

BİR PAKET GIDA ÜRETİM İŞLETMESİNDE TAGUCHİ PARAMETRE TASARIMI İLE ÇOK YANITLI ENİYİLEME

Özlem KUVAT*

Alınma: 22.02.2018; düzeltme: 29.06.2018; kabul: 10.11.2018

Öz: Çok yanıtli eniyileme (Multi Response Optimization-MRO) uygulamaları son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlansa da gıda ürünleri üzerindeki deney tasarımı uygulamaları çoğunlukla tek yanıtli eniyileme problem çözümü şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada bir gıda işletmesinde üretilen Tavuk Adana Kebap (Köfte) gıda ürününün kalitesinin artırılması için Taguchi parametre tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Pişirme sıcaklığı, pişirme süresi ve fan hızı parametrelerinin en uygun düzeyleri ile mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık kalite karakteristiklerinin en iyi değerlerinin belirlenmesi için her üç kalite karakteristiğinin eşzamanlı eniyilenmesi çekicilik fonksiyonu ve kalite kayıp fonksiyonu kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çözüme bağlı olarak Tavuk Adana Kebap ürünü için en uygun üretim parametrelerinin düzeylerine ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Taguchi Parametre Tasarımı, Çok Yanıtli Eniyileme, Çekicilik Fonksiyonu, Kalite Kayıp Fonksiyonu, Tavuk Adana Kebap/Köfte

Multi Response Optimization by Taguchi Parameter Design for a Package Food Production Company

Abstract: Although multi-response optimization (MRO) applications have become widespread in recent years, the application of experimental design on food products is often performed as a single response optimization problem solution. In this study, Taguchi parameter design method was used to increase the quality of chicken Adana kebab (Meatball) produced in a food operation. We have investigated the optimum levels of cooking temperature, cooking time and fan speed of e for the optimization of microbiological load, center temperature and weight quality characteristics. Simultaneous optimization of all three quality characteristics has been carried out by using the desirability function and the quality loss function. According to the obtained solution, suggestions have been made for the optimum production parameter levels of chicken Adana kebab product.

Keywords: Taguchi Parameter Design, Multi-Response Optimisation, Desirability Function, Quality Loss Function, Chicken Adana Kebab/ Meatball

1.GİRİŞ

İşletmelerde üretim parametrelerinin uygun düzeylerinin belirlenmesi, ürünün tasarım ve geliştirilme aşamasında ele alınması gereken önemli problemlerden biridir. Bu tür problemlerin çözümü için deney tasarımı yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. Deney tasarımı ile ürün ya da süreci etkileyen faktörlerin farklı düzeyleri kontrollü bir şekilde değiştirilmekte ve deneme kombinasyonları sonucunda uygun düzeylerin bulunması sağlanmaktadır. Taguchi parametre tasarımı yaklaşımı; deney tasarımı yöntemlerinin içinde hedef değerde üretimin sağlanması ve kalite kaybının önlenmesi için kayıp fonksiyonu ve SN (S/N , Sinyal Gürültü) gibi

* Balıkesir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Çağış Kampüsü, Balıkesir
İletişim Yazarı: Özlem KUVAT (ohasgul@balikesir.edu.tr)

farklılıklar içermektedir. Bu avantajların değerlendirilmesiyle en uygun kalite karakteristiği değerinin en düşük maliyetle sağlanmasına çalışılmaktadır.

Bu çalışmada Balıkesir’de entegre tesislere sahip bir beyaz et (piliç, broiler) üretim işletmesinde üretim parametrelerinin uygun düzeylerinin belirlenmesi için uygulama yapılmıştır. İşletmede ele alınan problem yüksek tüketim oranına sahip şekillendirilmiş ürünlerin besin değerini ve duyu özelliklerini koruyacak şekilde bozulma süresini uzatmaktır. Bu nedenle işletmenin şekillendirilmiş ürünlerinden biri olan Adana kebabın kalite karakteristiklerinin iyileştirilmesine yönelik olarak Taguchi yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmada iyileştirme yapılması istenen karakteristikler ürünün mikrobiyolojik yükü, merkez sıcaklığı ve ağırlığıdır. Ürünün buhar fırınında ısı işlem ile pişirme parametrelerinin gürültü faktörlerinden etkilenmeyecek şekilde gerekli düzenlenmesi ve böylece mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık özelliklerinin en iyilenmesi amaçlanmıştır.

Literatürde beyaz et ürünlerinin üretim kalitesinin artırılmasına yönelik çalışmaların büyük çoğunluğu üründe kullanılan gıda bileşenlerinin etkilerinin analiz edilmesine ve ürünlerin mikrobiyolojik yüklerinin araştırılmasına yönelik deney tasarımı çalışmalarıdır. Bu çalışmalara örnek olarak; Bautista vd. (1997)’nin bakteriyel etkilerin analizine yönelik gerçekleştirdiği yanıt yüzeyi merkezi kompozit tasarım çalışması, Lemos vd. (1999)’nin, tavuk parçalarının marine sürecindeki ağırlık artışı, depolama sırasında ağırlık kaybını azaltma ve pişirme kaybını azaltma amaçlarının yanıt yüzeyi yöntemi ile eniyilenmesi çalışması, Zorba ve Kurt (2006)’un tavuk, hindi ve sığır etlerinin karışımının emülsiyon karakteristiklerini en iyileme çalışması, Hasgül (2011)’ün şekillendirilmiş beyaz et ürününün (Urfa Kebap) pişirilmesindeki uygun üretim parametrelerinin belirlendiği çalışması, Kılınççeker vd. (2015)’nin ekmek malzemesi olarak sarı mercimek unu ile nohut ununun potansiyel değerlerini belirlemek için, taze ve dondurulmuş tavuk köftelerinin kalitesine etkilerini incelediği çalışması örnek verilebilir. Ayrıca; Pathera vd. (2017) çalışmalarında nuggetların içerdiği malzemelerin bütünsel kabul edilebilirlik, sıklık ve tokluk kalite özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Yanıt yüzeyi yöntemi ile elde edilen modeller çekicilik fonksiyonu kullanımıyla çok yanıtlı olarak eniyilenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak tavuk Adana Kebap ürünü için aynı anda üç farklı kalite karakteristiğinin (mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı, ağırlık) eniyilenmesi hedeflenmektedir. Ürün kalitesinin artırılması amacıyla Taguchi SN oranları değerlendirilmiş ve hem çekicilik fonksiyonu hem de kalite kayıp fonksiyonu yöntemlerinin kullanımıyla en uygun parametre düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde kalite kayıp fonksiyonu dikkate alınmış; üçüncü bölümde çok yanıtlı eniyileme tanıtılmış, dördüncü bölümde ürünün mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık kalite karakteristiklerinin en iyi değerlerini elde etmek için kontrol edilebilen faktörlerin en uygun düzeyleri bulunmuştur. Ortogonal dizinlere uygun olarak SN oranlarına dayalı ölçümler yapılmış, Varyans analizi ile bu kalite karakteristikleri için etkili olan faktörler belirlenmiş ve regresyon modeli kurulmuştur. Beşinci bölümde ise; tek yanıt değişkeninin değerlendirildiği modellere göre önerilen düzeylerin farklılığından oluşan sorunun çözümü için uygulama çok yanıtlı eniyileme problemine dönüştürülmüş ve kalite karakteristiklerin eşzamanlı değerlendirilmesi sağlanmıştır. Çok yanıtlı en iyileme probleminin çözümünde iki ayrı yöntem ile çözüm araştırılmıştır. Bu yöntemler kayıp fonksiyonu ve çekicilik fonksiyonu yaklaşımlarıdır. Sonuç bölümünde elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve öneriler sunulmuştur.

2.KALİTE KAYIP FONKSİYONU

Bir ürünün maliyeti, ürünün satışından önceki toplam maliyeti ve satış sonrası maliyeti olarak ikiye ayrıldığında satış sonrası maliyeti kalite kaybı olarak değerlendirilmektedir (Sauers, 1999: 246). Kalite kaybı, bir ürün teslim edildikten sonra toplumda yol açtığı kayıptır. Bu kayıp, garanti, iade ve servis gibi nedenlerden kaynaklanan parasal kayıp, memnuniyetsizlik, zaman kaybı, çevre zararları, firma imaj kaybı olabilir (Taner ve Antony, 2006: 27). Ürünün toplam kalite kaybı, toplam parasal kayıp ve ürünün yaşam ömrü boyunca kalitesizlikten dolayı

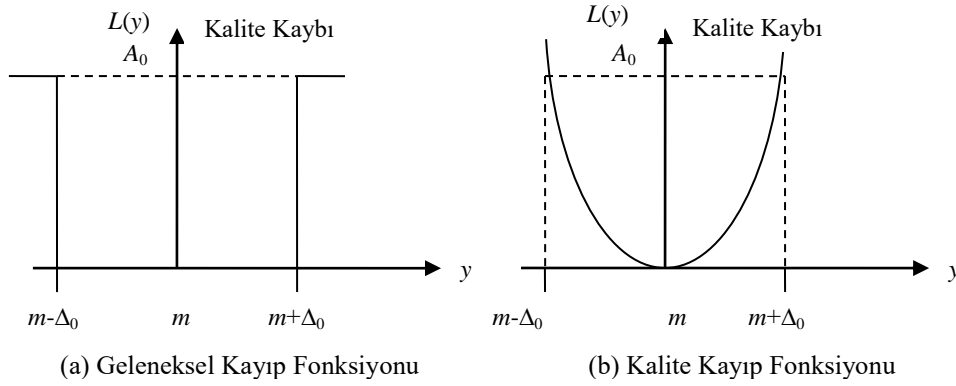
meydana getirdiği çevresel etkilerin toplamı şeklinde Kalite Kayıp Fonksiyonu (Quality Loss Function, QLF, KKF) ile ifade edilebilir (Taguchi ve Tsai, 1995: 225; Taguchi ve Clausing, 1990: 68):

Kalite kaybı = Fonksiyonel değişkenlikten dolayı oluşan maliyet + İşletme maliyeti + Çevrede oluşan etkilerden kaynaklanan maliyet

Bir basamak fonksiyonuyla ifade edilen geleneksel kayıp fonksiyonu kalite yaklaşımı olarak alt ve üst spesifikasyon sınırlarını kalite kaybı için değişim değeri olarak kabul etmektedir. Bu değerlendirmeye göre; kalite spesifikasyonlarının belirlenmesinde hedef değer genellikle “ m ” olacak şekilde yapılandırılır ve toleranslar da çift taraflı olarak $m \pm \Delta_0$ olarak ifade edilir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 34). Bu spesifikasyonlara karşılık kullanılan ve kalite kaybını açıklamakta yetersiz kalan geleneksel kayıp fonksiyonu denklem (1)’de verilmektedir (Phadke, 1989: 17):

$$L(y) = \begin{cases} 0; & |y - m| \leq \Delta_0 \\ A_0; & d.d \end{cases} \quad (1)$$

Burada A_0 , hatalı olmasına ve reddetme bölgesine karşı gelmesine rağmen tüketicinin eline geçmiş ürünün maliyetidir. Bu maliyet tamir etme, değiştirme, taşıma maliyeti gibi maliyetlerdir (Sauers, 1999: 249). Geleneksel kayıp fonksiyonu ve kalite kayıp fonksiyonuna ilişkin görünüm Şekil: 1’de verilmektedir (Phadke, 1989: 18):



Şekil 1:

Geleneksel Kayıp Fonksiyonu ve Kalite Kayıp Fonksiyonu (Phadke, 1989: 18)

Buna karşın kalite kayıp fonksiyonu yaklaşımı uygun parametre değerlerinin seçimiyle ürünün yanıt değerini mümkün olduğunca hedef değerine taşımayı önermektedir. Tolerans sınırlarını teknoloji gelişimiyle darlaştırmak parametre tasarımından daha maliyetli bir yaklaşım olacaktır (Mathur ve Pattipati, 1997: 9).

Kalite kaybının miktarını ifade etmek zordur çünkü aynı ürün farklı kullanıcılar tarafından kullanılmakta ve farklı uygulamalarla çevre koşullarına tabi tutulmaktadır. Buna karşın, kaybın miktarını saptamak önemlidir. Böylece müşteriler üzerinde alternatif ürün ve süreç tasarımının etkisi değerlendirilebilir ve uygun mühendislik kararları alınabilir (Phadke, 1989: 14). Taguchi hedef değerine ele alınış biçimine göre kayıp fonksiyonlarını ve karakteristikleri üç gruba ayırmıştır. Bunlar; “Hedef en iyidir”, “Daha küçük daha iyidir” ve “Daha büyük daha iyidir” şeklindedir (Park, 1996: 15)

Maliyetin bir referans değeri olarak alınmasıyla “Hedef en iyidir” kalite karakteristiklerine ilişkin kuadratik kayıp fonksiyonu aşağıda verildiği gibi yapılandırılabilir. Taguchi bunun için matematiksel bir model kullanmaktadır. Bu eşitlikte L : kayıp, y : kalite karakteristiği için belirlenmiş ölçü değeri, m : spesifikasyonun hedef değeri, k : spesifikasyon limitlerinde maliyete bağlı olan sabittir (Ross, 1988: 9).

$$L(y) = k(y-m)^2 \quad (2)$$

Burada k sabitini belirleyebilmek önemlidir çünkü böylece ilgilenilen bölge içinde gerçekleşen maliyet için en iyi yaklaşım sağlanabilir. Bunun için uygun bir yol, ilk önce y değeri için fonksiyonel limitlerin bulunmasıdır. $m \pm \Delta_0$, fonksiyonel limit olarak kabul edilir ve A_0 'a eşit sayılırsa denklem (3)'te verilen eşitlik elde edilir. Eşitlik (2) ve (3)'ün birlikte kullanımıyla da yeni $L(y)$ denklemine ulaşılır (Phadke, 1989: 19) :

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} (y-m)^2 \quad (3)$$

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \quad (4)$$

$L(y)$ fonksiyonunun Taylor açılımı da denklem (5)'te verilmektedir (Taner ve Antony, 2006: 30):

$$L(y) = L(m + y - m) = L(m) + \frac{L'(m)}{1!} (y-m) + \frac{L''(m)}{2!} (y-m)^2 + \dots \quad (5)$$

Buna göre $L(y)$, y değeri m 'e eşit olduğu zaman en küçük olmaktadır. $L(m) = 0$ ve $L'(m) = 0$ olduğundan dolayı, kayıp yaklaşık olarak denklem (6)'da verildiği şekilde ikinci dereceden ifade edilebilir, Burada y kalitesinde bir ürün alan her müşteri için aynı $L(y)$ kalite kaybına karşılık geleceği söylenemez. Daha doğrusu $L(y)$ ile ortalama kalite kaybı dikkate alınmaktadır. Eğer y rassal değişkeni μ ortalama ve σ^2 varyansa sahipse, $L(y)$ 'nin beklenen değeri denklem (7)'de verildiği şekilde olacaktır (Park, 1996: 17):

$$L(y) \approx \frac{L''(m)}{2!} \cdot (y-m)^2 = k \cdot (y-m)^2 = k \cdot \sigma^2 \quad (6)$$

$$E(L(y)) = k \cdot E[(y-m)^2] = k \cdot E[(y-E(y)) + (E(y)-m)]^2 = k \cdot [\sigma^2 + (\mu-m)^2] \quad (7)$$

Kalite kaybına ilişkin verilmekte olan formüller kalite karakteristiği y 'nin 0'a eşit olmayan hedefin her iki yanının da simetrik olduğu kalite kayıp fonksiyonu için geçerlidir. Bu şekilde gerçekleşen kalite kaybı için "hedef en iyidir" tipteki kalite fonksiyonu kullanılmaktadır ve (m), hedef değer olarak değerlendirilmektedir.

"Daha küçük daha iyidir" karakteristik tipi için $m=0$ olarak ele alınmakta ve kayıp fonksiyonu denklem (8) deki gibi oluşturulmaktadır. "Daha büyük daha iyidir" karakteristik tipi için de negatif değerler alınmamaktadır ancak değer büyüdükçe kalite kaybı küçülmektedir. $m=0$ olarak değerlendirilmekte ve kayıp fonksiyonu denklem (9)'da ifade edilmektedir (Phadke, 1989: 20):

$$L(y) = ky^2 \quad (8)$$

$$L(y) = k \left[\frac{1}{y^2} \right] \quad (9)$$

Taguchi kalite karakteristiğinin biçimine göre hedef değerde üretim (signal) ve üretimdeki değişkenliğin (noise, gürültü) aynı anda değerlendirilmesi için ortalamanın standart sapmaya oranının (SN) dikkate alınmasını önermektedir. (Taguchi ve Tsai, 1995: 226). Bu değerlendirme özellikle araştırma-geliştirme ve ileri mühendislik tasarımı aşamalarında yukarı yönlü (upstream) mühendislik faaliyetlerinde önem kazanmaktadır. Ürün geliştirmenin yukarı yönlü aşamasında kontrol ve gürültü faktörleri arasındaki ilişkilerin avantajlarını kullanılmasıyla güçlü tasarım sağlanabilecektir. Burada sağlanan güçlü tasarım özelliği ile aşağı yönlü (downstream) problemler yaşanmayacaktır (Taguchi G., Chowdhury S., Taguchi S., 2000: 8).

Kalite mühendisliği bakışıyla, bir ürünün aşağı yönlü kalite problemlerinin başlangıcı onun fonksiyonel kararsızlık belirtileridir ve bu durum güçlü tasarım özelliğinin olmadığını göstermektedir. Bu problemler, ürünün müşteriye teslimatından sonra oluşan toplam kalite

kaybıyla tahmin edilebilir (Taguchi ve Tsai, 1995: 225). Hangi tür problemde hangi SN oranlarının ve kalite kaybı fonksiyonunun kullanılacağına ilişkin özet bilgi Tablo 1.'de verilmektedir (Phadke, 1989: 131; Baynal, 2003: 32):

Tablo 1. SN Oranları ve Kalite Kaybı

Problem Türü	Gözlem Değerleri	SN Oranı (decibel)	Kalite Kaybı
Hedef en iyidir	$0 \leq y \leq \infty$	$SN = 10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2}$ $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ $\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$	$L_{ij} = k_3 \left(\frac{S_{ij}}{\bar{y}_{ij}} \right)^2$
Daha küçük daha iyidir	$0 \leq y \leq \infty$	$SN = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$	$L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2$
Daha büyük daha iyidir	$0 \leq y \leq \infty$	$SN = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$	$L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2}$

Taguchi Kalite kayıp fonksiyonunda en iyilenmeyi sağlamak için SN oranının kullanılması ile uygun parametreler bulunmaya çalışılmaktadır. Ancak, ürün veya süreç tasarımında genellikle çok sayıda kalite karakteristiği ile ilgilenilip bunların en iyilenmesi hedeflendiğinde her bir problemin ayrı ayrı değerlendirilmesi çoğu zaman tatmin edici bir yanıt sağlamayacaktır. Bunun nedeni genellikle sistemin, performansını veya ürünün kalitesini belirleyen çok sayıda yanıtla eşzamanlı olarak çalışmasıdır. Bir kalite karakteristiğini en iyileyen kontrol faktörü düzeyi diğer karakteristik değerinin kötüleşmesine neden olabilmektedir.

3.ÇOK YANITLI ENİYİLEME

Kalite karakteristiklerinin en iyi değerlerinin bulunması çalışmasında bir karakteristiğe ait yanıt değerinin geliştirilmesi diğer bir yanıt üzerinde olumsuz bir etki oluşturabilmektedir. Bunun nedeni yanıtların bazılarının en büyük, bazılarının ise en küçük düzeyde tutulması, bazılarının da kabul edilebilir bir değer ya da hedef değer almasının istenmesidir. Bu nedenle, en iyileme çalışmalarında sistemi tanımlayan tüm kalite karakteristiği fonksiyonlarının hep birlikte ele alınması gerekmektedir. Bu durumda en iyileme problemi Çok Yanıtlı En İyileme (Multi-Response Optimisations, MRO) problemine dönüşmektedir (Koç ve Ertekin, 2010: 4). Bazı kaynaklarda problemin güçlü tasarım çözümleri de çok karakteristikli güçlü tasarım (Multi-Characteristic Robust Design, MCRD) olarak ele alınmaktadır (Soh vd., 2016: 2685).

MRO problemlerinin çözümünde, 3 grup halinde ele alınan yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlar; yanıtların eş yükselti (izohips) eğrileri çizilerek üst üste yerleştirilmesi (superimposing), doğrusal olmayan programlama ve çoklu yanıtların tek fonksiyona dönüştürüldüğü yaklaşımlardır (Koç ve Ertekin, 2010: 4).

Bunlardan birincisi az sayıda faktörün bulunduğu problemlerin çözümünde kullanılması uygun olan grafiksel yöntemdir (Myers ve Montgomery. 2002: 273). Diğer yaklaşım MRO probleminin sınırlandırılmış eniyileme problemine dönüştürülmesidir. Bu yöntemde bir yanıt amaç olarak değerlendirilmekte ve diğer yanıtlar da kısıt olarak ele alınmaktadır. Bu yöntemde yanıtların çok sayıda olduğu durumlarda hangi yanıtın amaç fonksiyonu için seçileceğini belirlemek zor olabilir (Ortiz vd., 2004: 432).

Çoklu yanıtların tek fonksiyona dönüştürüldüğü yaklaşımlar içinde en yaygın olarak kullanılanlar çekicilik fonksiyonu ve kayıp fonksiyonu yaklaşımlardır. Derringer ve Suich

(1980)'in modifiye edilmiş çekicilik (desirability, istenilen hedefe ulaşma) fonksiyonu yaklaşımı ile çok değişkenli eniyileme problemi tek değişkenli hale dönüştürülmüştür (Derringer ve Suich, 1980: 216). Bu yöntem bireysel çekicilik fonksiyonunun tanımlanmasıyla bazı ekonomik bilgiler sunmaktadır. Ancak benzer yanıtlar arasındaki korelasyonu dikkate alan kayıp fonksiyonu yaklaşımının kullanımı da MRO problemlerinin çözümünde tercih edilebilmektedir (Vining, 1998: 309). Ayrıca, normalize edilmiş çok yanıtlı sinyal gürültü oranını hesaplayarak her bir kalite kaybını standardize etme yaklaşımı da yaygın kullanılan alternatiflerdendir (Tong, Su ve Wang, 1997).

Bu çalışmada ile Adana kebab buharlı fırın pişme parametrelerinin belirlenmesi MRO probleminin çözümü için literatürde yaygın olarak kullanılan çoklu yanıtları tek fonksiyonla ifade etme yaklaşımı seçilmiştir. Çoklu yanıtların aynı anda değerlendirilebilmesi için tek yanıtlı regresyon analizi tahmin fonksiyonlarından elde edilen çekicilik fonksiyonunun ve kalite kayıp fonksiyonunun dikkate alındığı çok yanıtlı sinyal gürültü oranının kullanılması tercih edilmiştir. Bu yöntemlerin kullanılmasının diğer bir nedeni de Taguchi *SN* oranları ile birlikte çözüme olanak sağlamalarıdır.

3.1 Çekicilik Fonksiyonu ile Eniyileme

Çekicilik fonksiyonundaki temel yaklaşım her bir tahminlenmiş yanıt değişkeni \hat{Y}_i 'yi, matematik bir dönüşüm ile bireysel çekicilik değeri d_i 'ye dönüştürmektir. Burada bireysel çekicilik değeri 0.0 ile 1.0 aralığındadır. İlgili yanıtın (Y_i) çekiciliği arttığı zaman karşılık geldiği bireysel çekicilik değeri d_i 'de artmaktadır (Del Castillo vd. 1996: 340; Özler ve Şenyay, 1998: 102).

\hat{Y}_i 'nin d_i 'ye dönüştürülmesinde tek taraflı enbüyükleme yapısı aşağıda verilmektedir. Burada Y_i^D kabul edilebilir enküçük limit değeri verirken, y_i^Y enbüyük limit değeri vermektedir. Buradaki t değeri ise kullanıcı tarafından belirlenen bir dönüşüm değeri olmaktadır (Derringer ve Suich, 1980: 215):

$$d_i = \begin{cases} 0, & \hat{y}_i \leq y_i^D \\ \left(\frac{\hat{Y}_i - Y_i^D}{Y_i^Y - Y_i^D} \right)^t, & y_i^D < \hat{y}_i < y_i^Y \\ 1, & \hat{y}_i \geq y_i^Y \end{cases} \quad (10)$$

[0,1] aralığında bir değer alabilen D_{od} genel çekicilik değeri (overall desirability) bireysel çekicilik değerlerinin aralarındaki önem (w_j) derecelerinin de değerlendirilmesiyle geometrik ortalamalarını alarak elde edilmektedir (Derringer ve Suich, 1980: 215, Derringer, 1994: 52).

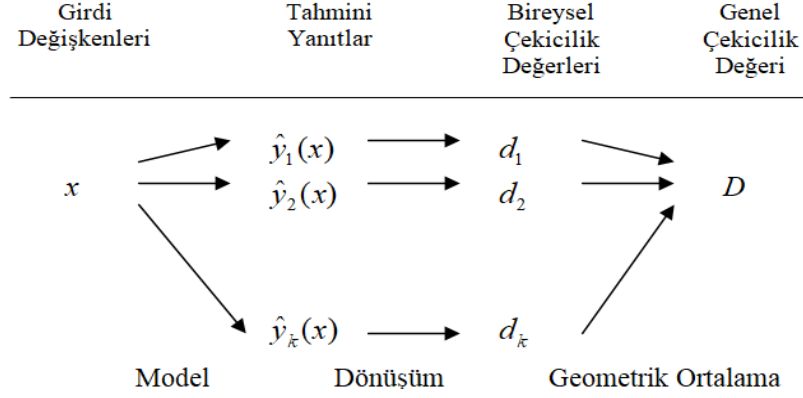
$$D_{od} = (d_1^{w_1} \cdot d_2^{w_2} \cdot \dots \cdot d_k^{w_k})^{\frac{1}{\sum w_i}} \quad (11)$$

Çok yanıtlı problemler için genel çekicilik değerinin elde edilme sürecinin işleyişi Şekil 2'de verilmektedir (Kim vd., 2009: 6365).

Derringer ve Suich (1980), doğrusal bireysel çekicilik fonksiyonlarının geometrik ortalaması alınarak elde edilen genel çekicilik fonksiyonunun eniyilenmesinde türev bilgisi gerektirmeyen tek değişkenli arama tekniklerinin kullanılabilceğini göstermiştir (Akteke-Öztürk vd., 2009: 1).

Çok yanıtlı problemin genel çekicilik fonksiyonuna dönüştürülüp bu fonksiyonun en büyük değerini verecek çözümün bulunması için ceza fonksiyonu yaklaşımı (penalty function approach) ve doğrusal olmayan programlama kullanılabilir. Bu yaklaşıma göre; D_{OD} genel çekicilik fonksiyonu ve $g(x)$ ceza fonksiyonu, $D_{OD}^*(x)$ toplam çekicilik fonksiyonu ile ilişkilendirilmektedir (Denklem 12). Burada $i=1,2,\dots,k$ yanıt için \hat{y}_i , y_i^D , y_i^Y alt ve üst sınır değerleri dikkate alınıp bu sınırların aşılma derecesine göre denklem (13)'de verilmekte olan

ceza fonksiyonu oluşturulmaktadır ve bu sistem ceza fonksiyonu yaklaşımıyla kısıtsız problem olarak çözülmektedir. p değeri ceza parametresidir ve en yüksek çekicilik değerini verecek şekilde çözüm aranmaktadır (Design-Expert Stat-Ease Inc; Arıza vd., 2005: 24; Ortiz vd., 2004: 435):

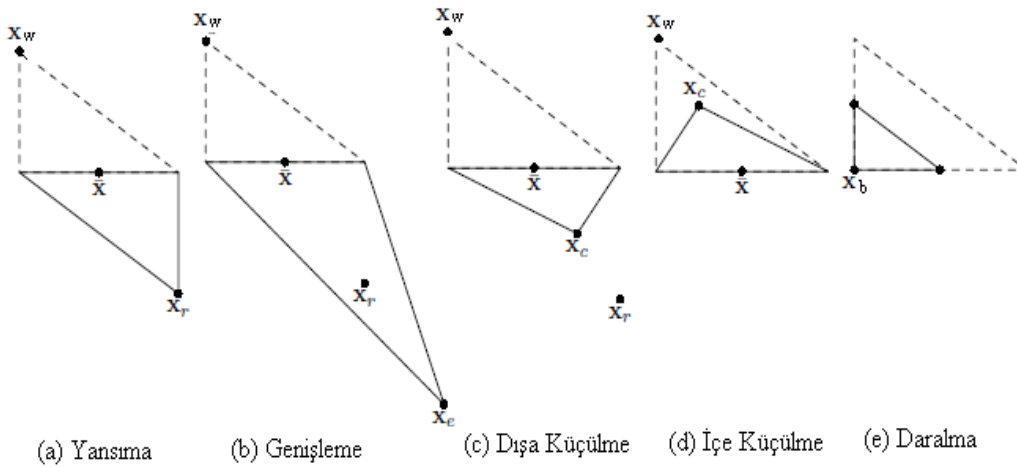


Şekil 2: Genel Çekicilik Değerinin Elde Edilişi (Kim vd., 2009: 6365)

$$D_{od}^*(x) = D_{od} - p \sum_i g_i(x) \quad (12)$$

$$g_i(x) = \begin{cases} y_i^D - \hat{y}_i, & \hat{y}_i \leq y_i^D \\ 0, & y_i^D < \hat{y}_i < y_i^Y \\ \hat{y}_i - y_i^Y, & \hat{y}_i \geq y_i^Y \end{cases} \quad (13)$$

Bu problemin çözümü için yaygın olarak kullanılan bir yöntem gradyan bilgilerine dayanmayan geometrik yaklaşımla çözüm sunan Nelder-Mead simpleks arama algoritmasıdır. (Nelder ve Mead, 1965: 308). Simplex, n boyutlu uzayda köşeleri $n+1$ tane olan bir küme tarafından tanımlanan geometrik bir şekli ifade etmektedir. $n=2$ iken simplex bir üçgen olduğunda fonksiyon değerleri bir üçgenin üç köşesi için karşılaştırılmaktadır. En olumsuz fonksiyon değerine sahip olan köşe noktası bir sonraki adımda çıkarılmaktadır ve yeni bir köşe noktası değerlendirilmektedir (Vural vd., 2009: 3). Nelder-Mead Simpleks Algoritmasında kullanılan adımlar aşağıdaki şekilde verilmektedir (Lagarias vd., 1998: 117):



Şekil 3: Nelder-Mead Algoritması Adımları (Lagarias vd., 1998: 117)

3.2 Kalite Kaybı Analizi ile Çok Yanıtlı Eniyileme

Çok yanıtlı eniyileme problemlerinin çözüm yöntemlerinden olan kalite kaybı analizi ve kayıp fonksiyonu kullanımı yanıt değeri olarak SN oranlarının değerlendirildiği deney tasarımı çalışmalarında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir.

Kalite fonksiyonu yaklaşımının kullanımında yaşanan Taguchi'nin kalite kaybı yaklaşımıyla yorum yapma zorluğu Tong vd. (1997)'nin geliştirdiği çok yanıtlı sinyal gürültü oranı *MRSN* değerlerinin (Multiple SN Ratio/ Çoklu SN Oranı) hesaplanmasıyla aşılmaya çalışılmıştır. Bu yaklaşımda öncelikle ağırlıklara dayanarak beklenen kayıp hesaplanmakta, daha sonra ağırlıklı toplam bütünsel bir *SN* oranına dönüştürülmektedir (Soh vd., 2016: 2686).

Kalite kaybına dayalı olarak çok yanıtlı eniyileme sürecinin uygulanmasında birinci aşama her bir kalite karakteristiği için kalite kaybının (*L*) belirlenmesidir. İkinci aşamada çok yanıtlı sinyal gürültü oranı belirlenmesi gerekir. Değişkenliğin azaltılması için ilk olarak yanıtların kalite kaybı ölçüsü normalleştirilmelidir. Her yanıt için, her bir denemede kalite kaybı, *j*. denemede en büyük kalite kaybına bölünür. Bu sayede normalleştirilmiş kalite kaybı değerleri 0 ve 1 aralığında olacak ve her yanıtla ilişkin kalite kaybı değeri toplanmaya uygun olacaktır. Daha sonra uygun ağırlıkların toplam normalleştirilmiş kalite kaybı *TNQL* (Total Normalized Quality Lost) hesaplanır (Tong vd., 1997: 369; Baynal, 2003: 33; Ferah, 2003: 63).

Normalleştirilen kalite kaybının bulunmasından sonra toplam normalleştirilmiş kayıp değeri *TNQL* hesaplanırken; her yanıtın sahip olduğu ağırlık değeri ile normalleştirilmiş kalite kaybı değeri çarpılarak toplanır. (Baynal ve Gencel, 117: 2015). *TNQL* hesaplanırken *w_j* ağırlıkları ile her bir normalleştirilen değer için göreceli önemi toplam değere yansıtılır. *TNQL* değerinin düşük olması kalite kaybının düşük olduğunu göstermektedir (Çiftçi AYTEKİN, 2010: 22). *MRSN* oranı, *TNQL* değerlerinin logaritma dönüşümü ile elde edilir (Tong vd, 1997: 369):

L:Kalite Kaybı

C:Normalleştirilmiş Kalite Kaybı

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*} \quad L_i^* = \max\{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\} \quad (14)$$

$$TNQL_j = \sum_{i=1}^m w_j C_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$MRSN_j = -10 \log_{10} (TNQL_j)$$

4.KALİTE KARAKTERİSTİKLERİNİN TEK YANITLI ENİYİLENMESİ

4.1 Deneyin Planlanması

Bu çalışmada üretim hızı için darboğazı oluşturan buharla pişirme sürecinin yer aldığı şekillendirmeli üretim hattının iyileştirilmesi öncelikli görülmüş ve bu süreçte üretilen ürünler ele alınmıştır. İşletmede en çok talebi olan ve yüksek miktarlarda üretimin yapıldığı kebab grubu ürünlerden biri olan Adana Kebab ürünü için üretim süreci parametrelerinin eniyilenmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Adana Kebab ürününün üretiminde çiğ piliç etine baharat ile katkı malzemeleri katılarak form makinesinde şekillendirilmektedir. Şekillendirilmiş ürünler 160–185°C sıcaklıkta derin yağda kızartılmakta (deep-fat frying) ve pişirme merkez sıcaklığının en az 72°C olacağı şekilde pişmesi için buharlı pişirme fırınına (Hot-Own fırın) iletilmektedir. Daha sonra soğutulurak sıcaklığı 1–4°C aralığına düşürülmekte ve paketlenmektedir (Hasgöl Ö, 2011: 55).

4.2 Kalite Karakteristiğinin Tanımlanması

İleri işlem ürünlerinin kalitesini etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Müşteri beklentileri ve işletme tarafından belirlenen öncelikler de dikkate alındığında ürünün bozulma süresi üzerinde doğrudan etkili olan başlangıç mikrobiyolojik yükü ile ürünün besin değeri ve

tat, görünüm gibi duyuşal özellikler önemli faktörler arasında sayılabilir. Ürünün mikrobiyolojik madde miktarını düşürme amacıyla aşırı yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi bu özelliklerde kalite kaybına neden olmaktadır. Ürünlerin bozulmaya karşı dayanıklılığının sağlanması için buharla pişirme fırınında mikrobiyolojik yükünün en düşük düzeye getirileceği şekilde pişirilmesi bunun yanında uygun merkez sıcaklığı ve ağırlık değerlerinin de elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle farklı kalite karakteristiklerinin aynı anda iyileştirilmesi sağlanmalıdır.

İşletmede buharla pişirme fırınında pişirilen ürünlerin sıcaklığının 72°C'den büyük olması istenmekle beraber hedeflenen merkez sıcaklığı değeri 80°C'dir. İşletme 72°C-80°C aralığında merkez sıcaklığında üretimi kabullenmektedir. Ürünün göreceli kalite maliyetine karşılık mikrobiyolojik yük 5, merkez sıcaklığı 3 ve ağırlık 1 önem derecesine sahiptir.

4.2.1 Mikrobiyolojik Yükün Düşürülmesi (MY)

Mikrobiyolojik yükün düşürülmesi ürünün bozulmasına neden olan toplam canlı mikroorganizma miktarının en azlanması sağlamaya yönelik olduğundan "Daha küçük daha iyidir" kalite karakteristiği niteliklerine uymaktadır. Çalışmada mikrobiyolojik yükün belirlenmesinde aerobik mezofilik canlı sayımları dikkate alınmıştır. İnsanlar için hastalığa neden olan mikroorganizmaların (patojen) büyük çoğunluğu vücut sıcaklığına uyum sağlama özellikleri olan mezofilik bakterilerdir. Patojen bakterilerin mezofilik sıcaklık aralıklarında gelişmeleri ve aerobik sayımların kolay uygulama koşulları nedeniyle analizlerde genellikle aerobik mezofilik toplam canlı sayımları yapılmaktadır (Ünlütürk ve Turantaş, 2002: 9).

4.2.2 Merkez Sıcaklığının Düşürülmesi (MS)

Çalışmada buhar fırınından çıkan ürünlerin ikinci kalite karakteristiği olarak merkez sıcaklığı dikkate alınmıştır. Gerçekleştirilmesi istenen hedef merkez sıcaklığının uygun değerlere getirilmesi ve merkez sıcaklığındaki değişkenliğin en düşük düzeyde tutulmasıdır.

Merkez sıcaklığı ürünün her tarafının pişirilmesine yönelik bir göstergedir. Ürünün mikrobiyolojik yükünün az olması için yüksek sıcaklıklarda uzun süre pişirilmesini sağlamak ürünün besin değerlerinde kayıplara yol açabilmektedir. Ele alınan kalite karakteristiğinin özelliği incelendiğinde 72°C-80°C sıcaklık aralığı işletme tarafından kabul edilebilir değerler olarak görülmüştür. Ürünün kesinlikle 72°C den düşük sıcaklıkta olmaması gerektiğinden ve 80°C üzerinde maliyetin hızlı bir şekilde arttığı düşünülürse kalite karakteristiğinin "daha küçük daha iyidir" tipinde olduğu görülmektedir. Bu kalite karakteristiği için de daha küçük daha iyidir şeklinde SN oranları hesaplanmıştır. Ancak ürünlerin merkez sıcaklığı için alt sınır 80° olarak dikkate alınmıştır.

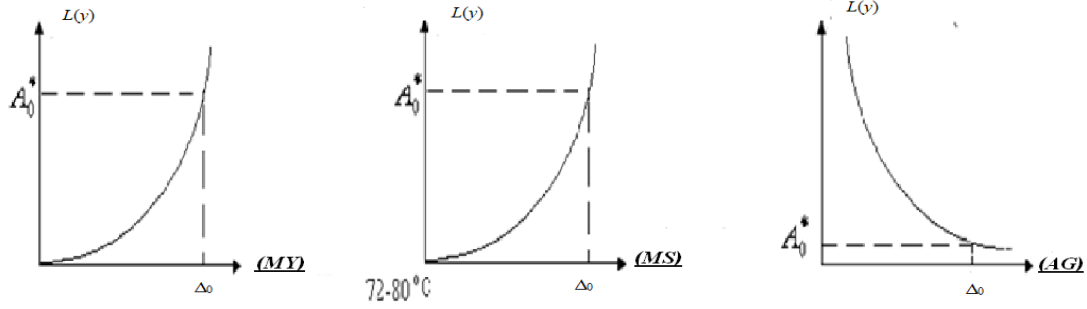
4.2.3 Ağırlığın Arttırılması (AG)

Duyuşal özellik olarak adlandırılan tat, görünüm gibi özelliklerinin değerlendirilmesi için ürün ağırlığı uygun bir ölçüt olmaktadır. Ayrıca ürünün ağırlığı üretim maliyeti ile doğrudan ilişkili olmakta ve düşük ağırlıklı ürünler üretim kaybına yol açmaktadır. Bu nedenle ürün ağırlığına yönelik karakteristik "daha büyük daha iyidir" niteliğini taşımaktadır. Bu kalite karakteristiği de sürekli ve negatif olmayan değerleri almaktadır. Kalite karakteristiklerinin yapısının görüldüğü kalite kaybı grafikleri Şekil-4'de verilmektedir (Hasgül, 2010: 175) .

4.3 Faktörlerin ve Düzeylerinin Belirlenmesi

Üretilen ürünün kalite karakteristiklerini etkileyen faktörler olarak pişirme fırınının kontrol panelinden ayarlanabilen üretim parametreleri dikkate alınmıştır. Kontrol edilemeyen gürültü faktörlerine rağmen kontrol edilebilen faktörlerin uygun değerlerinin belirlenmesi ile ürünün duyarlılığının azaltılması hedeflenmiştir. Ele alınan kontrol faktörleri; pişirme süresi, pişirme sıcaklığı ve fan hızıdır. Pişirme fırınının büyüklüğünden dolayı kontrol faktörlerine ilişkin panel girişleri yapılmasından bir süre sonra tanımlanan değerlerde üretim sağlanmaktadır. O nedenle

düzyer sayıısı 2 ile sınırlı tutulmuştur. Düzyer değerleri de ürünün hem yanmasını hem de çığ kalmasını engelleyecek değerler olarak işletme tarafından önerilmiştir. Kontrol faktörleri için araştırılan 1. ve 2. düzyer değerleri ve üretim koşullarında kullanılan parametre değerleri Tablo 2.'de verilmektedir.



Şekil 4:
Kalite Kaybı (Hasgöl, 2010: 175)

Tablo 2. Faktör ve Düzyerler

Tasarım	Kontrol Faktörü	Birim	Düzyer1	Düzyer2	Üretim koşulları
A	Pişirme Süresi	dk.	2,5	3,5	3
B	Pişirme Sıcaklığı	°C	180	205	225
C	Fan Hızı	1/dk.	750	1250	450

4.4 Deneyin Tasarlanması

İki düzyerli 3 faktörün kullanıldığı ve 7 sütunun gerektiği bu uygulama için ideal ortogonal deney planı L_8 (2^3) olmaktadır. Faktörlerin sütunlara yerleştirilmesinde üçgen tablolardan yararlanılmıştır (Tablo 3). L_8 dizinlerine uygun olarak etkileşimler Tablo 4'te verildiği gibi yerleştirilmiştir (Danacıoğlu ve Muluk, 2005: 85):

Tablo 3. L_8 Ortogonal Dizini Etkileşim Tablosu

Sütun	Sütun						
	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

Tablo 4. Ölçüm Sırası ve Tekrar Düzeni

Ortogonal Sıra	Parametre Düzeyi			Parametre Değeri			Ölçüm:1		Ölçüm:2		Ölçüm:3	
	A: Süre	B: Sıcaklık	C: Fan	A: Süre	B: Sıcaklık	C: Fan	Rassal Sıra	Rassal Sayı	Rassal sıra	Rassal Sayı	Rassal sıra	Rassal Sayı
1	1	1	1	2,5	180	750	1	0,05	8	0,97	6	0,61
2	1	1	2	2,5	180	1250	5	0,26	7	0,96	1	0,13
3	1	2	1	2,5	305	750	4	0,19	3	0,33	4	0,31
4	1	2	2	2,5	205	1250	6	0,36	6	0,95	2	0,17
5	2	1	1	3,5	180	750	7	0,86	1	0,26	5	0,42
6	2	1	2	3,5	180	1250	8	0,9	5	0,79	3	0,27
7	2	2	1	3,5	205	750	3	0,14	2	0,28	8	0,73
8	2	2	2	3,5	205	1250	2	0,12	4	0,45	7	0,66

Mikrobiyolojik yükün ölçülmesi için 3 tekrar düzenine göre farklı zamanlarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Merkez sıcaklığı ve ağırlıklar için de tek bir tekrar düzeninde üçer örnek alınmıştır. Bu farklı ölçüm düzeninin nedeni mikrobiyolojik yük ölçümünün yapıldığı laboratuvar koşullarındaki kapasite kısıtıdır.

4.5 Deneylerin Yönetilmesi ve Tek Yanıtlı Analizi

Deney tasarımı çalışmalarında öncelikle her bir kalite karakteristiği için tek yanıtlı eniyileme gerçekleştirilmiş, daha sonra tüm kalite karakteristiklerinin birlikte değerlendirilmesiyle uygun üretim parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

4.5.1 Mikrobiyolojik Yük (MY) İçin Model

Her bir tekrar için elde edilen toplam canlı mikroorganizma ortalama değerleri için oluşturulan tasarım parametreleri matrisi Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. MY Ölçüm Değerleri

Süre	Sıcaklık	Fan	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama	Standart Sapma	SN Oranı	
1	2,5	180	750	11166,7	74500	2800	29488,9	39204,6	-92,7744
2	2,5	180	1250	2300	28833,3	102800	44644,4	52082,2	-95,7995
3	2,5	205	750	30333,3	55500	116900	67577,8	44529,2	-97,7002
4	2,5	205	1250	4833,3	35333,3	14800	18322,2	15552,1	-86,9631
5	3,5	180	750	60500	15166,7	20050	31905,6	24883,6	-91,5557
6	3,5	180	1250	22566,7	9500	29750	20605,6	10266,5	-86,9448
7	3,5	205	750	7833,3	45000	11950	21594,4	20374	-88,7102
8	3,5	205	1250	10733,3	49566,7	147633	69311	70553,2	-99,0969

Mikrobiyolojik yükün incelenmesine yönelik, *SN* oranı için etkili olan faktörlerin belirlenmesi amacıyla ortalama analizleri yapılmıştır. En büyük farkın görüldüğü faktör ilk sıradaki *A* faktörüdür. Tablo 6'da verilmekte olan Yanıt tablosuna göre *A*: Süre faktörünün ikinci düzeyinin *B*: Sıcaklık faktörünün birinci düzeyinin, *C*: Fan faktörünün ikinci düzeyinin kullanımı gerekmektedir. Bu tabloya göre önerilen çözüm $A_2B_1C_2$ şeklindedir.

Tablo 6. MY Yanıt Tablosu

SN Oranı			
Düzye	A: Süre	B: Sıcaklık	C: Fan
1	-93,31	-91,77	-92,69
2	-91,58	-93,12	-92,2
Fark (Delta)	1,73	1,35	0,48
Sıra (Rank)	1	2	3

Mikrobiyolojik yük için faktörlerin ana etkilerinin ve etkileşimlerinin anlamlı olup olmadığının belirlenmesi amacıyla öncelikle Half-Normal Plot ve Pareto Chart grafikleri değerlendirilmiş *t* değeri uygun görülen ana etki veya etkileşim için hipotez testleri yapılmıştır. Aşağıda verilmekte olan hipotezler çalışmada yapılan varyans analizlerinde kurulan hipotezlere örnek niteliğindedir (Orhunbilge, 2000: 179):

Süre (*A*) tek faktörünün etkisini araştırmak için;

$$H_0: A_1 = A_2 = 0$$

H_1 : *A* faktörünün düzey ortalamaları arasında fark vardır.

Süre ve Sıcaklık (*AB*) iki faktörü arasında bağlantı olup olmadığının saptanması için:

H_0 : İki faktörün etkileşimi ortalamayı etkilememektedir.

H_1 : İki faktörün etkileşimi ortalamayı etkilemektedir.

Süre, Sıcaklık ve Fan (*ABD*) üç faktörlerinin arasında bağlantı olup olmadığının belirlenmesi için:

H_0 : Üç faktörün etkileşimi ortalamayı etkilememektedir.

H_1 : Üç faktörün etkileşimi ortalamayı etkilemektedir.

Kurulan hipotezlerin test edilmesinde $\alpha=0,05$ hata payı dikkate alınmıştır. *F* değerlerinin hesaplanması sonucu *p* değeri 0,05 değerinden küçük ise ana etki veya etkileşim anlamlı bulunmuş ve faktöre ilişkin hipotez red edilmiştir.

Tablo 7'de verilmekte olan Varyans Analizi tablosuna göre *AB*: SürexSıcaklık, *AC*: SürexFan, *ABC*: SürexSıcaklıkxFan etkileşimleri anlamlıdır.

Tablo 7. MY Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı	<i>KT</i>	<i>sd</i>	<i>KO</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Model	147,9677	3,00	49,32	19,15	0.0078
<i>AB</i> : SürexSıcaklık	21,8368	1,00	21,84	8,48	0.0436
<i>AC</i> : SürexFan	22,74009	1,00	22,74	8,83	0.0411
<i>ABC</i> : SürexSıcaklıkxFan	103,3908	1,00	103,39	40,15	0.0032
Artık	10,30141	4,00	2,58		
Toplam	158,2691	7,00			
R^2	0,9349				
R^2 (Düzeltilmiş):	0,8861				

Varyans Analizi tablosunda gösterildiği gibi modeldeki belirlilik katsayısı ($R^2=0,9349$) ve (R^2 (Düzeltilmiş)= 0,8861) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. Varyans analizi çalışması sonucu tahmin edilen model parametreleri aşağıda verilmektedir:

$$Y_1 = -92,4431 + 1,6521 * AB + 1,6859 * AC + -3,5949 * ABC$$

Elde edilen tahmin modelinde sonuçlar varsayımlar açısından da değerlendirilmiştir. Model yeterliliğinin kontrolü için hataların/artıkların dağılımının normalliği, zamana ve tahmin değerlerine göre değişiminin incelenmesi, varyansların eşitliğinin kontrolü yapılmalıdır (Montgomery, 2001: 75). Regresyon analizi sonuçlarına göre VIF (Variance inflation factors) değerleri 1'e eşittir. Bu değer çoklu doğrusal bağlantı olmadığını göstermektedir. Artıkların dağılımı Kolmogorov-Smirnov testi ile incelenmiş ve normal dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Studentize artıkların büyüklüğü tahmin değerinden bağımsız çıkmıştır. Artık değerlerinin büyüklüğü ± 3 aralığında olduğundan uç değer bulunmadığı sonucuna varılmış ve zamana bağlı bir etki de gözlenmemiştir.

4.5.2 Merkez Sıcaklığı (MS) İçin Model

Merkez sıcaklıklarının belirlenmesine yönelik olarak her bir deneme sırasında 3 ölçüm yapılmıştır. Ürününe ait elde edilen değerler için tasarım parametreleri matrisi Tablo 8'de sunulmaktadır.

Tablo 8. MS Ölçüm Değerleri

	Süre	Sıcaklık	Fan	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama	Standart Sapma	SN Oranı
1	2,5	180	750	79,2	83	85,2	82,4667	3,0353	-38,3295
2	2,5	180	1250	76,8	86,5	86	83,1	5,4617	-38,4045
3	2,5	205	750	90,1	87,4	90,4	89,3	1,6523	-39,018
4	2,5	205	1250	79,9	85,4	86,4	83,9	3,5000	-38,4803
5	3,5	180	750	79,4	82,1	82,6	81,3667	1,7214	-38,2102
6	3,5	180	1250	82,8	90,2	89,7	87,5667	4,1356	-38,8532
7	3,5	205	750	90,4	96,6	95,6	94,2	3,3287	-39,4846
8	3,5	205	1250	90,5	91,7	93,3	91,8333	1,4048	-39,2607

MS incelenmesi için SN oranı üzerinde etkili faktörlerin uygun düzeylerinin belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen ortalama analizlerinin sonuçları Tablo 9'da verilmektedir. Analiz sonuçlarına göre, SN oranı için A: Süre ve B: Sıcaklık faktörlerinin birinci, C: Fan faktörünün ikinci düzeyinin kullanımı gerekmektedir. Önerilen tasarım $A_1B_1C_2$ olmaktadır. Bu değerlerin tümü yasal mevzuatlara uygun derecede üretimleri sağlamaktadır.

Tablo 9. MS Yanıt Tablosu

Düzye	SN Oranı		
	A: Süre	B: Sıcaklık	C: Fan
1	-38,56	-38,45	-38,76
2	-38,95	-39,06	-38,75
Fark (Delta)	0,39	0,61	0,01
Sıra (Rank)	2	1	3

Varyans analizi sonuçlarına göre p değerleri 0.05'ten küçük olan A:Süre, B:Sıcaklık, AB:SürexSıcaklık, AC:SürexFan, BC:SıcaklıkxFan, faktörleri ve etkileşimlerinin AG karakteristiği SN oranı üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu söylenebilmektedir. Varyans analizi ile elde edilen değerler Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10. MS Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı	KT	sd	KO	F	P
A: Süre	1,5	5	0,306943	73,83023	0.0134
B: Sıcaklık	0,3	1	0,31063	74,71706	0.0131
AB: SürexSıcaklık	0,7	1	0,747987	179,9164	0.0055
AC: SürexFan	0,1	1	0,105249	25,31592	0.0373
BC: SıcaklıkxFan	0,1	1	0,097196	23,37906	0.0402
Artık	0,3	1	0,273652	65,82268	0.0149
Toplam	0,0	2	0,004157		
R^2	0,9946				
R^2 (Düzeltilmiş):	0,9811				

Varyans Analizi tablosunda gösterildiği gibi modeldeki yüksek R^2 ve R^2 (Düzeltilmiş) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. MS için Varyans analizi sonucunda elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_2 = -38,7551 -0,1970*A -0,3057*B+ 0,1147*AB+ 0,1102*AC+ -0,1849*BC$$

4.5.3 Ağırlık (AG) İçin Model

Ağırlığın artırılmasına yönelik yapılan ölçümlerin sonuçları için hazırlanan tasarım parametreleri matrisi Tablo 11’de verilmektedir.

Tablo 11. AG Ölçüm Değerleri

	Süre	Sıcaklık	Fan	Ölçüm1	Ölçüm2	Ölçüm3	Ortalama	Standart Sapma	SN Oranı
1	2,5	180	750	52	52	51	51,66667	0,5774	34,2631
2	2,5	180	1250	56	52	58	55,33333	3,0551	34,8326
3	2,5	205	750	56	51	51	52,66667	2,8868	34,4057
4	2,5	205	1250	51	56	60	55,66667	4,5093	34,8540
5	3,5	180	750	49	49	51	49,66667	1,1547	33,9167
6	3,5	180	1250	47	51	51	49,66667	2,3094	33,9018
7	3,5	205	750	48	49	51	49,33333	1,5275	33,8546
8	3,5	205	1250	51	50	50	50,33333	0,5774	34,0360

Ağırlık değerleri ortalama analizi sonucuna göre A faktörü düzeyleri arasında en çok farkın görüldüğü faktördür. Tablo 12’de verilmekte olan Ortalama analizleri sonuçlarına göre A:Süre faktörünün birinci, B:Sıcaklık ve C:Fan faktörlerinin ikinci düzeyinin kullanılması önerilmektedir. Önerilen tasarım $A_1B_2C_2$ olmaktadır. Varyans analizi sonuçlarına göre p değerleri 0.05’ten küçük olan A:Süre, C:Fan, AC:SürexFan faktör ve etkileşimlerinin AG karakteristiği SN oranı üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu söylenebilmektedir. Varyans analizi sonuçları Tablo 13’te verilmektedir

Tablo 12. AG Yanıt Tablosu

SN Oranı			
Düzyey	A: Süre	B:Sıcaklık	C:Fan
1	34,59	34,23	34,11
2	33,93	34,29	34,41
Fark (Delta)	0,66	0,06	0,3
Sıra (Rank)	1	3	2

Tablo 13. AG Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı	KT	sd	KO	F	P
A: Süre	1,1	3	0,380424	71,34275	0.0006
C: Fan	0,9	1	0,875363	164,1609	0.0002
AC: SürexFan	0,2	1	0,175321	32,87874	0.0046
Artık	0,1	1	0,090589	16,98857	0.0146
Toplam	0,0	4	0,005332		
R^2	0,9817				
R^2 (Düzeltilmiş):	0,9679				

Modeldeki yüksek R^2 ve R^2 (Düzeltilmiş) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. AG için Varyans analizi çalışması sonucu elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_3 = 34,25806 + -0,3307 * A + 0,1480 * C + 0,1064 * AC$$

4.5.4 Tek Yanıtlı En Uygun Düzeylerin Önerilmesi

Tek yanıtlı problemin çözümü için önerilen düzeyler Tablo 14'te verilmektedir. Burada tasarım parametreleri için uygun düzeyler dikkate alındığında farklı kalite karakteristikleri için farklı düzeylerin önerildiği görülmektedir. Süre faktörü açısından MY için 1. Düzey önerilirken, MS ve AG için 2. Düzey önerilmektedir. Ayrıca sıcaklık faktörü açısından MY ve MS için 1. Düzey, AG için 2. Düzey önerilmektedir. Fan faktörü açısından her kalite karakteristiği için 2. Düzey önerilmektedir.

Tablo 14. Düzey Öneri Tablosu

Kalite Karakteristikleri	A:Süre	B:Sıcaklık	C:Fan	Uygun Düzeyler
Mikrobiyolojik Yük (MY)	2	1	2	$A_2B_1C_2$
Merkez Sıcaklığı (MS)	1	1	2	$A_1B_1C_2$
Ağırlık (AG)	1	2	2	$A_1B_2C_2$

Ayrıca tek yanıtlı çalışmalarda elde edilen ve aşağıda verilen fonksiyonlar dikkate alındığında kalite karakteristikleri üzerinde farklı faktör ve etkileşimlerin etkisinin anlamlı bulunduğu görülmektedir.

$$Y_1 = -92,4431 + 1,6521 * AB + 1,6859 * AC + -3,5949 * ABC$$

$$Y_2 = -38,7551 -0,1970 * A -0,3057 * B + 0,1147 * AB + 0,1102 * AC + -0,1849 * BC$$

$$Y_3 = 34,25806 + -0,3307 * A + 0,1480 * C + 0,1064 * AC$$

Her üç kalite karakteristiğinin eşzamanlı dikkate alındığı bir çözüm sunabilmek için problemin çok yanıtlı en iyileme problemi olarak değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Elde edilen fonksiyonlar çok yanıtlı analiz ile birleştirilmiştir.

5. ÇOK YANITLI ENİYİLEME

5.1 Çekicilik Fonksiyonu İle Çok Yanıtlı Eniyileme

Taguchi parametre tasarımı için çekicilik fonksiyonunun uygulanmasında SN oranlarına göre dönüşüm yapılmaktadır. k kalite karakteristiği için ve m deney sayısı için, l . performans karakteristiği ve i . deneysel koşul için SN_{il} elde edilmektedir. ($i=1,2,\dots,m$; $j=1,2,\dots,k$) Bu

dönüşüm denklem (15)'de verilmektedir: (Yoon ve Yum, 2007: 1149; Byun ve Kim, 1998: 289):

$$d_{il} = \begin{cases} 0, & SN_{il} \leq SN_l^D \\ \left(\frac{SN_{il} - SN_l^D}{SN_l^Y - SN_l^D} \right)^t, & SN_l^D < SN_{il} < SN_l^Y \\ 1, & SN_{il} \geq SN_l^Y \end{cases} \quad (15)$$

$$SN_l^Y = \text{enb}_{1 \ll i \ll m} \{SN_{il}\}$$

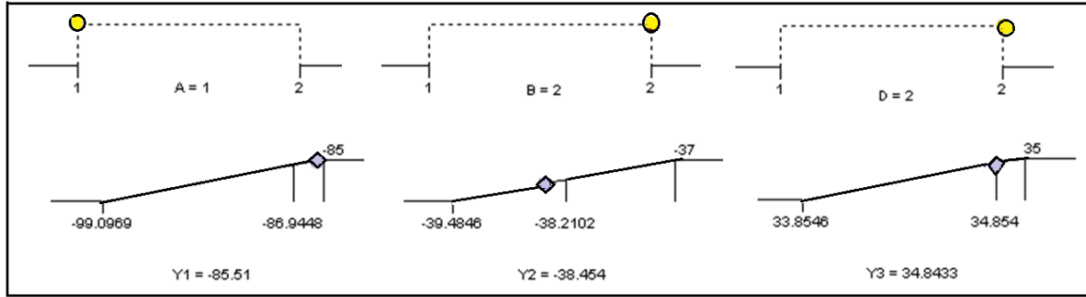
$$SN_l^D = \text{enk}_{1 \ll i \ll m} \{SN_{il}\}$$

Çekicilik fonksiyonu alt ve üst limitlerinin belirlenmesinde denklem (16)'da verilmekte olan formül ele alınmış ve yapılan denemeler sonucunda üst sınıra çok yakın değerler elde edilebildiği için üst sınır 1 birim kadar artırılmıştır.

$$SN_l^Y = \text{enb}_{1 \ll i \ll m} \{SN_{il}\} + 1 \quad (16)$$

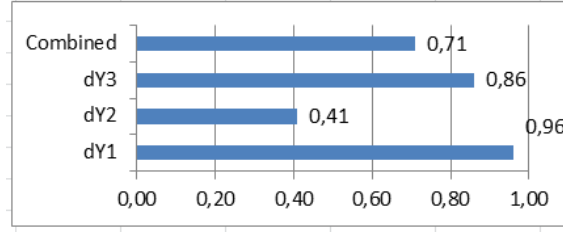
$$SN_l^D = \text{enk}_{1 \ll i \ll m} \{SN_{il}\}$$

Çalışmada kalite karakteristikleri fonksiyonlarının eş zamanlı eniyilenmesinde çekicilik fonksiyonunun kullanılması sırasında amaçlar arasında farklı önem dereceleri (w) belirlenmiştir. Önem dereceleri 1 ile 5 arasında değer almaktadır. Ürünün göreceli kalite maliyetine karşılık mikrobiyolojik yük 5, merkez sıcaklığı 3 ve ağırlık 1 önem derecesine sahiptir. Çekicilik fonksiyonuna ait 1-10 aralığında bulunan (t) ağırlık değerleri ise her bir kalite karakteristiği için 1 değerini almıştır. Analiz sonucu tasarım parametresi olarak en iyi çözüm (x^*) = (1,2,2) ve kalite karakteristikleri için Mikrobiyolojik yük (MY), Merkez sıcaklığı (MS) ve Ağırlık (AG) için SN oranı tahmini değerleri; $\hat{y}_1(x^*) = -85,51$; $\hat{y}_2(x^*) = -38,454$ ve $\hat{y}_3(x^*) = 34,8433$ olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5'de verilen rampa grafiklerine göre Y_1 ve Y_3 değeri hedefe yakın bir değerde Y_2 ise ölçümler sırasında elde edilen sonuçlardaki en yüksek değere yakın olarak elde edilmiştir.



Şekil 5:
Rampa Grafikleri

Nelder-Mead Simpleks en iyileme algoritmasının kullanımı sonucu elde edilen bütünsel çekicilik değeri $D_{OD} = 0,71882$ dir. Bireysel çekicilik değerleri ise her bir karakteristik için; $d_1(\hat{y}_1) = 0,963822$; $d_2(\hat{y}_2) = 0,414805$ ve $d_3(\hat{y}_3) = 0,863192$ olarak elde edilmiştir. Çekicilik değerlerinin karşılaştırmalı görünümü Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6:
Çekicilik Değerleri Grafiği

5.2 Kalite Kaybı Analizi ile Çok Yanıtlı Eniyileme

Çalışmada kalite kaybı değerleri belirlenirken birinci aşamada her bir kalite karakteristiğinin maliyet sabit değeri (k); çekicilik fonksiyonunda önem derecesi olarak da değerlendirilen değerler (mikrobiyolojik yük için 5, merkez sıcaklığı için 3 ve ağırlık için 1) ele alınmıştır. Kalite kaybının belirlenmesinde Tablo-1'deki formüller kullanılmıştır. İkinci aşamada, (w) normalleştirilmiş yanıt ağırlıkları olarak aynı ağırlık ve önem dereceleri ile her denemenin kalite kaybı normalleştirilmiş ve her deneme için $TNQL_j$ ve $MRSN_j$ değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için denklem (14) kullanılmıştır.

$TNQL_4$; 4 numaralı deneye ait normalleştirilmiş toplam kalite kaybını göstermektedir. w_4 ise 4. yanıtla ilişkin ağırlık katsayısıdır (Baynal ve Gencel, 117: 2015).

$$C_{14} = 1490845556 / 24367561578 = 0,06$$

$$TNQL_4 = 5 * 0,061 + 3 * 0,794 + 0,794 = 3,48$$

$$MRSN_4 = -10 \log(3,4) = -5,415$$

Elde edilen diğer değerler Tablo 15'te verilmektedir.

Tablo 15. $TNQL$ ve $MRSN$ Değerleri

	<i>MY</i>		<i>MS</i>		<i>AG</i>		<i>TNQL</i>	<i>MRSN</i>
	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>C</i>		
1	9471307407	0,389	20420,6	0,766	0,000375	0,910	5,15	-7,121
2	11404491111	0,468	20776,4	0,780	0,000329	0,798	5,48	-7,386
3	17665971111	0,725	23928,9	0,898	0,000363	0,881	7,20	-8,573
4	1490845556	0,061	21142,1	0,794	0,000327	0,794	3,48	-5,417
5	4292280278	0,176	19867,5	0,746	0,000406	0,986	4,10	-6,132
6	1484566944	0,061	23037,9	0,865	0,000407	0,989	3,89	-5,897
7	2229163611	0,091	26643,0	1,000	0,000412	1,000	4,46	-6,491
8	24367561578	1,000	25304,0	0,950	0,000395	0,959	8,81	-9,449
Enb:	24367561578		26643,0		0,000412			

Elde edilen $MRSN$ değerlerinin karşılaştırılması sonucu en iyi faktör-düzye kombinasyonunun en büyük değerin bulunduğu 4. sıra çözümü (x^*)=(1,2,2) parametre düzeyleri ve (2,5; 205; 1250) süre, sıcaklık fan değerleriyle gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç çekicilik fonksiyonu kullanımıyla elde edilen çözümün aynıdır.

6. DOĞRULAMA DENEYLERİNİN YAPILMASI

Yapılan çalışmada her iki eniyileme yöntemi sonucunda da aynı parametre düzeylerinin kullanımı önerilmiştir. Doğrulama deneyi sonuçlarına göre süre, sıcaklık ve fan kontrol edilebilen değişkenleri için önerilmekte olan $A_1B_2C_2$ (x^*)=(1,2,2) parametre düzeyleri ve (2,5;

205; 1250) değerleriyle başlangıç koşullarındaki parametre değerlerinde (3; 225; 450) yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Başlangıç koşullarına göre çok daha az düşük pişirme süresi ve sıcaklıkta daha yüksek fan hızıyla kalite karakteristiklerinde iyileşme sağlandığı görülmektedir. Buna göre her bir kalite karakteristiği için önerilen düzeylere göre yapılan üretimlerde daha yüksek *SN* oranına ulaşılmıştır. Kalite kaybı ve karakteristik amaçlarına uygun olarak *MY* ve *MS* için ortalamada azalış ve *AG* için ortalamada artış başarılı sonuçların elde edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca; pişirme süresindeki düşüş üretim sürecindeki hattın hızını arttırarak oluşan darboğaz sorununa da bir çözüm getirmektedir. Elde edilen parametre değerlerinin iyileşme sağladığı gerekçesiyle üretim parametrelerinin değiştirilmesi kararı alınmıştır. Önerilen değerlerin performans etkinliğinin ölçülmesi için gerçekleştirilen doğrulama deneyleri sonuçları Tablo 16’da ve fark değerleri Tablo 17’de verilmektedir.

Tablo 16. Doğrulama Deneyleri Sonuçları

Tekrar	Başlangıç Koşulları			Öneri Koşulları		
	<i>MY</i>	<i>MS</i>	<i>AG</i>	<i>MY</i>	<i>MS</i>	<i>AG</i>
1	29350	88,5	46	37250	80	53,5
2	39850	89,1	49	15900	83	53
3	85033	91,6	47,5	3500	82,4	53
Ortalama	51411,00	89,73	47,50	18883,33	81,80	53,17
Standart sapma	29587,02	1,64	1,50	17071,64	1,59	0,29
<i>SN</i>	-95,09	-39,06	33,53	-87,41	-38,26	34,51

Tablo 17. Fark Değerleri

		Başlangıç	Öneri	Fark (dB)
<i>MY</i>	Ortalama	51411,00	18883,33	32527,67
	Standart sapma	29587,02	17071,64	12515,38
	<i>SN</i>	-95,09	-87,41	-7,68
<i>MS</i>	Ortalama	89,73	81,80	7,93
	Standart sapma	1,64	1,59	0,05
	<i>SN</i>	-39,06	-38,26	-0,8
<i>AG</i>	Ortalama	47,50	53,17	-5,67
	Standart sapma	1,50	0,29	1,21
	<i>SN</i>	33,53	34,51	-0,98

7. SONUÇ

Bu çalışma ile bir işletmede üretilen Adana kebab hazır gıda ürününün buhar fırınında üretim parametrelerinin en iyi değerlerinin belirlenmesi için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. En iyilenmesi amaçlanan kalite karakteristikleri mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlıktır. Bu çalışma ile literatürde tavuk ürünleri için yapılan çalışmalardan farklı olarak Adana kebab ürünü incelenmiş ve üç ayrı kalite karakteristiklerinin çok yanıtlı birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Kalite karakteristiklerinin değerlendirilmesinde *SN* oranları dikkate alınmış öncelikle Ortalama ve Varyans analizleriyle tek yanıtlı çözümler geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda kalite karakteristikleri için faktör düzeyleri önerileri farklılık göstermiştir. Ayrıca farklı faktör ve etkileşim etkilerinin anlamlı olduğu görülmüştür. Bu nedenle problem çok yanıtlı eniyileme problemine dönüştürülmüştür. Problemin çözümü için de çekicilik fonksiyonu ile kayıp fonksiyonu yaklaşımları birlikte kullanılmıştır. Her iki yöntem ile aynı öneri üretim değerleri elde edilmiştir. Yapılan ölçümlere göre buharlı fırında 2,5 dk.; 205 °C; ve 1250 l/dk. fan hızı düzeylerinde yapılacak pişirme ile Tavuk Adana Kebab üretiminde mikrobiyolojik yük, merkez

sıcaklığı ve ağırlık karakteristiklerinin eş anlı olarak en iyi değerleri alacağı sonucuna varılmıştır. Bu öneri düzeyleri ile yapılan doğrulama deneyleri sonucunda da öneri düzeyleri ile yapılacak üretimin başlangıç koşullarına göre ürün kalitesinde artış sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu çalışma elde edilen olumlu sonuçlara bağlı olarak öncelikle benzer ürünlerde ve üretim süreçlerinde, daha sonra gıda sektöründeki ya da hizmet ve sanayi sektöründeki diğer işletmelerde kullanım için örnek olabilecektir. Eş zamanlı eniyileme çalışmaları farklı endüstri alanlarında özellikle kalitenin geliştirilmesi için farklı faktörlerin aynı anda değerlendirilmesini sağlamada etkili bir yaklaşım sunacaktır. Üretim kalitesinin çok yönlü olarak artırılması rekabet eden her işletme için önem taşımaktadır ve yapılan çalışma kalitenin sadece kontrol aşamasında değil, tasarım ve geliştirme sırasında da geliştirilebileceğini göstermektedir. Ürünlerin eşzamanlı olarak birden çok kalite karakteristiğine ilişkin en iyi değerleri sağlaması, üretimin hedef değerde ve düşük değişkenlikle gerçekleştirilmesi müşteri şikâyetlerinde önemli bir düşüğe neden olacak, aynı zamanda üretim maliyetlerini de azaltarak işletme karlılığını arttıracaktır.

KAYNAKÇA

1. Akteke-Öztürk, B., Weber, G.W. ve Köksal G. (2009) Çekicilik fonksiyonlarının bileşke fonksiyonlar olarak çözümlenmesi, Yöneylem Araştırması Ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi (YA/EM 2009), Ankara, Türkiye, Haziran 22-24, 2009.
2. Aytekin, A. G. Ç. (2011) Robotik gazaltı köşe kaynak işleminin Taguchi yöntemi ile eniyilenmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 9(15), 7-28.
3. Bautista, D. A., Sylvester, N., Barbut, S. and Griffiths, M. W. (1997) *The Determination Of Efficacy Of Antimicrobial Rinses On Turkey Carcasses Using Response Surface Designs International Journal Of Food Microbiology*, Volume 34, Issue 3, 3 March, Pages 279-292. doi: 10.1016/S0168-1605(96)01201-9
4. Baynal, K., (2003) Çok yanıtli kalite karakteristiklerinin eşzamanlı eniyilenmesinde Taguchi yöntemi, *IV. Endüstri İşletme Mühendisliği Kurultayı*, 12-13 Aralık.
5. Baynal, K., Gencel İ. (2015) Taguchi yönteminin gıda sektöründe çok yanıtli problemin eniyilenmesinde uygulanması, *SAÜ Fen Bil Der*, 19(1), 107-121.
6. Byun, J. H., & Kim, K. J. (1998) On robust design for multiple quality characteristics. In *Quality Improvement Through Statistical Methods* (pp. 289-297). Birkhäuser, Boston, MA.
7. Danacıoğlu, N., & Muluk, F. Z. (2005) Taguchi techniques for 2k fractional factorial experiments. *Hacettepe Journal Of Mathematics And Statistics*, Volume 34, 85-93.
8. Del Castillo, E., Montgomery, D. C., & McCarville, D. R. (1996) Modified desirability functions for multiple response optimization. *Journal of Quality Technology*, 28(3), 337-345.
9. Derringer, G. (1980) Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214-219.
10. Derringer, G.C.: (1994) A balancing act: optimizing a product's properties, *Quality Progress*, 27(6), 51-58.
11. Ferah, M. (2003) Çok yanıtli Taguchi deneysel tasarım metodu ve alüminyum sanayinde bir uygulama. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 61-69.

12. Fowlkes, W. Y., & Creveling, C. M. (1995) *Engineering Methods For Robust Product Design: Using Taguchi Methods In Technology And Product Development*. Addison-Wesley.
13. Gómez-Ariza, J. L., García-Barrera, T., Lorenzo, F., & González, A. G. (2005) Optimisation of a pressurised liquid extraction method for haloanisoles in cork stoppers. *Analytica Chimica Acta*, 540(1), 17-24. doi:10.1016/j.aca.2004.08.031
14. Hasgül Ö., (2010) Üretim parametrelerinin güçlü tasarımı ve bir gıda işletmesinde uygulanması, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.
15. Hasgül, Ö. (2011) Ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde deney tasarımı: gıda sektöründe bir uygulama. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 9(15), 42-67.
16. Houg, J. Y., Hsu, H. F., Liu, Y. H., & Wu, J. Y. (2003) Applying the Taguchi robust design to the optimization of the asymmetric reduction of ethyl 4-chloro acetoacetate by bakers' yeast. *Journal of Biotechnology*, 100(3), 239-250. doi:10.1016/S0168-1656(02)00179-7
17. Hsieh, K. L., Tong, L. I., Chiu, H. P., & Yeh, H. Y. (2005) Optimization of a multi-response problem in Taguchi's dynamic system. *Computers & Industrial Engineering*, 49(4), 556-571. doi: 10.1016/j.cie.2005.08.002
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121205-12.htm>
18. Khuri, A. I. (1990) Analysis of multi-response experiments: a review. Edited By Subir Ghosh *Statistical Design And Analysis Of Industrial Experiments*, Marcel Dekker Inc, USA, pp. 533.
19. Khuri, A. I.; Conlon, M. (1981) Simultaneous optimization of multiple responses represented by polynomial regression functions. *Technometrics*, 23.4: 363-375. doi:10.1080/00401706.1981.10487681
20. Kılınççeker, O., Hepsağ, F., & Kurt, Ş. (2015) The effects of lentil and chickpea flours as the breeding materials on some properties of chicken meatballs during frozen storage. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 580-585. doi:10.1007/s13197-013-1019-6
21. Kim, Kyu-Seob., Kim, K. S., Lee, B. H., & Lee, B. H. (2017) Taguchi Robust Design For The Multi-Response With Consideration For The Manufacturing Tolerance Used In High Speed Air Blower Motor. In *Electric Machines And Drives Conference (IEMDC), 2017 IEEE International*, pp. 1-7.
22. Kim, M., Rao, A. S., & Yoo, C. (2009) Dual optimization strategy for N and P removal in a biological wastewater treatment plant. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(13), 6363-6371. doi: 10.1021/ie801689t
23. Koç, B., & Kaymak-Ertekin, F. (2010) Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. *GIDA/The Journal of FOOD*, 35(1).
24. Lagarias, J. C., Reeds, J. A., Wright, M. H., & Wright, P. E. (1998) Convergence properties of the Nelder--Mead simplex method in low dimensions. *SIAM Journal on optimization*, 9(1), 112-147. doi: 10.1137/110830150
25. Lemos, A. L. S. C., Nunes, D. R. M., & Viana, A. G. (1999) Optimization of the still-marinating process of chicken parts. *Meat Science*, 52(2), 227-234. doi:10.1016/S0309-1740(98)00172-7

26. Microsoft Excel, Microsoft Corporation, Redmond, WA.
27. Minitab.inc MINITAB Statistical Software. USA.
28. Montgomery, D. C. (2001) *Design And Analysis Of Experiment*, New York, John Wiley&Sons.
29. Myers, R., Montgomery D. C. (2002) *Response Surface Methodology Process And Product Optimization Using Designed Experiments*, Second Edition, John Wiley&Sons, pp. 798.
30. Nelder, J. A., Mead R. (1965) A simplex method for function minimization”, *The Computer Journal*, 7(4), pp.308-313. doi:10.1093/comjnl/7.4.308
31. Noorossana, R., Tajbakhsh, S. D., & Saghaei, A. (2009) An artificial neural network approach to multiple-response optimization. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(11-12), 1227-1238. doi:10.1007/s00170-008-1423-7
32. Orhunbilge, N. (2000) *Örnekleme Yöntemleri Ve Hipotez Testleri*, Avcıol Basım Yayın, İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadı, Yayın No: 8, S. 420.
33. Ortiz Jr, F., Simpson, J. R., Pignatiello Jr, J. J., & Heredia-Langner, A. (2004) A genetic algorithm approach to multiple-response optimization. *Journal of quality technology*, 36(4), 432. doi:10.1080/00224065.2004.11980289
34. Özler, C., & Şenyay, I. (2013) Çok cevaplı süreçlerin optimizasyonu üzerine bir inceleme. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(2).
35. Park, Sung H. (1996) *Robust Design And Analysis For Quality Engineering*, Chapman & Hall, London, UK, pp. 318.
36. Phadke, M.S. (1989) *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs New Jersey 07632, pp. 334.
37. Sait, A. N., Aravindan, S., & Haq, A. N. (2009) Optimisation of machining parameters of glass-fibre-reinforced plastic (GFRP) pipes by desirability function analysis using Taguchi technique. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 43(5-6), 581. doi:10.1007/s00170-008-1731-y
38. Sauer, D. G. (1999) Using the Taguchi loss function to reduce common-cause variation. *Quality Engineering*, 12(2), 245-252. doi:10.1080/08982119908962581
39. Soh, W., Kim, H., & Yum, B. J. (2016) A multivariate loss function approach to robust design of systems with multiple performance characteristics. *Quality and Reliability Engineering International*, 32(8), 2685-2700. doi: 10.1002/qre.2038
40. Stat-EaseInc.(Design-Expert®),Minneapolis,MN. <http://www.statease.com/> (Erişim:30.01.2018) http://www.statease.com/docs/v11/contents/optimization/numerical_optimization_algorithm.html
41. Taguchi, G. (1995) Quality engineering (Taguchi methods) for the development of electronic circuit technology. *IEEE Transactions on Reliability*, 44(2), 225-229.
42. Taguchi, G., & Clausing, D. (1990) Robust quality. *Harvard business review*, 68(1), 65-75.
43. Taguchi, G., Chowdhury, S., & Taguchi, S. (2000) *Robust engineering: learn how to boost quality while reducing costs & time to market*. McGraw-Hill Professional Pub.
44. Taner, T., & Antony, J. (2006) Applying Taguchi methods to health care. *Leadership in Health Services*, 19(1), 26-35. doi:10.1108/13660750610643831
45. TMMOB Gıda Mühendisleri Odası, Türk Gıda Kodeksi Et Ve Et Ürünleri Tebliği (Tebliğ No: 2012/74) (Erişim: 29.01.18)

46. Tong, L. I., & Su, C. T. (1997) Optimizing multi-response problems in the Taguchi method by fuzzy multiple attribute decision making. *Quality and reliability engineering International*, 13(1), 25-34. doi:10.1002/(SICI)1099-1638(199701)13:1<25::AID-QRE59>3.0.CO;2-B
47. Ünlütürk, A., Turantaş F. (2002) *Gıdaların Mikrobiyolojik Analizi*, İkinci Baskı, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri Bornova İzmir, S.186.
48. Vining, G. G. (1998) A compromise approach to multiresponse optimization. *Journal of Quality Technology*, 30(4), 309-313. doi:10.1080/00224065.1998.11979867
49. Vural, A. Mete, K. Bayındır Ç., Tümay M. (2009) 12 darbeli bir statcom için denetleyici ve filtre parametrelerinin simplex yöntemi ile optimizasyonu. *Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi*, ODTÜ KKM, Ankara, 23-26 Aralık 2009.
50. Yoon, H. S., & Yum, B. J. (2007) Robust design of communication systems: The case of expedited forwarding of voice traffic in differentiated services networks. *International Journal of Communication Systems*, 20(10), 1131-1154. doi: 10.1002/dac.866
51. Zorba, Ö., & Kurt, Ş. (2006) Optimization of emulsion characteristics of beef, chicken and turkey meat mixtures in model system using mixture design. *Meat science*, 73(4), 611-618. doi:/10.1016/j.meatsci.2006.02.017