahaghi, “Citric Acid Production From Sugarcane Bagasse through Solid State Fermentation Method Using

- Aspergillus niger Mold and Optimization of Citric Acid Production by Taguchi Method”, Jundishapur J Microbiol. November; 6(9):e7625, 2013, DOI:10.5812/jjm.7625
- [25] N. Tuncer, “Alkol endüstrisi, etil alkolün tarihçesi ve üretim prosesleri”, Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Sivas, 2002.
- [26] N. Aktan ve H. Kalkan, “Distile Alkollü İçkiler Teknolojisi”, Ege Üniversitesi, İzmir-Bornova, 1999.
- [27] S.S. Madaeni ve S. Koochekei, “Application of taguchi method in the optimization of wastewater treatment using spiral-wound reverse osmosis element”, Chemical Engineering Journal, Vol.119, s.37-44, 2006.
- [28] Doğan, Ü. “Kalite Yönetimi ve Kontrolü”, İstiklal Matbaası, İzmir, 1991.
- [29] <http://www.mersin.edu.tr/meitamx/meitam/ci-hazlar-ve-ozellikleri/gaz-kromatografisi-gc-> [12.09.2014]
- [30] L.I. Tong, C.T.Su ve C.H. Wang, “The optimization of multi response problems in the taguchi methods”, Int. Journal of Quality&Reliability Management, Vol.14, No.4, s. 367-380, 1997.