



## Multi response robust optimization of nugget steam cooking process parameters

Özlem Kuvat\*

Balikesir University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, Balikesir, 10145, Turkey

### Highlights:

- Robust multi-response parameter design in Nugget production
- Robust multi-response optimization with desirability function
- Sorting by MOORA and ARAS

### Keywords:

- Multi response robust optimization
- Desirability function
- MOORA
- ARAS
- Coated chicken nuggets meatballs

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, microbiological load (ML), core temperature (CT) and weight (WE) performance characteristics of nugget coated product were evaluated simultaneously. The process followed for the robust design is shown in Figure A.

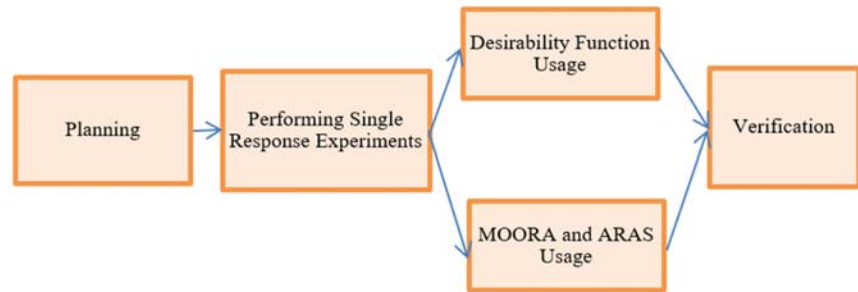


Figure A. Proposed Robust MRO model for Nugget production parameter design

### Article Info:

Research Article  
Received: 30.07.2019  
Accepted: 15.12.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.598671

### Correspondence:

Author: Özlem Kuvat  
e-mail:  
ohasgul@balikesir.edu.tr  
phone: +90 266 249 6535

**Purpose:** The aim of this study is to improve performance characteristics of nugget meatball coated product. For this purpose, a robust multi-response optimization of the appropriate levels of production parameters in the steam hot oven cooking stage is aimed.

### Theory and Methods:

In this study, single-response optimization was performed using Taguchi method and ANOVA analysis. Simultaneous optimization of the three performance characteristics in the solution of the multi-response optimization problem was achieved by the use of the desirability function based on SN ratios and the use of multiple criteria decision making methods, MOORA and ARAS.

### Results:

As a result of the study, the parameter values in which products with better characteristics than those produced in the initial conditions were produced were proposed.

### Conclusion:

One of the most important contributions of the study is that Taguchi is a robust design method in combination with desirability function and ARAS and MOORA multi-criteria decision making methods in solving multi-response optimization problem.



## Nugget buharlı pişme süreç parametrelerinin çok yanıtı güçlü eniyilenmesi

Özlem Kuvat\*<sup>ID</sup>

Balıkesir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, 10145 Balıkesir, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Nugget üretiminde çok yanıtı güçlü parametre tasarımı
- Çekicilik fonksiyonu ile çok yanıtı güçlü eniyileme
- MOORA ve ARAS ile sıralama

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 30.07.2019

Kabul: 15.12.2019

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.598671

#### Anahtar Kelimeler:

Çok yanıtı güçlü eniyileme,  
çekicilik fonksiyonu,  
oran analizi temeline dayalı  
çok amaçlı optimizasyon,  
katkı oranı değerlendirme,  
kaplamalı piliç nugget köfte

#### ÖZET

Gıda ürünlerinin kalitesinin geliştirilmesinde üretim parametrelerinin en iyi değerlerinin bulunması için deney tasarımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak Taguchi güçlü tasarım ve çok yanıtı optimizasyon uygulamalarının eşanlı kullanımı yaygın değildir. Bu çalışmada bir gıda işletmesinde üretilen nugget kaplamalı ürünlerinin kalitesinin artırılması için üretim parametrelerinin uygun düzeylerinin bulunması amaçlanmıştır. Üretim kalitesinin geliştirilmesinde kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin etkilerine karşı güçlü tasarımın sağlanması için buharlı pişirme fırınındaki süre, sıcaklık ve fan hızı parametrelerinin en uygun düzeyleri bulunmaya çalışılmış; mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık performans karakteristiklerinin en iyi değerleri araştırılmıştır. Çok yanıtı eniyileme probleminin çözümünde üç performans karakteristiklerinin eşzamanlı en iyilenmesi SN oranlarına dayalı çekicilik fonksiyonu ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden oran analizi temeline dayalı çok amaçlı optimizasyon MOORA ve katkı oranı değerlendirmesi ARAS'ın kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. Çekicilik fonksiyonu ile MOORA ve ARAS'ın kullanımıyla önerilen düzeylerin aynı olduğu görülmüş ve bu düzeyler için doğrulama deneyleri yapılmıştır. En son olarak elde edilen sonuçlarla başlangıç üretim koşulları sonuçları karşılaştırılmıştır.

## Multi response robust optimization of nugget steam cooking process parameters

### H I G H L I G H T S

- Robust multi-response parameter design in Nugget production
- Robust multi-response optimization with desirability function
- Sorting by MOORA and ARAS

#### Article Info

Research Article

Received: 30.07.2019

Accepted: 15.12.2019

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.598671

#### Keywords:

Multi response robust  
optimisation,  
desirability function,  
multi-objective optimization  
by ratio analysis,  
additive ratio assesment,  
coated chicken nuggets  
meatballs

#### ABSTRACT

Experimental design is widely used to improve the quality of food products in order to find the best values of the production parameters. However, the simultaneous use of Taguchi's robust design and multi-response optimization applications are not common. In this study, it was aimed to find the appropriate levels of production parameters in order to increase the quality of nugget coated products produced in a food operation. In order to ensure a strong design against the effects of uncontrollable noise factors in the improvement of production quality, the optimum levels of the duration, temperature and fan speed parameters in the steam cooking furnace were tried to be found; microbiological load, center temperature and weight quality characteristics were investigated. Simultaneous optimization of the three performance characteristics in the solution of the multi-response optimization problem was achieved by the use of the desirability function based on SN ratios and the use of multi-objective optimization by ratio analysis MOORA and additive ratio assesment ARAS, multi criteria decision making methods. The desirability function and the levels suggested by the use of MOORA and ARAS were found to be the same and validation experiments were conducted for these levels. Finally, the results obtained were compared with the initial production conditions.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ohasgul@balikesir.edu.tr / Tel: +90 266 249 6535

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hazır gıda sektöründe üretilen ürünlerin kalitesinin artırılması müşterilerin bu ürünlere ilişkin beklentilerinin artışı ile birlikte gittikçe önem kazanan bir konu olmuştur. Kaplamalı nugget köfte ürünü de hazır gıda sektöründe tüketicilerin rağbet gösterdiği ürünlerdendir. Ürünü uygun bir fiyata, uzun tüketim ömrüne sahip olarak ve çeşitli duyuşsal özellikleri de sağlayarak satın almak müşterilerin önemli bir beklentisidir. Bu nedenle nugget köfte gibi işlenmiş ürünler üreten hazır gıda üretim işletmeleri için bu beklentileri karşılamak üzere üretim süreçlerinde gerekli düzenlemeleri sağlayarak kontrol edilebilen değişkenler olarak adlandırılan üretim parametrelerinin optimizasyonunu sağlamak ve kontrol edilemeyen gürültü değişkenlerinin etkisini azaltmak önemli bir hedef haline gelmiştir. Bu amaçların sağlanması için güçlü tasarım, işletmeler için çok kullanışlı bir yöntemdir. Ayrıca, üretim parametrelerinin en uygun düzeylerinin saptanmasında yapılması gereken deney sayısını azaltarak çok etkili sonuçlar sunmaktadır.

Güçlü tasarım, ürün performansının gürültüden minimum düzeyde etkilenmesini sağlayan bir süreçtir. Tasarım performansının gürültüden en düşük düzeyde etkilenmesini sağlamak için gerçek gürültü kaynaklarının elimine edilmesiyle ve ürünün gürültü kaynağına duyarlılığının elimine edilmesiyle sağlanabilir [1]. Güçlü tasarım uygulamalarının çoğu tek yanıt problemleri eniyileme amacı üzerine kurulmuştur. Buna karşın ürün tasarımının artan karmaşıklığı nedeniyle, ürün kalitesini artırmak için birden fazla performans karakteristiğinin eşzamanlı eniyilenmesi gereksinimi duyulmaya başlanmıştır. Ancak en iyi parametre düzeylerinin her yanıt için farklılık göstermesi ve bu yanıtlar arasında olabilecek ilişki durumu problemi karmaşık hale getirmektedir [2]. Literatürde farklı alanlarda bu tür problemlerin çözümüne uygun olarak çok yanıt en iyileme (Multi-Response Optimizations, MRO) [4], çok karakteristikli güçlü tasarım, (Multi-Characteristic Robust Design, MCRD) [3], çok yanıt güçlü eniyileme (Multi Response Robust Optimisation, MRRO) başlıkları altında çözümler geliştirilmektedir [5].

Hazır gıda ürünlerinden beyaz et ürünlerinin talebi gün geçtikçe artış göstermektedir. Özellikle nugget ürünü hazırlama kolaylığı ve çocukların ilgisi nedeniyle talebi yüksek oranlı olan kaplamalı ürünlerdendir. Bu nedenle literatürde beyaz et ürünlerinin yanı sıra nugget için de özel olarak çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Ancak; uygulama zorluğu nedeniyle beyaz et ve nugget konusunda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu tek yanıt analizlere yönelik geliştirilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, beyaz et ürünlerinin üretim kalitesinin artırılmasına ilişkin yapılan çalışmaların büyük bir kısmının gıda bileşenlerinin etkilerinin analiz edilmesine, pişirme farklılıklarına ve ürünlerin mikrobiyolojisinin araştırılmasına yönelik olduğu görülmektedir. Beyaz et için yapılan çalışmalara Dogan vd.'nin [6] derin yağda

kızartılmış tavuk nuggetlerin kalitesi üzerinde soya ve pirinç unu eklenmesinin etkilerinin incelendiği çalışması, Hasgül'ün [7] şekillendirilmiş Urfa Kebap beyaz et ürününün en uygun ağırlığa sahip olarak pişirilmesi amacıyla üretim parametre değerlerinin araştırıldığı çalışması, Ayrıca; Kuvat'ın [8] tavuk etinden üretilmiş Adana Kebap ürünü buharlı pişme parametreleri için MRO ve çekicilik fonksiyonu kullanımıyla elde ettiği sonuçları Taguchi Kayıp fonksiyonu yaklaşımı sonuçlarıyla karşılaştırdığı çalışma verilebilir. Nugget ürünleri için yapılan çalışmalara da örnek olarak Prinyawiatkul vd.'un [9] nuggetlere eklenen fermente edilmiş bürölce ve fıstık unlarının lezzet ve doku kabul edilebilirliğini araştırıldığı çalışması, Evanuarini'nin [10] nuggetlarda farklı pişme süre ve sıcaklık değerlerinin tasarım çalışması, Yogesh vd.'nin [11] nuggetlerin yağ ve değişik tuz içeriklerinden etkilenme durumunu araştırıldığı çalışması, Luckose vd.'nin [12] düşük tuz miktarı ile nugget üretimi için yanıt yüzeyi yöntemi çalışması, Arshad vd. (2017)'nin [13] buğday tohumu yağı ve  $\alpha$ -lipoik asidin tavuk nuggetleri üzerindeki kalite özellikleri, antioksidan durumu, yağ asidi profili ve duyuşsal özelliklerine olan etkisini araştırıldığı çalışma, Pathera vd.'nin [14] fırın, buhar ve mikrodalga yöntemleriyle pişirilmiş tavuk nuggetlerinin içerdiği malzemelerin (yumurta sarısı, yağ buğday kepeği) kalite özelliklerine etkisini yanıt yüzeyi yöntemi ile değerlendirdiği çalışma, Madane vd.'nin [15] nuggetlerde antioksidan olarak moringa kullanımını araştırıldığı çalışma, Pinkaew vd.'nin [16] üç farklı pirinç çeşidinden hazırlanan pirinç unu bazlı hamurun nugget ürünleri için kullanımını araştırıldığı çalışma verilebilir. Literatürde yer alan bu çalışmalar daha çok nuggetların hazırlanmasında kullanılan gıda bileşenlerinin kalitesine etkileri üzerinedir. Bu çalışmada ise nugget ürününün üretim parametrelerinin güçlü tasarımı amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın literatürde yapılan çalışmalara göre farklarından biri nugget ürününün kalitesinin artırılması için aynı anda üç farklı performans karakteristiğinin eşanlı olarak eniyilenmesinin hedeflenmesi ve en uygun üretim parametrelerinin belirlenmesinde çok yanıt güçlü tasarım yönteminin kullanılmasıdır. Taguchi güçlü tasarım yönteminin kullanılmasının bir amacı aynı anda hem hedef değerin hem de değişkenliğin *SN* (Sinyalin gücü/gürültünün gücü) oranlarıyla temsilini sağlamaktır. Çalışmanın bir diğer farklılığı da tek fonksiyon dönüşümünün yapılmasında çekicilik fonksiyonu kullanımının yanı sıra ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden oran analizi temeline dayalı çok amaçlı optimizasyon MOORA ve katkı oranı değerlendirmesi ARAS ile de çözümünün gerçekleştirilmesidir. Gıda sektöründe çalışmanın yenilik getirmesi amaçlanmış ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması da hedeflenmiştir.

Bu çalışmada uygulama işletmesi olarak Türkiye, Balıkesir'de bulunan ve gıda sektöründe yer alan, performans karakteristiğinin iyileştirilmesinde müşterileri beklentilerine önem verilen, bir beyaz et (broiler) üreticisi seçilmiştir. Ele alınan ürün işletmede talebi yüksek olan

şekillendirilmiş ileri işlem ürünlerinden olan nugget köfte kaplamalı ürünüdür. Bu çalışmanın amacı nugget köfte kaplamalı ürününün performans karakteristiklerinin iyileştirilmesine yönelik olarak buhar fırınında pişme aşamasındaki üretim parametrelerinin uygun düzeylerinin çok yanıtlı güçlü eniyileme ile belirlenmesidir.

Çalışmanın birinci bölümünde güçlü tasarımda çok yanıtlı en iyileme ve çekicilik fonksiyonu ve MOORA ile ARAS yöntemleri incelenmiş, ikinci bölümünde nugget köfte ürününün mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık performans karakteristiklerinin en iyi değerlerini elde etmek için kullanılan malzemeler ve yöntem tanıtılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde güçlü tasarım aşamaları yürütülmüş, dördüncü bölümünde çok yanıtlı analizler ile tek fonksiyon dönüşümleri yapılmış ve doğrulama deneyleri sonucunda elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

## 2. GÜÇLÜ TASARIMDA ÇOK YANITLI ENİYİLEME (MULTI-RESPONSE OPTIMIZATION IN ROBUST DESIGN)

Ürün veya süreç tasarımında genellikle çok sayıda performans 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 çalışılmasıdır. Bir performans karakteristiğini en iyileyen kontrol faktörü düzeyi diğer karakteristik değerinin kötüleşmesine neden olabilmektedir.

Çok yanıtlı en iyileme problemlerinin çözümünde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin 3 ayrı grup halinde değerlendirilmesi mümkündür [17]:

Bu yöntemlerden birincisi hedeflerin eş zamanlı olarak karşılandığı bölgelerin tanımlanıp eş yükselti eğrilerinin kullanıldığı (overlying the contour plots) grafiksel yöntemdir [18].

Bir diğer yaklaşım probleminin sınırlandırılmış optimizasyon problemine dönüştürülmesidir. Bu yaklaşımda bir karakteristik amaç olarak değerlendirilmekte diğer karakteristikler de kısıtlara dönüştürülmektedir. Örnek olarak; Tong, Wang, Houng ve Chen [19] bu tür problemlerin çözümü için ikil yanıt yöntemini kullanmışlardır. Ancak bu durumda karakteristiklerin eş anlı olarak değerlendirilmesi zorlaşmaktadır ve yanıtların arasındaki korelasyonlar dikkate alınamamaktadır. Ayrıca üretim problemlerinde karakteristiklerin amaç fonksiyonuna dönüştürülmesinde problemler yaşanabilmektedir [20, 21].

Üçüncü teknikte çoklu yanıtlar tek bir değere kombine edilmektedir. Bu amaçla Khuri ve Conlon [22] uzaklık ölçüsüne dayanan genelleştirilmiş aralık/uzaklık fonksiyonu kullanmayı önermiştir. Vining [23] ise kayıp fonksiyonu için uzaklık ölçüsü yaklaşımın özel bir biçimini geliştirmiştir. En yaygın olarak kullanılanlardan bir diğer yaklaşım ise çekicilik fonksiyonu (desirability) yaklaşımıdır. Bu

yaklaşımda çok değişkenli optimizasyon problemi tek değişkenli hale dönüştürülerek tek değişkenli arama teknikleriyle çözülebilmektedir [24]. Çekicilik fonksiyonu yaklaşımı kolay anlaşılabilir ve kolay kurulabilir bir yapıya sahiptir, çözülmesi için uygun yazılımlar bulunmaktadır ve her bir yanıtın önem derecesine göre ağırlıklandırılmasını sağlayacak esnekliği sağlamaktadır [17]. Ayrıca modelin derecesinin yüksek olduğu durumlar için ve yanıt sayısının çok olduğu durumlarda da hesaplama etkinliğine sahip bir yaklaşımdır [25].

Son dönemlerde çoklu yanıtların tek değere dönüştürülmesi için ve performans karakteristiklerinin uygun düzeylerinin belirlenmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden de yararlanılmaktadır. Literatürde çok kriterli karar verme yöntemleri içinde en yaygın olarak TOPSİS, Fuzzy TOPSİS ve Taguchi TOPSİS yöntemiyle yapılan çalışmalar bulunmaktadır Tong ve Su [26] Taguchi'nin kuadratik kayıp fonksiyonunun ve TOPSİS yönteminin benzer özelliklere sahip olduğunu ortaya koymuşlar, Wang vd. [27] aralık numaraları ile yanıt yüzeyi yöntemi problemleri için TOPSİS'e dayalı yeni bir yöntem sunmuşlardır. Şimşek ve Uygunoğlu [28] polimer karışımı betonun çoklu yanıt optimizasyonu için TOPSİS tabanlı Taguchi uygulaması gerçekleştirmişler, Nguyen vd. [29] yüzey pürüzlülüğü ve yüzey mikro sertliği için proses parametrelerinin çoklu yanıt optimizasyonunda Taguchi TOPSİS kullanmışlardır. Bigus vd. [30] TOPSİS'in deney tasarımı ile kombinasyon halinde analitik ekstraksiyon yöntemi geliştirmede başarıyla uygulanabileceğini göstermişler, Debnath vd. [31] Fuzzy-TOPSİS kullanılarak Al-4.5 Cu-SiC kompozitinin elektro deşarj işleme prosesi için çok amaçlı karar verme optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca; diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden bazıları da kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin; İç ve Yıldırım [32] yaptığı çalışmada gri ilişkisel analiz (GRA), TOPSİS ve VIKOR, Peng vd. [33], çok yanıtı problem için Fuzzy Taguchi VIKOR, Tipathy vd. [34] GRA ve TOPSİS yöntemini kullanmışlardır. Gadakh [35] 2010 yılı çalışmasında altı üretim ile ilişkili karar alma problemi için MOORA yönteminin uygulanabilirliğini, potansiyelini ve esnekliğini göstermişlerdir. İç ve Yıldırım [36] 2013 yılı çalışmalarında MOORA yöntemini dört farklı örnek için TOPSİS, VIKOR ve GRA yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. *SN* oranlarını kullanarak elde ettikleri sonuçlara göre çözümlerde anlamlı bir fark oluşmamıştır. Ancak, Taguchi MRO problemlerinin çözümünde MOORA yöntemini hesap süresini anlamlı düzeyde azalttığı için yeni bir araç olarak önermişlerdir. Özellikle makine imalat ve elektronik sektöründe üretim parametrelerinin belirlenmesi amacıyla MOORA yönteminin kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Örneğin; Maity ve Pradhan [37] en uygun kesme parametrelerini Taguchi yöntemi ile birleştirilmiş MOORA kullanılarak elde etmişler, Khan ve Maity [38] konvansiyonel olmayan bazı makinelerin parametrik optimizasyonu için MOORA kullanmışlar, Majumder ve Maity [39] yüzey pürüzlülüğünün ve mikro sertliğin tahmin ve optimizasyonunu Fuzzy MOORA ile sağlamışlardır. Ayrıca; Shihab vd. [40] paslanmaz çelik kaplamada, Basha

vd. [41] EDM süreç parametrelerinin çok yanıtli optimizasyonunda MOORA yöntemini uygulamışlardır.

Çevre ve kirlilik konusunda hazırlanan ve gıda sektörü ile ilgili olan Tamrin vd. [42]'nin MOORA yöntemiyle palm yağı değirmeninde atık yağı pıhtılaşması çalışmasında altı yanıt için 5 farklı tipteki pıhtılaştırıcı arasından seçim yapılmıştır. ARAS yönteminin kullanımı ise Singaravel vd. [43] tarafından tornalama işleminde kaplamalı takım için üretim parametrelerinin belirlenmesinde ve Kumar vd. [44] tarafından EDM (electro discharge machine) süreç parametrelerinin belirlenmesinde gerçekleştirilmiştir. Kumar vd. üç yanıtın eşanlı olarak değerlendirilmesi için AHP-ARAS yöntemi ile Taguchi ortogonal dizinini kullanmış, duyarlılık analizi ile değerlendirme yapmışlar ve bu yöntemin kullanışlı olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışma gıda sektöründe MRO probleminin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanımına bir örnek oluşturacaktır. Çalışmada belirtilen bu özelliklerden dolayı çok yanıtli en iyileme probleminin çözümü için çoklu yanıtli tek fonksiyonla ifade etme yaklaşımı belirlenmiş ve bu fonksiyonlar içinde de sağladığı avantajlardan dolayı çekicilik fonksiyonunun ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden MOORA ve ARAS'ın kullanılması tercih edilmiştir. Bu çalışmada üç ayrı yöntemin kullanılmasıyla gıda sektöründe performans karakteristiklerinin en uygun değerlerinin bulunması için Taguchi ortogonal dizinlerinin ve SN oranlarının kullanımıyla güçlü tasarım uygulaması yapılması amaçlanmıştır. Her bir yöntemde Taguchi SN oranları dikkate alınabildiğinden güçlü tasarım amacına uygun şekilde sağlanabilecektir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinde fayda yönlerinin değerlendirilmesinde SN oranları kullanıldığında, her bir karakteristik için SN oranının maksimum değeri isteneceği için bu tür problemlerin çözümünde Taguchi güçlü tasarımının kullanılmasının avantajları olacaktır [37].

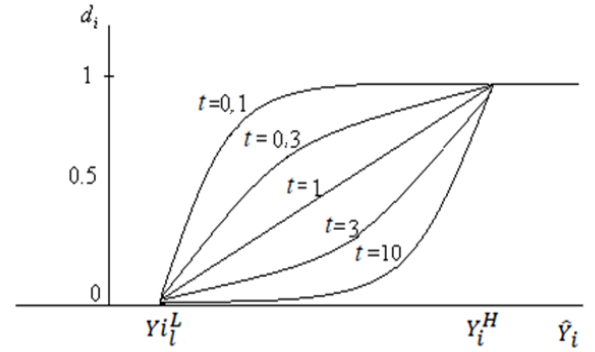
### 2.1. Çekicilik Fonksiyonu (Desirability Function)

Çekicilik fonksiyonu yaklaşımı Derringer ve Suich [24] tarafından 1980 yılında bir dönüşümü önerilen en yaygın kullanılan çok yanıtli en iyileme tekniklerinden birisidir. Tahmin edilen yanıt değişkeni  $\hat{Y}_i$ 'nin  $[0,1]$  aralığında değer alabilen bireysel bir çekicilik değeri  $d_i$ 'ye dönüştürülmesinde tek taraflı enbüyükleme yapısı aşağıda Eş. 1'de verilmektedir (Enküçüklenme yapısı için  $-\hat{Y}_i$  dikkate alınmalıdır). Burada  $y_i^H$  enbüyük değeri verirken,  $y_i^L$  kabul edilebilir enküçük değeri vermektedir [45, 46]:

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

Dönüşümde kullanılan  $t$  ağırlık değeri de uygulayıcı tarafından belirlenebilen hedef değere ulaşmanın ne kadar önemli olduğunu ve bu yanıtın ürünün toplam istenme derecesindeki rolünü belirleyen bir dönüşüm değeridir. Eğer

$\hat{Y}_i$ 'nin arzu edildiği değere çok yakın olması isteniyorsa,  $t$ 'nin büyük bir değerinin seçilmesi gerektiği görülmektedir. Başka bir deyişle  $Y_i^L$  ürünün kabul edilmesi için yeterli olsa bile  $\hat{Y}_i$ 'nin  $Y_i^L$ 'den dikkate değer ölçüde büyük olması durumunda, ürünün çekicilik değeri büyük ölçüde artar. Örneğin karar verici kalite karakteristiği için belli bir kabul değerinin çok üzerindeki değerleri tercih edebilir. Bu durumda  $t$ 'nin derecesi oldukça yüksek bir değeri, örneğin  $t=10$  seçilebilir. Burada, çekicilik derecesi  $d_i$ ,  $\hat{Y}_i$ 'nin artışına göre daha yavaş bir hızla artış gösterecektir. Bu nedenle,  $d_i$ 'yi ve  $D$ 'yi en büyükmek için  $\hat{Y}_i$ ,  $Y_i^L$ 'in çok üzerinde olmalıdır. Diğer taraftan  $\hat{Y}_i$ 'nin  $Y_i^L$ 'in çok üzerinde olması çok önemli bulunmuyorsa  $t$  için küçük bir değer belirlenebilir. Örneğin  $t=0,1$ ;  $Y_i^L$ 'in üzerindeki herhangi bir  $\hat{Y}_i$  değerinin,  $Y_i^L$ 'in üzerindeki diğer başka  $\hat{Y}_i$ 'lerle hemen hemen aynı çekicilik derecesinde olduğu anlamını taşır. Tek taraflı dönüşümlerde bireysel çekicilik fonksiyonu  $d_i$ 'nin farklı  $t$  değerleri için grafiği Şekil 1.'de verilmektedir [46].



Şekil 1. Tek Taraflı Dönüşüm Grafiği (Graph of One Sided Transformation)

Güçlü tasarım için çekicilik fonksiyonunun uygulanmasında ise çekicilik fonksiyonu oluşturulurken SN oranları kullanılmaktadır. Bir güçlü tasarım probleminde  $p$  performans karakteristiği ve  $m$  deney sayısı olduğunda,  $l$ . performans karakteristiği ve  $i$ . deneysel koşul için  $SN_{il}$  elde edilmelidir. ( $i=1,2,\dots,m$ ;  $j=1,2,\dots,p$ ) notasyonu  $i$ . faktör düzey kombinasyonunu içeren  $j$ .nci yanıt değerini ifade etmektedir. Çekicilik fonksiyonunda performans ölçütü olarak SN oranı kullanıldığında çekicilik fonksiyonunda  $y_j$  olarak ifade edilen yanıt ifadesi  $SN_j$  notasyonu ile gösterilmektedir SN oranlarının çekicilik fonksiyonuna dönüştürülmesi ise Eş. 2'de verildiği şekilde olmaktadır [47, 48]:

$$d_{il} = \begin{cases} 0, & SN_{il} \leq SN_{il}^L \\ \left( \frac{SN_{il} - SN_{il}^L}{SN_{il}^H - SN_{il}^L} \right)^t, & SN_{il}^L < SN_{il} < SN_{il}^H \\ 1, & SN_{il} \geq SN_{il}^H \end{cases} \quad (2)$$

$$SN_{il}^H = \max_{1 \leq i \leq m} \{SN_{il}\} \quad SN_{il}^L = \min_{1 \leq i \leq m} \{SN_{il}\}$$

Eğer yanıt değişkenlerinin kendi aralarında önem derecelerinde ( $w$ ,  $w = \sum_{i=1}^p w_i$ ) farklılık bulunuyorsa tüm dönüştürülen bireysel çekicilik değerlerinin geometrik

ortalama kullanılarak birleştirilmesi Eş. 3'te verildiği gibi hesaplanmaktadır [49, 47]:

$$D_{OD} = \left( \prod_{i=1}^p d_{il}^{w_i} \right)^{\frac{1}{p}} \quad (3)$$

Çok yanıtli probleminin genel çekicilik fonksiyonuna dönüştürülüp bu fonksiyonun en büyük değerini verecek çözümün bulunması için doğrusal olmayan programlama ve geometrik yaklaşımla çözüm sunan Nelder-Mead simpleks arama algoritması yaygın kullanılan çözüm araçlarındandır. Bu algoritma tek bir durağan noktaya ya da tasarım uzayı sınırlarına yakınsayan downhill simpleks çok boyutlu desen araması yapmaktadır [50, 51].

## 2.2. MOORA ve ARAS (MOORA and ARAS)

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan MOORA yöntemi 2006 yılında Brauers ile Zavadskas tarafından geliştirilmiştir [52]. Oran analizi temeline dayanmaktadır MOORA için çözüm aşamalarının gerçekleştirilmesinde önce normalizasyon uygulanmakta sonra da sıralama için işlemler yapılmaktadır [53].

Normalizasyon sürecinde  $i=1,2,3\dots m$  ve  $j=1,2,\dots n$  olduğunda  $m$  deney ve  $n$  karakteristik için, hesaplaması yapılan her bir değer aşağıda verilen Eş. 4'deki gibi kareler toplamının kareköküne bölünmektedir [54]:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (4)$$

Normalizasyon sürecinden sonra oran yöntemine göre; Eş. 5'te verildiği gibi her bir deney için karakteristiklerin değerleri toplanır. Buradaki toplamda  $SN$  oranları için çalışıldığından negatif yönlü değerlendirmeye ihtiyaç kalmamaktadır. Elde edilen sonuçlara göre sıralama yapılır [52]:

$$Y_i = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* \quad (5)$$

ARAS yöntemi Zavadskas ve Turskis [55] tarafından 2010 yılında geliştirilmiştir. Objektif ve subjektif karakteristiklerin bir fayda fonksiyonuyla birlikte değerlendirilmesini sağlayan ve normalizasyonun da dikkate alındığı bir çok kriterli karar verme yöntemidir. ARAS yöntemi oransal nesnel sıralama konularında en uygun yöntemlerdendir [56].

Bu çalışmada  $SN$  oranları dikkate alındığı için ARAS yöntemi adımlarında her karakteristik için  $SN$  oranının en büyük değerinin gerçekleşmesi istendiğinden karakteristikleri ifade eden kriterler amaç yönleri maksimizasyon olarak değerlendirilmiştir.

ARAS yönteminde öncelikle karar matrisi oluşturulur ve normalize edilir.  $x_{ij}$ , ifadesi  $j$ . karakteristik için  $i$ . deneyi göstermektedir.  $x_{oj}$ ,  $j$ . karakteristiğin optimum değerini ifade etmektedir. Güçlü tasarım için  $SN$  oranı maksimizasyon

yönlü olduğundan  $x_{oj} = \max_i x_{ij}$  olur ve karakteristikler fayda durumu şeklinde ifade edilir. Normalize edilmiş matris daha sonra Eş. 6'da verildiği gibi ağırlıklandırılır [55, 56]:

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{ij} & \vdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{01} & \bar{x}_{02} & \dots & \bar{x}_{0n} \\ \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$i=0,1,2,\dots,m \text{ ve } j=1,2,\dots,n \quad \hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j \quad (6)$$

Her karar seçeneği için ağırlıklandırılmış matris kullanılarak Denklem 11'de verilen  $S$  optimumluk fonksiyon değeri hesaplanır. Eş. 7'de verildiği gibi  $S_i$  değerinin en iyi karar seçeneğinin optimumluk fonksiyon değerine ( $S_o$ ) oranlanmasıyla  $K_i$  fayda değeri hesaplanarak sıralama bu değere göre gerçekleştirilir [56, 57]:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij} \quad i=0,1,2,\dots,m \text{ ve } j=1,2,\dots,n$$

$$K_i = \frac{S_i}{S_o} \quad i=0,1,2,\dots,m \quad (7)$$

Güçlü tasarım yapılması ve  $SN$  oranlarının kullanılması, en büyükleme ve en küçükleme yapıli karakteristiklerin yanısıra belli bir hedef değer belirlenmesi durumu için de çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımına olanak sağlayacak bir yapıya dönüşmektedir.

## 3. GÜÇLÜ TASARIM AŞAMALARI (ROBUST DESIGN STAGES)

### 3.1. Performans Karakteristiklerinin Belirlenmesi (Determination of Performance Characteristics)

Bu çalışmada üretim sürecinde yapılan incelemeler sonucunda Nugget gibi yüksek oranda tüketilen ileri işlem ürünlerinin bozulma süresini etkileyen pek çok faktör bulunduğu ve bunların en önemlilerinin, ürünün başlangıç mikrobiyolojik yükü, çapraz bulaşmaya neden olabilecek donanım ve malzemelerdeki mikrobiyolojik yük, ortam ve ürün sıcaklığı olduğu saptanmıştır. Ürünlerin kalitesinin değerlendirilmesinde diğer önemli performans karakteristikleri de ürünün besin değeri ve tat, görünüm gibi duysal özelliklerdir. Ürünün mikrobiyolojik madde miktarını düşürme amacıyla aşırı yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi bu özelliklerde kalite kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle farklı performans karakteristiklerinin aynı anda iyileştirilmesini sağlamak gerekmektedir.

Şekillendirilmiş kaplamalı kanatlı eti ürünleri üretilirken, çiğ piliç eti baharat ve katkı malzemelerinin karışımı kullanılmaktadır. Bu malzemeler ürünlerin formülüne göre karıştırılmakta ve şekillendirilmekte, galeta unu ile

kaplanmakta ve sonra da 160–185°C sıcaklıkta derin yağda kızartılmaktadır (deep-fat frying). Daha sonra ürünler buharlı pişirme için fırına iletilmektedir. Ürünler piştikten sonra ürün sıcaklığının 1–4°C aralığına düşürülmesi sağlanmakta ve paketlenmektedir [58].

Gıda maddelerinin, yapısında bulundukları mikroorganizmaları yok etmek ya da etkisiz hale getirmek için belli sıcaklıkta işlenmesi gerekmektedir. Örneğin, etin her tarafının en az 72°C sıcaklıkta işlem görmesi durumunda mikroorganizmalar yok edilebilmektedir [59]. İşletmenin ileri işlem bölümünde de ısıl işlemin gerçekleştirildiği, şekillendirme hattı buharla pişirme süreci ve emülsülfıye ürünler fırınlama işlemleri sonucunda ürünlerin merkez sıcaklığının 72°C'ye getirilmesiyle bu amaç gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. Ancak merkez sıcaklığının çok yüksek değerlerde olması da besin değerini azaltmakta ve duysal özelliklerde kayıplara yol açmaktadır.

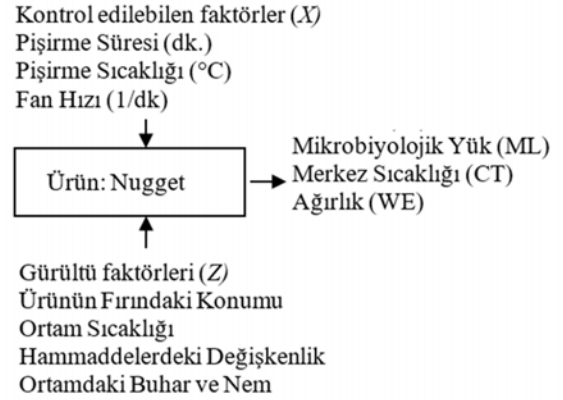
Bu çalışma ürünün kalitesini ilgilendiren özelliklerin en çok etkilendiği süreç olan buharla pişirme hattı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ürünlerin kalite düzeyini en yüksek oranda etkileyebilecek karakteristik olarak ürünün “mikrobiyolojik yükü” (Microbial Load, ML) dikkate alınmıştır. Mikrobiyolojik yükün düşürülmesi, toplam canlı mikroorganizma sayısının (Total aerobik mezofilik bakteri) en azlanmasını sağlamaya yönelik olduğundan “Daha küçük daha iyidir” performans karakteristiğine uymaktadır. Belirlenmiş parametre ayarlarına ve rassallaştırılmış sıraya göre alınan örnekler ortama temasının engellenmesi için paketlenmiş ve deney numaraları etiketlenmiştir. Her bir deneme tekrarı için tüm örnek alımları tamamlanmaya kadar sıcak hava ile teması önlenmiş ve daha sonra laboratuvara gönderilmiştir. Mikrobiyolojik yükün belirlenmesinde aerobik mezofilik canlı sayımları dikkate alınmıştır. Deney tasarımı çalışmasında ürünlerin mikrobiyolojik yükü azaltılırken besin değeri kaybının engellenmesine yönelik olarak ve maliyetlerin de dikkate alınmasıyla farklı performans karakteristikleri de değerlendirilmiştir. İkinci performans karakteristiği olarak pişirme hattındaki ürünlerin “merkez sıcaklığı” (Central Temperature, CT) seçilmiştir. Merkez sıcaklığı “daha küçük daha iyidir” niteliğini taşıyan bir karakteristikdir. Üründe 80°C üzerinde her bir merkez sıcaklığı derece yükselişi maliyet artışı ve besin kaybını da artırdığı için performans karakteristiği “daha küçük daha iyidir” tipine uygundur. Ancak, yasal mevzuatlar gereği 72°C den düşük sıcaklıkta olmaması konusunda her bir üretim değerinin uygunluğu da denetlenmiştir.

Ayrıca ele alınan bir diğer performans karakteristiği olarak ürünlerin “Ağırlık” düzeyi (Weight, WE) ise “daha büyük

daha iyidir” niteliğini taşıyan bir karakteristik olarak değerlendirilmiştir. Duysal özellik olarak adlandırılan lezzet, görünüm, üründeki sıvı kaybı,.. gibi özelliklerinin değerlendirilmesi için ürün ağırlığı uygun bir ölçüt olmaktadır. Çünkü ürünün ağır olması içinde barındırdığı sıvı miktarının yüksek olduğunu ve daha lezzetli ve kolay çiğnenebilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca ürünün ağırlığı üretim maliyeti ile de doğrudan ilişkili olmakta ve düşük ağırlıklı ürünler üretim kaybına yol açmaktadır. Çalışmada en iyi seviyelerinin belirlenmesi amaçlanan ve Tablo 1’de verilen üç performans karakteristiği vardır ve çoklu performans karakteristikleri olarak eşanlı değerlendirilmelidir.

### 3.2. P Diyagramının Oluşturulması (Creating the P Diagram)

Üretilen ürünün performans karakteristiklerini etkileyen faktörler kontrol edilebilir ve kontrolü zor faktörler (gürültü faktörleri) olarak ikiye ayrılmıştır ve faktörlerin tüm performans karakteristikleri için geçerli olduğu belirlenmiştir. Süreci etkileyen tüm faktörlerin bulunduğu P diyagramı Şekil 2’de verilmektedir. Ancak ele alınan gürültü faktörlerinin farklı düzeylerinin denenmesinin zaman alıcı, zor ve maliyetli olacağı düşünüldüğünden çalışmada sadece kontrol faktörlerinin farklı düzeyleri ile çalışılması uygun görülmüştür.



Şekil 2. Üretim Süreci P Diyagramı (Manufacturing Process P Diagram)

Bu faktörler arasından kontrol edilebilir faktörler pişirme fırınının kontrol panelinden ayarlanabilen üretim parametreleridir. Gürültü faktörlerinden ürün fırındaki konumu dikey pişirme sağlandığı için dikkate alınmamıştır. Ortam sıcaklığı sabit bir değerde tutulmaya çalışılmaktadır. Her ne kadar ürün için belirli bir formülasyon kullanılsa bile kullanılan et ve diğer hammaddeler değişkenlik gösterdiği için ürünün hammaddede ve şekillendirme kalıbından

Tablo 1. Performans karakteristikleri (Performance characteristics)

Performans karakteristiği	Birim	Karakteristik biçimi
Mikrobiyolojik Yük	Toplam Canlı Miktarı	STB Daha Küçük Daha İyidir
Merkez Sıcaklığı	°C	STB Daha Küçük Daha İyidir
Ağırlık	Gr	LTB Daha Büyük Daha İyidir

çıkışından sonra mikrobiyolojik yük ve ağırlığında bir değişkenlik görülebilmektedir. Birimden birime değişkenlik olarak adlandırılabilir bu gürültü faktörlerine rağmen kontrol edilebilen faktörlerin uygun değerlerinin belirlenmesi ile ürünün duyarlılığının azaltılması hedeflenmiştir.

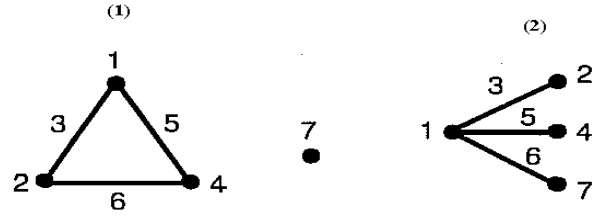
Kontrol faktörlerinin tümü sürekli değişkendir. Fırın parametrelerinin ayarlanmış derece ve fan değerlerine gelmesi zaman alıcı olduğu için kontrol faktörlerine ilişkin yüksek ve düşük düzey olarak adlandırılabilir şekilde iki düzey kullanılmıştır. Faktörlere ilişkin incelenen 1. ve 2. düzey değerleri ve mevcut durumda kullanılan üretim parametre değerleri Tablo 2.'de verilmektedir.

**Tablo 2.** Faktörler ve düzeyleri (Factors and their levels)

Kod	A	B	D
Faktör Adı	Süre	Sıcaklık	Fan Hızı
Birim	Min.	°C	1/min.
Düzye 1	2,5	150	750
Düzye 2	3,5	170	1250
Başlangıç Koşulları	2,5	180	450

### 3.3. Ortogonal Dizinin ve Deneysel Stratejisinin Belirlenmesi (Determination of Orthogonal Sequence and Experimental Strategy)

Uygun ortogonal dizinin belirlenmesi için üç faktör, ikili etkileşimler ve üçlü etkileşim dikkate alındığında yapılması gereken deney sayısı 8 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle seçilmesi gereken ortogonal dizinin serbestlik derecesinin en az 8 olması gerekmektedir. Buna göre uygulanması uygun olan dizin  $L_8(2^3)$  olmaktadır. [59]. Doğrusal grafikler faktör ve etkileşimlerin ortogonal dizinlere yerleştirilmesi için üçgen tablolar ya da doğrusal grafikler kullanılmaktadır.  $L_8$  dizini için kullanıma uygun olan doğrusal grafikler Şekil 3'te verilmektedir. Burada, çalışmada olduğu gibi her bir faktörün etkileşimde iki kez kullanımının uygun görüldüğü durumda (AXB, BXC, AXC) 1 Numaralı grafik; ortak bir faktörün diğer faktörlerle etkileşimleri incelendiğinde (AXB, AXC, AXD) 2 Numaralı grafik kullanılır [60]:



**Şekil 3.** Doğrusal Grafikler (Linear Graphics)

İki düzeyli faktörün kullanıldığı ve 7 sütunun gerektiği bu uygulama için ideal ortogonal deney planı  $L_8(2^3)$  olmaktadır. Tablo 3'te verildiği gibi,  $L_8$  dizinlerine uygun olarak 1. 2. ve 4. sütunlara ana faktörlerin yerleşmesi; 3., 5. ve 6. sütunlara ikili etkileşimlerin 7. sütuna ise üçlü etkileşimin atanması uygun görülmüştür. Buna göre "Süre" faktörü "A" kodu ile 1. sütuna, "Sıcaklık" faktörü "B" kodu ile 2. sütuna, "Fan Hızı" faktörü "D" kodu ile 3. sütuna yerleştirilmiştir. 1. ve 2. sütunların etkileşimi "SürexSıcaklık", "C" kodu ile 3. sütuna; 1. ve 4. sütunların etkileşimi "SürexFan Hızı", "E" kodu ile 5. sütuna; 2. ve 4. sütunların etkileşimi "SıcaklıkFan Hızı", "F" kodu ile 6. sütuna atanmıştır. Üçlü etkileşim 7. sütunda yer alacaktır.

ML değerinin ölçülmesi için 3 farklı zamanda 3 ayrı rassal sırada deneyler gerçekleştirilmiştir. CT ve WE için de tek bir tekrar düzeninde üçer örnek alınmıştır. Bu farklı ölçüm düzeninin nedeni laboratuvar koşullarındaki kapasite kısıtıdır. Deneyler hazırlanan plana bağlı olarak gerçek üretim ortamında yapılmıştır ve deneylerin yapılaş sırası rassal olarak belirlenmiştir.

### 3.4. Tek Yanıtlı Eniyileme Deneyleri (Single Response Optimization Experiments)

Deney sonuçlarının çözümlenmesinde değerlendirmenin yapıldığı her bir performans karakteristiği ayrı ayrı ele alınmış, daha sonra bütün performans karakteristiklerinin eşanlı değerlendirildiği bir fonksiyon ile üretim parametrelerinin eniyi değerleri araştırılmıştır. Her bir performans karakteristiğine ilişkin öncelikle Taguchi güçlü

**Tablo 3.**  $L_8$  Ortogonal dizini ( $L_8$  Orthogonal index)

Deney	Faktörler							Değerler		
	A : Süre	B : Sıcaklık	C : AXB	D : Fan Hızı	E : AXD	F : BXD	G : AXBXD	Süre	Sıcaklık	Fan Hızı
1	1	1	1	1	1	1	1	2,5	150	750
2	1	1	1	2	2	2	2	2,5	150	1250
3	1	2	2	1	1	2	2	2,5	170	750
4	1	2	2	2	2	1	1	2,5	170	1250
5	2	1	2	1	2	1	2	3,5	150	750
6	2	1	2	2	1	2	1	3,5	150	1250
7	2	2	1	1	2	2	1	3,5	170	750
8	2	2	1	2	1	1	2	3,5	170	1250
	a	b	ab	c	ac	bc	abc			



tasarım performans ölçütü  $SN$  oranları hesaplanmış, varyans analizi (Analysis of Variance, ANOVA) yapılmış ve model tahmini gerçekleştirilmiştir.

### 3.4.1. ML incelenmesi (Examination of ML)

ML miktarının belirlenmesine yönelik olarak nugget köfte kaplamalı ürünü için alınan örnekler işletmenin mikrobiyoloji laboratuvarına iletilmiş ve oradan standart plak sayımı sonucunda alınan toplam canlı miktarı verilerine göre  $SN$  oranları decibel cinsinden belirlenmiştir. ML karakteristiği STB olduğu için aşağıda verilmekte olan Eş. 8 kullanılmıştır [61]:

$$SN = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (8)$$

Tablo 4'te yapılan tek tekrarlı ölçüm değerleri sunulmuştur.

Varyans analizi sonuçlarına göre  $p$  değerleri 0,05'ten küçük olan  $B$ : Sıcaklık,  $C$ :SürexSıcaklık,  $D$ :Fan,  $G$ :SürexSıcaklıkxFan faktörleri ve etkileşimlerinin ML karakteristiği  $SN$  oranı üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu söylenebilmektedir.  $E$ :SürexFan etkileşimi  $G$  etkileşimi için üst hiyerarşide bulunduğundan modele dahil edilmiştir. Varyans Analizi sonucunda  $R^2$  0,9907 ve  $R^2(\text{Adj})$  0,9675 değerlerini almıştır. Bu değerler değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. Elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_1 = -82,54 + 4,53 * B_1 + 4,29 * C_1 + 3,91 * D_1 - 2,70 * E_1 + 7,19 * G_1$$

### 3.4.2. CT incelenmesi (Examination of CT)

CT karakteristiği STB olduğu için  $SN$  oranlarının belirlenmesinde Eş. 8 kullanılmıştır. CT değerinin düşürülmesine yönelik yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 5.'te sunulmaktadır.

Varyans Analizi sonuçlarına göre;  $A$ ,  $B$  ve  $D$  faktörlerinin  $p$  değeri  $<0,05$  olduğundan modele katkıları anlamlı bulunmuştur.  $R^2$  0,9310 ve  $R^2(\text{Adj})$  0,8792 değerlerini almıştır.

Elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_2 = -39,09 - 0,25 * A_2 - 0,24 * B_2 - 0,22 * D_2$$

### 3.4.3. WE incelenmesi (Examination of WE)

WE değerinin artırılmasına yönelik yapılan ölçümlerin sonuçları hazırlanan tasarım parametreleri matrisi Tablo 6'da sunulmaktadır. WE karakteristiği LTB olduğu için  $SN$  oranı aşağıda verilmekte olan Eş. 9'a göre hesaplanmaktadır [61]:

$$SN = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (9)$$

Varyans analizi sonuçlarına göre  $p$  değerleri 0,05'ten küçük olan  $A$  : Süre,  $E$  : SürexFan,  $D$  :Fan,  $F$  : SıcaklıkxFan,  $G$  : SürexSıcaklıkxFan faktörleri ve etkileşimlerinin WE karakteristiği  $SN$  oranı üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu söylenebilmektedir. Burada  $R^2$  0,9631 ve  $R^2(\text{Adj})$  0,914

**Tablo 4.** ML değerleri (ML values)

Deneyler	1	2	3	4	5	6	7	8
A	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5
B	150	150	170	170	150	150	170	170
D	750	1250	750	1250	750	1250	750	1250
Tekrar 1	800	7166	800	3800	3366	27200	100	200
Tekrar 2	142933	12350	3100	2800	19700	12400	14550	2300
Tekrar 3	2700	18600	2500	13400	11750	2700	129100	4200
Ortalama	48811	12705,6	2133,3	6666,7	11605,6	14100	47916,7	2233,3
Std. Sapma	81517,6	5725	1193	5852,6	8167,6	12338,2	70677,1	2000,8
SN Oranı (dB)	-98,333	-82,631	-67,403	-78,278	-82,532	-84,775	-97,502	-68,840

**Tablo 5.** CT değerleri (CT values)

Deneyler	1	2	3	4	5	6	7	8
A	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5
B	150	150	170	170	150	150	170	170
D	750	1250	750	1250	750	1250	750	1250
Tekrar 1	83,8	89,8	91,1	91,2	93,2	93	95	95,7
Tekrar 2	82,1	88,9	80,7	90,1	80	95,1	95,3	97,6
Tekrar 3	84,1	82,5	92	93,9	84	95,1	92,2	96,6
Ortalama	83,333	87,066	87,933	91,733	85,733	94,4	94,166	96,633
Std. Sapma	1,078	3,980	6,280	1,9553	6,768	1,2124	1,709	0,950
SN Oranı (dB)	-38,416	-38,803	-38,897	-39,251	-38,681	-39,499	-39,478	-39,702

değerlerini almıştır. Varyans analizi çalışması sonucu parametreleri tahmin edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_3 = +25.60 - 0.15 * A_3 - 0.16 * E_3 - 0.11 * F_3 + 0.15 * G_3$$

#### 3.4.4. ANOM Ortalama analizleri (ANOM Analysis of Means)

Çalışmada süre, sıcaklık ve fan hızı faktörlerinin başlıca etkilerinin analiz edilmesi için ortalama analizi (ANOM) yapılmıştır. Bu analiz ile bir faktörün etkisi belirlenirken, faktör düzeylerindeki bir değişikliğin yanıt üzerindeki meydana getirdiği değişim araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, ML karakteristiği için B, CT karakteristiği için A ve WE karakteristiği için A faktörü en

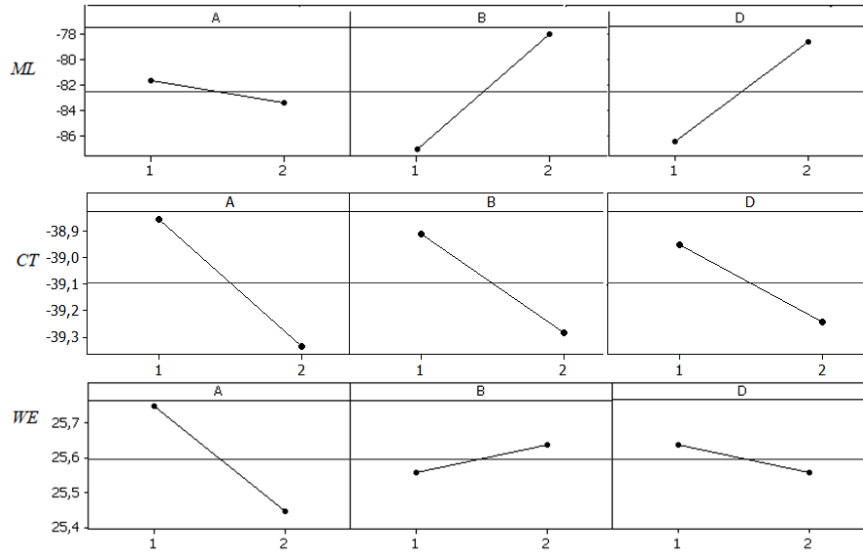
yüksek etkiye neden olmuştur. ANOM sonuçları Şekil 4'te verilmektedir.

Tablo 7'de tasarım parametreleri A, B, D için ortalama SN oranlarının en yüksek ve en düşük değerleri arasındaki fark (Delta) hesaplanmıştır. Delta değerleri büyükten küçüğe doğru sıralandığında elde edilen rank sonuçlarına göre hangi faktörün ilgili karakteristiği daha fazla etkilediği belirlenmektedir [58].

Ayrıca, En yüksek SN oranını veren faktör düzeyleri her bir karakteristik için tasarım önerisinin oluşturulmasını da sağlamaktadır. Tablo 7'de her ürün için üç performans karakteristiğinin en iyilenmesine yönelik önerilen faktör düzeyleri işaretlenmiştir.

**Tablo 6.** WE değerleri (WE values)

Deneyler	1	2	3	4	5	6	7	8
A	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5
B	150	150	170	170	150	150	170	170
D	750	1250	750	1250	750	1250	750	1250
Tekrar 1	20	19	20	20	19	18	18	20
Tekrar 2	19	19	19	20	19	19	20	19
Tekrar 3	21	19	20	15	18	16	18	17
Ortalama	19,6667	19	20	19	19	18,3333	18	19,6667
Std. Sapma	0,5774	1	0	1	1	0,5774	0	0,5774
SN Oranı (dB)	25,867	25,551	26,0206	25,551	25,551	25,2564	25,1055	25,867



**Şekil 4.** Yanıt Grafiği (Response Graph)

**Tablo 7.** ANOM analiz sonuçları (ANOM analysis results)

Düzye	ML			CT			WE		
	A	B	D	A	B	D	A	B	D
1	<b>-81,66</b>	-87,07	-86,44	<b>-38,84</b>	<b>-38,85</b>	<b>-38,87</b>	<b>25,75</b>	25,56	<b>25,64</b>
2	-83,41	<b>-78,01</b>	<b>-78,63</b>	-39,34	-39,33	-39,31	25,44	<b>25,64</b>	25,56
Delta	1,75	9,06	7,81	0,5	0,48	0,45	0,3	0,08	0,08
Rank	3	1	2	1	2	3	1	2,5	2,5

### 3.5. Çok Yanıtlı Analiz (Multi-Response Analysis)

Her üç performans karakteristiğinin eşzamanlı dikkate alındığı bir çözüm sunabilmek için problemin çok yanıtlı en iyileme problemi olarak değerlendirilmesi uygun görülmüştür.

#### 3.5.1. Çekicilik fonksiyonu (Desirability function)

Deney sonuçlarının çok yanıtlı çözümünün ve eş zamanlı eniyilemenin sağlanması için performans karakteristikleri fonksiyonları birleştirilerek tek bir fonksiyon ile ifade edilmiştir. Bu çalışmada birleştirici fonksiyon olarak kolay anlaşılabilir ve kurulabilir bir yapıya sahip olması ve her bir yanıtın önem derecesine göre ağırlıklandırılmasını sağlayacak esnekliğe sahip olması nedeniyle çekicilik fonksiyonunun kullanılması uygun görülmüştür. Tek yanıtlı analizler sonucunda çok yanıtlı analiz için birleştirilen fonksiyonlar aşağıda Tablo 8’de verilmektedir.

Her bir performans karakteristiği yanıt fonksiyonuna ilişkin regresyon analizi sonuçları varsayımlarının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Çoklu doğrusal bağlantı olmadığını gösteren VİF değerleri her üç fonksiyon için 1’e eşittir. Ayrıca artıkların dağılımının incelenmesi amacıyla Kolmogorov-Simirnov testi yapılmış ve üç fonksiyon için de normal dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Studentize artıkların büyüklüğü de tahmin değerinden bağımsız çıkmıştır. Ayrıca modellerdeki yüksek  $R^2$  ve  $R^2(\text{Adj})$  değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir.

Çekicilik fonksiyonunda her bir yanıtla ilişkin amacın yönü  $SN$  oranlarının en büyüklenmesi amacıyla uygun olarak seçilmiştir. Bireysel çekicilik fonksiyonlarının alt ve üst limitlerinin belirlenmesinde ise elde edilen  $SN$  oranlarının en küçük ve en büyük değerleri kullanılmış, en iyi noktanın sınırdaki elde edilme durumuna göre genişletme yoluna gidilmiştir.

Çekicilik fonksiyonu kullanılırken her bir performans karakteristiği için 1 ile 5 arasında değer alan farklı önem dereceleri ( $w$ :  $ML=5$ ,  $CT=3$ ,  $WE=1$ ) belirlenmiştir. Çekicilik fonksiyonunun alt ve üst limitlerinin belirlenmesi için Eş. 10’da verilmekte olan formül ele alınmıştır.

$$SN_i^H = \max_{1 \leq i \leq m} \{SN_{il}\} + 1$$

$$SN_i^L = \min_{1 \leq i \leq m} \{SN_{il}\} \quad (10)$$

Çalışmanın bu bölümünde çekicilik fonksiyonu ve doğrusal olmayan programlama çözümünde Nelder-Mead [51], simpleks algoritması kullanılmıştır. Bu şekilde çok yanıtlı

problemin çözümü gerçekleştirilmektedir [62]. Yapılan analiz sonucu 5 çözüm değeri elde edilmiştir. En yüksek çekicilik değerini veren 1. çözüm değeri problemin en iyi çözümü olmaktadır. Buna göre, kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi parametre çözümü A için 1, B için 2, D için 1 düzey değerleri ile elde edilmiştir. ML, CT ve WE performans karakteristik değerleri için  $SN$  oranı tahmini değerleri;  $\hat{y}_1(x^*) = -67,738$ ;  $\hat{y}_2(x^*) = -38,860$  ve  $\hat{y}_3(x^*) = 25,942$  olarak gerçekleşmiştir. Nelder-Mead Simpleks en iyileme algoritmasının kullanımıyla elde edilen toplam çekicilik değeri  $D_{OD}=0,6003$  olmuştur. Elde edilen bireysel çekicilik değerleri de;  $d_1(\hat{y}_1) = 0,9446$ ;  $d_2(\hat{y}_2) = 0,31151$  ve  $d_3(\hat{y}_3) = 0,441733$  şeklinde gerçekleşmiştir.

#### 3.5.2. MOORA ve ARAS ile sıralama (Ranking with MOORA and ARAS)

Çalışmada işletme için karakteristikler ve ağırlıkları aynı şekilde MOORA ve ARAS analizi için de dikkate alınmıştır. Karakteristiklerin ağırlıkları da normalize edilerek, ML için 0,555; CT için 0,33 ve WE için 0,111 olarak belirlenmiştir. Karakteristiklere ilişkin ağırlıkların belirlenmesinden sonra öncelikle MOORA oran yöntemi ile deney sonuçlarının sıralanması sağlanmıştır. MOORA yönteminde  $SN$  oranlarının en büyük olması için tüm karakteristiklerin en yüksek değerleri alması hedeflenmiştir. Bunun için Eş. 4 ve Eş. 5’teki formüller kullanılarak normalleştirme ve sıralama yapılmıştır. Daha sonra kullanılan ARAS yönteminde ise; Eş. 4 ve Eş. 5’teki formüller ele alınarak her karakteristik için  $SN$  oranları maksimum yönlü değerlendirilmiştir. Elde edilen sıra bilgilerine göre MOORA ve ARAS yöntemlerinin öneri deney sıralarının aynı olduğu yani önerilen parametre düzeylerinin 3. deneydeki düzeylere karşılık geldiği görülmektedir. Bu sonuçlar çekicilik fonksiyonu ile elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Hesaplama sonucunda elde edilen oran değerleri ve sıra bilgileri Tablo 9’da verilmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre birinci sırada bulunan öneri deney düzeni yani üretim parametrelerinin en uygun bulunduğu düzeyler çekicilik fonksiyonu kullanımı sonucu elde edilen düzey ile aynı çıkmıştır. Bu sonuç çok kriterli karar verme yöntemlerinin üretim parametrelerinin belirlenmesinde etkili olarak kullanılabilceği görüşünü destekler niteliktedir.

#### 3.6. Doğrulama Deneyleri (Verification Test)

Güçlü tasarım çalışmalarında en uygun sonuçları sağlayan kontrol faktör düzeylerinin belirlenmesinden sonraki aşama, optimizasyonun doğruluğunun test edilmesi aşamasıdır. Bunun için optimum kontrol faktörü düzeyleri ile doğrulama

**Tablo 8.** Tek yanıtlı fonksiyonlar (Single response functions)

Karakteristik	A	B	D	Fonksiyon
ML	2	2	2	$Y_1 = -82,54 + 4,53 * B_1 + 4,29 * C_1 + 3,91 * D_1 - 2,70 * E_1 + 7,19 * G_1$
CT	1	1	1	$Y_2 = -39,09 - 0,25 * A_2 - 0,24 * B_2 - 0,22 * D_2$
WE	1	2	1	$Y_3 = +25,60 - 0,15 * A_3 - 0,16 * E_3 - 0,11 * F_3 + 0,15 * G_3$

**Tablo 9.** MOORA ve ARAS sıralama sonuçları (MOORA and ARAS results)

Deney	ML	CT	WE	MOORA	MOORA	ARAS	ARAS
	SN	SN	SN	<i>Yi</i>	SIRA	<i>ki</i>	SIRA
1	-98,333	-38,416	25,867	-0,30819	7	1,011	7
2	-82,631	-38,803	25,551	-0,27278	5	1,104	5
3	-67,403	-38,897	26,0206	-0,2364	1	1,244	1
4	-78,278	-39,251	25,551	-0,26386	3	1,134	3
5	-82,532	-38,681	25,551	-0,27218	4	1,106	4
6	-84,775	-39,499	25,2564	-0,28039	6	1,080	6
7	-97,502	-39,478	25,1055	-0,3106	8	1,002	8
8	-68,84	-39,702	25,867	-0,24246	2	1,220	2

**Tablo 10.** Doğrulama Deneyleri Sonuçları (Verification test results)

		1	2	3	Ortalama	Std. sapma	<i>SN</i> (dB)
Başlangıç Koşulları	ML	8300	3900	2900	5033,33	2872,86	-74,89
	CT	81,6	83,9	81,7	82,4	1,3	-38,32
	WE	19,5	20	20	19,83	0,29	25,95
Öneri Koşulları	ML	3500	2800	2200	2833,33	650,64	-69,2
	CT	81,4	80,7	80,5	80,87	0,47	-38,16
	WE	20,5	20	20	20,17	0,29	26,09
Fark	ML	4800,00	1100,00	700,00	2200,00	2222,22	-5,69
	CT	0,20	3,20	1,20	1,53	0,83	-0,16
	WE	-1,00	0,00	0,00	-0,34	0,00	-0,14

deneyleri yapılır [63]. Önerilen sonuçların performans etkinliğinin ölçülmesi amacıyla 3 tekrarlı doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deneyi sonuçları Tablo 10'da verilmektedir.

Yapılan doğrulama deneyi sonuçlarına göre pişirme süresi, pişirme sıcaklığı ve fan hızı kontrol edilebilen değişkenleri için önerilen ( $x^*$ )=(1,2,1) parametre düzeyleri ve (2,5; 170; 750) üretim parametreleri ile mevcut üretim koşullarındaki parametre değerlerinde (2,5; 180; 450) elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her bir performans karakteristiği için önerilen düzeylere göre yapılan üretimlerde daha yüksek *SN* oranı elde edilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 11.'de verilmektedir.

**Tablo 11.** Karşılaştırmalar (Comparisons)

Karakteristik		Başlangıç	Öneri	Fark
ML	<i>SN</i>	-74,89	-69,20	-5,69
	Ortalama	5033,33	2833,33	2200
	Standart sapma	2872,86	650,64	2222,22
CT	<i>SN</i>	-38,32	-38,16	-0,16
	Ortalama	82,40	80,87	1,53
	Standart sapma	1,30	0,47	0,83
WE	<i>SN</i>	25,95	26,09	-0,14
	Ortalama	19,83	20,17	-0,34
	Standart sapma	0,29	0,29	0

Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda belirlenen kontrol faktörü düzeylerinde performans karakteristikleri beklenen değerleri almıştır. Başlangıç koşullarıyla aynı pişirme süresinde, çok az daha düşük ısıda ve daha yüksek fan hızıyla

performans karakteristiklerinde iyileşme sağlandığı görülmüştür. Amaca uygun olarak ML ve CT ortalama değerleri için düşüş görülmüşken WE ortalamasında artış sağlanmıştır. Elde edilen standart sapma değerlerinde ML ve CT için değişkenliğin de azaltılabildiğini göstermektedir. Elde edilen değerler işletme yöneticileri tarafından olumlu bulunmuş ve üretim parametrelerinin değiştirilmesi kararı alınmıştır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma ile nugget ürününün güçlü tasarımının sağlanması için buhar fırını üretim sürecinde yapılan incelemeler ve uygulama sonucunda üretim parametrelerinin en uygun düzeylerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık performans karakteristiklerinin eş zamanlı değerlendirilmesi için ortaya çıkan çok yanıtlı eniyileme probleminin çözümünde Taguchi güçlü tasarım yönteminde *SN* oranları ile birlikte çekicilik fonksiyonu, ARAS ve MOORA çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımının bu gıda ürünü için bir örneği sunulmuştur. Deney tasarımı çalışması *SN* oranları ile gerçekleştirildiğinden ARAS ve MOORA yöntemlerinin kullanımında tüm karakteristiklerin maksimizasyon yönlü değerlendirilmesi ile hem güçlü tasarım hedefi sağlanmış ve hem de karakteristiklerin eş anlı olarak değerlendirmesi de yapılabilmektedir. Elde edilen çözüm sonuçlarına göre her iki yaklaşımla da buharlı fırında pişirme süreci için en yüksek çekicilik değerini veren üretim parametre düzeyleri; 2,5 (min.); 170 (°C); ve 750 (1/min) fan hızı değerlerini almıştır. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda da olumlu sonuçlar elde edilmiş başlangıç koşullarındaki performans

karakteristik değerlerine göre hem ortalama değerlerde hem de değişkenliklerde etkili olabilecek düzeyde iyileşmeler sağlandığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak; çalışma ile nugget ürününün buharlı pişme sürecinin çok yanıtı güçlü tasarımında kalite artışını sağlayabilecek ve rekabet üstünlüğü sağlayabilecek çözümler ortaya konmuştur. Çalışma ile elde edilen sonuçlar öncelikle benzer işletmelerde şekillendirilmiş ürünler pişirme hattında üretilen tüm ürünlerde kullanıma örnek olabilecektir. Ayrıca gıda sektörü ve farklı endüstri uygulamaları için de çok yanıtı güçlü tasarım uygulamaları konusunda farklı yaklaşımların kullanımına örnek oluşturabilecektir.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

1. Fowlkes W.Y., Clyde M. C., Engineering Methods For Robust Product Design Using Taguchi Methods In Technology And Product Development, Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
2. Houg J.Y., Hsu H.f., Liu Y.H., Wu J.Y., 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, 2003.
3. Soh W.; Kim H., Yum B. J., A multivariate loss function approach to robust design of systems with multiple performance characteristics, Quality And Reliability Engineering International, 32 (8), 2685-2700, 2016.
4. Gauri S. K., Pal S., Comparison of performances of five prospective approaches for the multi-response optimization, The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, 48 (9-12), 1205-1220, 2010.
5. Wang J., He Z., Oh J. H., Park S. H., Multi-Response robust optimization using desirability function. In Advanced Management of Information for Globalized Enterprises, IEEE (AMIGE 2008, 1-3, 2008.
6. Dogan S. F., Sahin S., Sumnu G., Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep-fat fried chicken nuggets, Journal of Food Engineering, 71, 127-132, 2005.
7. Hasgöl Ö., Ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde deney tasarımı: gıda sektöründe bir uygulama, Yönetim Ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi - Akademik Fener, 15, 42-67, 2011.
8. Kuvat Ö., Multi response optimization by taguchi parameter design for a package food production company, Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering, 23 (3), 215-236, 2018.
9. Prinyawiwatkul W., Mcwatters K. H., Beuchat L. R., Phillips R. D., Optimizing acceptability of chicken nuggets containing fermented cowpea and peanut flours, Journal Of Food Science, 62 (4), 889-905, 1997.
10. Evanuarini H., Purnomo H., Physical and organoleptic quality of chicken nuggets fried at different temperature and time, Journal Of Agriculture and Food Technology, 1 (8), 133-136, 2011.
11. Yogesh K., Ahmad T., Manpreet G., Mangesh, K., Das, P., Characteristics of chicken nuggets as affected by added fat and variable salt contents, Journal of food science and technology, 50 (1), 191-196, 2013.
12. Luckose F., Pandey M. C., Radhakrishna K., Development of low salt restructured chicken nugget by response surface methodology and its quality evaluation, International Food Research Journal, 22 (6), 2403-2412, 2015.
13. Arshad M. S., Imran, A., Nadeem M. T., Sohaib M., Saeed F., Anjum F. M., Kwon J., Hussain S., enhancing the quality and lipid stability of chicken nuggets using natural antioxidants, Lipids in Health and Disease, 16 (108), 1-9, 2017.
14. Pathera A. K., Riar, C. S., Yadav S., Sharma D. P., Yadav Y. S., Kumar M., Optimization of dietary fiber enriched chicken nuggets for different cooking methods, Journal of Food Measurement and Characterization, 11 (3), 1386-1397, 2017.
15. Pinkaew, P., Naivikul, O., Development of gluten-free batter from three Thai rice cultivars and its utilization for frozen battered chicken nugget. Journal of food science and technology, 56 (8), 3620-3626, 2019.
16. Madane, P., Das, A. K., Pateiro, M., Nanda, P. K., Bandyopadhyay, S., Jagtap, P., Lorenzo, J. M., Drumstick (*Moringa oleifera*) Flower as an Antioxidant Dietary Fibre in Chicken Meat Nuggets. Foods, 8 (8), 307, 2019.
17. Ortiz F. J., James R. S., Joseph J. P. J., Alejandro H. L., A genetic algorithm approach to multiple-response optimization, Journal of Quality Technology, 36 (4), 2004.
18. Myers R., Montgomery D.C., Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Designed Experiments, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, A.B.D, 2002.
19. Tong L. I., Wang C. H., Houg J. Y., Chen J. Y., Optimizing dynamic multiresponse problems using the dual-response-surface method, Quality Engineering, 14 (1), 115-125, 2002.
20. Najafi S., Salmasnia A., Kazemzadeh R. B., Optimization of robust design for multiple response problem, Australian Journal of Basic and Applied Science, 5 (9), 1566-1577, 2011.
21. Bashiri M., Amirhossein A., Majid J., Taguchi design optimization using multivariate process capability index, Journal Of Industrial and Systems Engineering, 9 (1), 57-78, 2016.
22. Khuri A. I., Conlon M., Simultaneous optimization of multiple responses represented by polynomial regression functions, Technometrics, 23 (4), 363-375, 1981.
23. Vining G. G., A compromise approach to multiresponse optimization, Journal of Quality Technology, 30 (4), 309-313, 1998.
24. Derringer G., Ronald S., Simultaneous optimization of several response variables, Journal of Quality Technology, 12 (4), 214-219, 1980.

25. Aksezer C. S., On the sensitivity of desirability functions for multiresponse optimization”, *Journal of Industrial and Management Optimization*, 4 (4), 685-696, 2008.
26. Tong L. I., Su C. T. Optimizing multi-response problems in the Taguchi method by fuzzy multiple attribute decision making, *Quality and Reliability Engineering International*, 13 (1), 25-34, 1997.
27. Wang P., Li Y., Wang Y. H., Zhu Z. Q. A new method based on TOPSIS and response surface method for MCDM problems with interval numbers. *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2015, Article ID 938535, 1-15, 2015.
28. Şimşek B., Uygunoğlu T., Multi-response optimization of polymer blended concrete: A TOPSIS based Taguchi application, *Construction and Building Materials*, 117, 251-262, 2016.
29. Nguyen, P., Banh, L., Bui, V., Hoang, D., Multi-response optimization of process parameters for powder mixed electro-discharge machining according to the surface roughness and surface micro-hardness using Taguchi-TOPSIS. *International Journal of Data and Network Science*, 2 (4), 109-119. 2018.
30. Bigus, P., Namieśnik, J., Tobiszewski, M., Implementation of multicriteria decision analysis in design of experiment for dispersive liquid-liquid microextraction optimization for chlorophenols determination. *Journal of Chromatography A*, 1553, 25-31, 2018.
31. Debnath, S., Sastry, G. R. K., Rai, R. N., Multi-objective decision making optimization for electro discharge machining process of Al-4.5 Cu-SiC composite using Fuzzy-Topsis, *Journal of Scientific & Industrial Research*, 78, 86-90, 2019.
32. İç Y.T., Yildirim S., Improvement of a product design using multi criteria decision making methods with Taguchi method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (2). 447-458, 2012.
33. Peng, J. P., Yeh, W. C., Lai, T. C., Hsu, C. B., The incorporation of the Taguchi and the VIKOR methods to optimize multi-response problems in intuitionistic fuzzy environments. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 38 (7), 897-907, 2015.
34. Tripathy, S., Tripathy, D. K., Multi-response optimization of machining process parameters for powder mixed electro-discharge machining of H-11 die steel using grey relational analysis and Topsis. *Machining Science and Technology*, 21 (3), 362-384, 2017.
35. Gadakh, V. S., Application of MOORA method for parametric optimization of milling process. *International Journal of Applied Engineering Research*, 1 (4), 743, 2010.
36. İç, Y., T., Yıldırım S., MOORA-based Taguchi optimisation for improving product or process quality, *International Journal of Production Research*, 51 (11), 3321-3341, 2013.
37. Maity, K., Pradhan, S., Optimization of titanium grade 5 alloy using dry machining by MOORA coupled with Taguchi method. In *Proceedings of 6th International & 27th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR-2016)*. College of Engineering, Pune, Maharashtra, India, December, 2016,
38. Khan, A., Maity, K. Parametric optimization of some non-conventional machining processes using MOORA method. In *International Journal of Engineering Research in Africa*, Trans Tech Publications, 20, 19-40, 2016.
39. Majumder, H., & Maity, K., Prediction and optimization of surface roughness and micro-hardness using grnn and MOORA-fuzzy-a MCDM approach for nitinol in WEDM. *Measurement*, 118, 1-13, (2018).
40. Shihab, S., Khan, N., Myla, P., Upadhyay, S., Khan, Z., Siddiquee, A., Application of MOORA method for multi optimization of GMAW process parameters in stain-less steel cladding. *Management Science Letters*, 8 (4), 241-246, 2018.
41. Basha S. K., Raju M. J., Kolli, M., Multi response optimization of EDM process parameters for inconel x-750 using MOORA, *Journal of Mechanical Engineering Research & Developments (JMERRD)*, 42 (1), 30-40, 2019.
42. Tamrin, K. F., Zahrim, A. Y., Determination of optimum polymeric coagulant in palm oil mill effluent coagulation using multiple-objective optimisation on the basis of ratio analysis (MOORA). *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (19), 15863-15869, 2017.
43. Singaravel, B., Shankar, D. P., Prasanna, L., Application of MCDM method for the selection of optimum process parameters in turning process. *Materials Today: Proceedings*, 5 (5), 13464-13471, 2018.
44. Kumar, A., Hussain, S. A. I., Rai, R. N., Optimization by AHP-ARAS of EDM process parameters on machining AA7050-10% B4C composite, *Advances in Industrial and Production Engineering: Select Proceedings of FLAME 2018*, 285, 2019.
45. Del Castillo E., Montgomery D. C., Mccarville D. R., Modified desirability functions for multiple response optimization, *Journal Of Quality Technology*, 28 (3), 337-345, 1996.
46. Özler, C., Çekicilik (desirability) fonksiyonları üzerine bir inceleme, *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 14 (2), 111-121, 1999.
47. Yoon H.-S., Yum B.-J. 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, 2007.
48. Byun J. H., Kim, K. J., A desirability function approach to the robust design for multiple quality characteristics, *Journal of The Korean Institute of Industrial Engineers*, 24 (2), 287-296, 1998.
49. Derringer G.C., A balancing act: optimizing a product's properties, *Quality Progress*, 27 (6), 51-58, 1994.

50. Arizaa J.L. G'omez T. Garc'la-Barreraa F. Lorenzoa A. Gustavo Gonz'alez, Optimisation of a pressurised liquid extraction method for haloanisoles in cork stoppers, *Analytica Chimica Acta*, 540 (1), 17-24, 2005.
51. Nelder J. A., Mead R., A simplex method for function minimization, *The Computer Journal*, 7 (4), 308-313, 1965.
52. Brauers W. K., Zavadskas E. K. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics*, 35, 445-469. 2006.
53. Paksoy S., Çok Kriterli Karar Vermede Güncel Yaklaşımlar, Karahan Kitabevi, Adana, 2017.
54. Kecek G., Demirağ F. A., Comparative analysis of TOPSIS And MOORA in laptop selection. *Research On Humanities And Social Sciences*, 6, 1-9, 2016.
55. Zavadskas E. K, Turskis, Z., A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, *Technological and Economic Development of Economy*, 16 (2), 159-172, 2010.
56. Ertuğrul İ, Sarı, G., Özçil A., Öztaş, T., Evaluating of countries' global financial development criterias based on ARAS and COPRAS methods that countries in BSEC, UMTEB-I, April 8-10, Batumi – Georgia, 226-252, 2017.
57. Özbek A., Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2017.
58. Hasgöl Ö., Üretim Parametrelerinin Güçlü Tasarımı Ve Bir Gıda İşletmesinde Uygulanması, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Phd Thesis, İstanbul, 2010.
59. TMMOB Gıda Mühendisleri Odası, Türk Gıda Kodeksi Et Ve Et Ürünleri Tebliği (Tebliğ No: 2012/74) <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121205-12.htm> Erişim tarihi 29.01.18
60. Danacıoğlu N., Muluk F. Z., Taguchi techniques for 2k fractional factorial experiments, *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 34, 83-93, 2005.
61. Phadke, M. S., *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs New Jersey 07632, 1989.
62. Stat-Ease Inc. (Design-Expert ®), Minneapolis, MN. <http://www.statease.com/docs/v11/contents/optimization/numerical-optimization-algorithm.html> Erişim tarihi 30. 01.2018
63. Çiftçi İ., Gökçe H., Optimisation of cutting tool and cutting parameters in machining of molybdenum alloys through the Taguchi Method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 201-214, 2019.

