

# ÜRÜN VE SÜREÇLERİN GELİŞTİRİLMESİNDE DENEY TASARIMI: GIDA SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

*Araş. Gör.Dr.Özlem Hasgül\**

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde deney tasarımını kullanmak ve yöntemin kullanımının yaygınlaştırılmasına katkıda bulunmaktır. Çalışmada deney tasarımı hakkında temel bilgiler sunulmuş, 2<sup>3</sup> faktöriyel tasarımların kullanımına ilişkin gıda sektöründe bir uygulama yapılmıştır. Isıl işlem ile farklı üretim koşullarında pişirilen ürünlerin ağırlığını etkileyen faktörler ve bunların uygun üretim düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deney Tasarımı, Faktöriyel Tasarım

## Design Of Experiments For Product And Process Development: An Application In Food Production Sector

## ABSTRACT

The aim of this paper is to use of design of experiments to develop products and processes and to contribute to use it more commonly. In this work, the basic principles related to design of experiments is explained and 2<sup>3</sup> factorial design set up for food production sector has been constructed. After that, products have been cooked on hot own oven under different process conditions to study their effect on product weight.

**Keywords:** Design of Experiment, Factorial Design

## GİRİŞ

Ürün ve süreçlerin geliştirilmesi rekabet ortamındaki tüm işletmeler için öncelikli çalışma alanlarından biridir ve üretim kalitesinin artmasıyla birlikte işletme karlılığında önemli derecede artış sağlamaktadır. Ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde sürecin çıktısı ile süreci etkileyen faktörlerin birlikte değerlendirildiği deney tasarım yöntemleri bu tür problemlerin çözümünde etkili sonuç vermektedir.

Yeni bir sürecin tasarlanmasında ya da var olan bir sürecin performansının artırılmasında mühendislik tasarım faaliyetleri ve var olan bir ürünün geliştirilmesi, özelliklerinin ya

---

\* Balıkesir Üniversitesi, Bandırma İİBF, İşletme Bölümü

da görünümünün değiştirilmesi gibi amaçlar için deney tasarımı büyük önem taşımaktadır (Montgomery, 1999a: 160).

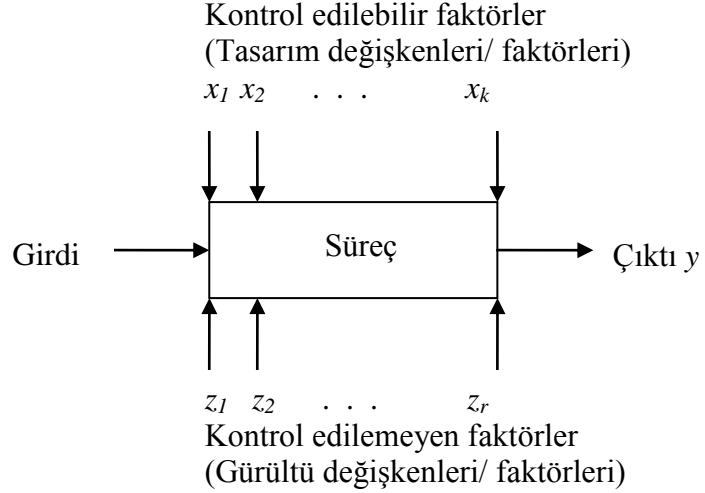
Ürün ve süreçlerin geliştirilmesi için yapılabilecek çalışmalar aşağıda verildiği şekilde özetlenebilmektedir (Antony ve Capon, 1998: 336):

- Ürün ve süreç tasarımında tasarım süresinin kısaltılması,
- Mevcut işletim koşullarından daha geniş bir aralık için süreç davranışını araştırmak,
- Üretim koşullarındaki değişkenliğin etkisinin minimize edilmesine çalışmak,
- Sürecin çalışma koşullarındaki davranışını anlamak ve performansını geliştirmek,
- Süreç produktivitesini (productivity) arttırmak ve hurda ve yeniden işleme vb. oranını azaltmak,
- Üretim sürecinin verimliliğini ve kararlılığını arttırmak,
- Ürünleri nem, titreşim, sarsıntı gibi çevresel değişkenlere karşı duyarsız yapmak,
- Sistem çıktısı ve bağımsız süreç değişkenleri arasındaki ilişkiyi araştırmak.

## ÜRÜN VE SÜREÇ GELİŞTİRMEDE DENEY TASARIMI

Sistem; insan, makine, malzeme, yöntem, donanım ve diğer kaynakların girdi olarak kombine edildiği ve bir ya da daha fazla yanıt değişkeni (response variable) ile ifade edilen çıktıya ( $y$ ) dönüşüm sürecidir. Bu değişkenlerin bazıları,  $x_1, x_2, \dots, x_k$  olarak gösterilen ve istenilen bir hedef değere göre ayarlanabilen kontrol edilebilir faktörlerdir (controllable factors, parametre, tasarım değişkenleri). Buna karşın;  $z_1, z_2, \dots, z_r$  faktörleri kontrolü zor olan ya da kontrol edilemeyen faktörler yani gürültü faktörleridir (uncontrollable factors, noise factors). Burada  $k$ , kontrol edilebilir faktör sayısı,  $r$  ise kontrol edilemeyen faktör sayısı olduğunda sistem performansını etkileyen  $p=k+r$  faktör bulunmaktadır (Montgomery, 1999a: 159).

Ürün ve süreçlerin geliştirilmesi için ele alınan bir sistemde amaç, sistem yanıtının sahip olduğu kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisine karar vermektir. Ancak, faktörleri iki kategoriye bölmek için kesin bir sınıflandırma sistemi mevcut değildir. Bunun için kontrolün fiziksel ve ekonomik uygunluğu göz önüne alınmalıdır (Kolarik, 1995: 437). Aşağıda verilmekte olan Şekil-1'de bir sistem ya da sürecin modeli görülmektedir (Montgomery, 2001b: 2):



Şekil: .

Burada kontrol edilemeyen faktörler ve üretim performansı arasındaki matematik ilişki çoğu zaman çok karmaşık olmakta ya da bilinmemektedir. Gerekli özelliklerin sağlanması için de deneysel yaklaşım yoluna gidilmektedir (Andersson, 1997: 76). Bir ürün veya sistem tasarımı için bu nedenle yapılacak deneyin amaçları;

- Çıktı değişkeni  $y$  üzerindeki en etkili faktörlerin belirlenmesi,
- En etkili  $x$ 'ler kümesinin belirlenmesiyle  $y$ 'nin arzulanan ortalama değere yaklaşması,
- En etkili  $x$ 'ler kümesinin belirlenmesiyle  $y$ 'nin değişkenliğinin azaltılması,
- En etkili  $x$ 'ler kümesinin belirlenmesiyle kontrol edilemeyen  $z_1, z_2, \dots, z_r$  faktörlerinin etkisinin azaltılması şeklinde sıralanabilir (Montgomery, 2001a: 2).

## TAM FAKTÖRİYEL DENEY TASARIMI

R. A. Fisher'in geliştirdiği çok faktöriyelli deney tasarımları (çok etkenli deneyler, tam eşlendirmeli deney/ factorial design) faktörlerin birbirleriyle etkileşmeleri durumunda kullanılan deney tasarımı yöntemlerindedir (İzgiz, 2001: 11).

Bu tasarımlarda faktörler ve düzeylerine ilişkin tüm olası kombinasyonların tam denemesi ve tekrarı yapılır. Böylece,  $a$  sayıda düzeye sahip  $A$  faktörü ve  $b$  sayıda düzeye sahip  $B$  faktörünün  $axb$  olası kombinasyonlarının tümü ile çalışma yapılır (Miller vd, 1990: 432). Faktöriyel deneylerin uygulanmasındaki bir dezavantaj, faktör ya da düzey sayısındaki artış

ile birlikte işlem kombinasyonundaki sayının da hızlı artış göstermesidir. Örnek olarak üç faktörlü bir  $2 \times 3 \times 5$  faktöriyel tasarımı  $2 \times 3 \times 5 = 30$  deneme gerektirirken,  $2 \times 2 \times 2$  faktöriyel tasarımı da  $2^3 = 8$  deneme gerektirir. Bu durumda çözüm sağlamanın bir yolu kesirli deney uygulamak diğer yolu da faktör sayısını makul bir sayıda tutarak her faktörü iki düzeyle sınırlamaktır. Genel ifadesiyle  $2^k$  tasarımlar kalite geliştirmede gereken deneysel gereksinimlerin büyük bölümünü karşılarken gerekli deneme sayısını da makul düzeyde tutmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada  $2^3$  faktöriyel tasarımın kullanılması uygun görülmüştür (Baray ve Sarı, 2006: 41; Box, Hunter ve Hunter, 1978: 306).

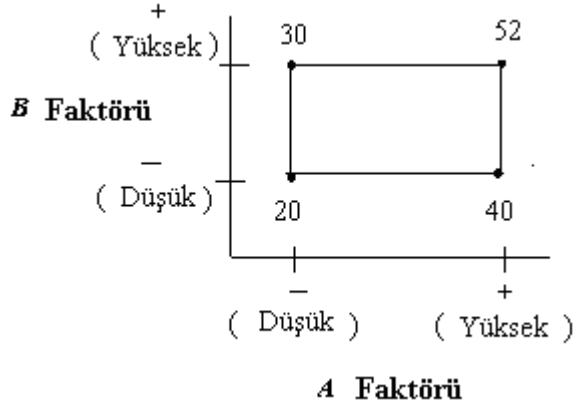
Bir faktörün etkisi, faktör düzeylerindeki bir değişikliğin yanıt üzerindeki meydana getirdiği değişimdir. Bu durum genellikle ana etki (main effect) olarak tanımlanır (Montgomery, 2001a: 170). Faktör etkilerinin analiz edilmesi için de deneysel (ampirik/ empirical) matematik model geliştirilmiştir. Bu yöntem ortalama analizi (ANOM, Analysis of Means) olarak adlandırılmaktadır (Fowlkes ve Creveling, 1993: 127).

Faktöriyel deneylerde ana etkinin tahmini için faktörleri *A* ve *B* olarak adlandırılan bir örnek dikkate alındığında deneydeki *A* ve *B* faktörüne ilişkin düzeyler “Düşük” ve “Yüksek” olarak adlandırılmakta ve “-” ve “+” olarak ifade edilmektedir. *A* ve *B* faktörünün *A* yüksek (+), *A* düşük (-), *B* yüksek (+), *B* düşük (-) düzeylerine ilişkin değerler Tablo 1’de gösterilmektedir. Bu tabloda yer alan değerler ilgili faktör ve düzeylerine karşı elde edilen yanıt değerlerine karşılık gelmektedir. Örneğin “20” değeri *A* faktörünün düşük (-) düzeyi ile *B* faktörünün düşük (-) düzeyinin kullanımıyla elde edilen yanıt değerini göstermektedir:

Tablo:1 İki Faktörlü Faktöriyel Deney

<i>B</i> Faktörü		
<i>A</i> Faktörü	<i>B</i> düşük	<i>B</i> yüksek
<i>A</i> düşük	20	30
<i>A</i> yüksek	40	52

Bu tablodaki değerlerin grafik gösterimi de Şekil 2’de verilmektedir. İlgili faktör düzeylerine ilişkin elde edilen yanıt değerleri köşelerde yer almaktadır (Montgomery, 2001: 170).



Şekil: 2 İki Faktörlü Faktöriyel Deney

A faktörünün ana etkisi için; A'nın "düşük" düzeyinin yanıt ortalaması ile A'nın "yüksek" düzeyinin yanıt ortalaması arasındaki fark alınır;

$$A = \frac{40 + 52}{2} - \frac{20 + 30}{2} = 21$$

A'nın "düşük" düzeyinden "yüksek" düzeyine geçişteki artışın ortalama yanıt üzerindeki etkisi "21" olarak belirlenmiştir. Benzer olarak B faktörünün etkisi de hesaplanabilir:

$$B = \frac{30 + 52}{2} - \frac{20 + 40}{2} = 11$$

Eğer bir faktör ikiden daha fazla düzeye sahipse, yukarıda verilen hesaplama yönteminde dönüşüm yapılır.

Bazı deneylerde, bir faktörün bir düzeyi dikkate alındığında diğer faktörün yanıt değişkeni üzerinde etkisinin farkı, diğer düzeyleri için oluşan farktan daha fazla ya da daha az olabilmektedir. Bu durumda, faktörler arasında etkileşim bulunmaktadır (Montgomery, 2001: 170). Bir faktörün yanıt değişkenine olan etkisi diğer faktörün hangi değerde bulunduğuna bağlı ise iki faktör arasında etkileşim olduğu görülmektedir (Şirvancı, 1007: 23).

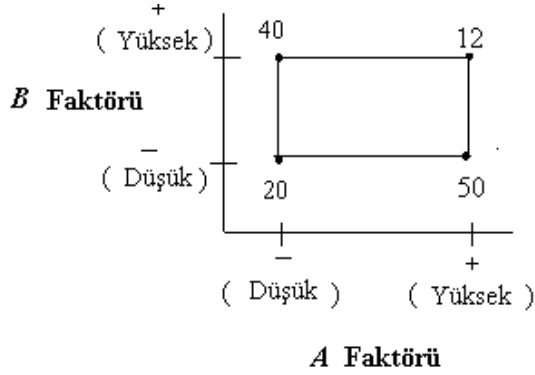
Aşağıda verilen iki faktörlü faktöriyel deney örneği dikkate alınacak olursa, B'nin "düşük" düzeyinin yani B(-)'nin dikkate alındığı durumda A'nın etkisi;

$$A = 50 - 20 = 30,$$

B'nin "yüksek" düzeyinin yani B(+)'nin dikkate alındığı durumda A'nın etkisi:

$$A = 12 - 40 = -28 \text{ olmaktadır.}$$

Bu örneğe ilişkin çizim Şekil 3'te verilmektedir.

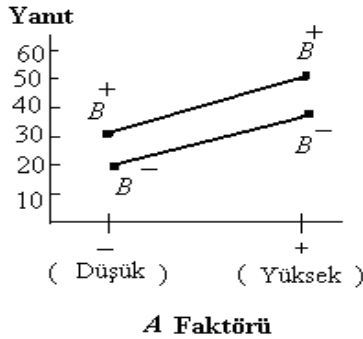


Şekil:3 Etkileşimli İki Faktörlü Faktöriyel Deney

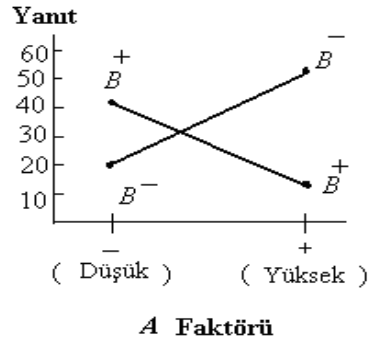
Burada  $A$  faktörünün etkisi,  $B$  faktörünün seçilen düzeyine bağlıdır yani  $A$  ve  $B$  arasında etkileşim bulunmaktadır.  $AB$  etkileşiminin deney etkisinin büyüklüğü,  $A$  faktörünün iki düzeyine ilişkin elde edilen etki farklarının ortalamasıdır. Şekil 3'te verilen örnek için  $AB$  etkileşiminin tahmini ortalama etkisi aşağıda verildiği şekilde hesaplanabilmektedir (Montgomery, 2001a: 171):

$$AB = \frac{(-28 - 30)}{2} = -29$$

Etkileşimlere ilişkin verilen örneklerin grafik üzerindeki görünümü Şekil 4'te verilmektedir. Şeklin (a) bölümünde görüldüğü gibi  $B(-)$  ve  $B(+)$  hatları yaklaşık olarak paraleldir. Bu durum  $A$  ve  $B$  faktörleri arasında etkileşimin olmadığını göstermektedir. Grafiğin (b) bölümündeki ise  $B(-)$  ve  $B(+)$  hatları paralel değildir. Bu durum  $A$  ve  $B$  faktörleri arasında etkileşim olduğunu göstermektedir. Bu grafikler etkileşimlerin anlamlı bir şekilde yorumlanmasında ve raporların kolay anlaşılmasında yardımcı olmaktadır (Montgomery, 2001a: 171).



(a) Etkileşimsiz Faktöriyel Deney

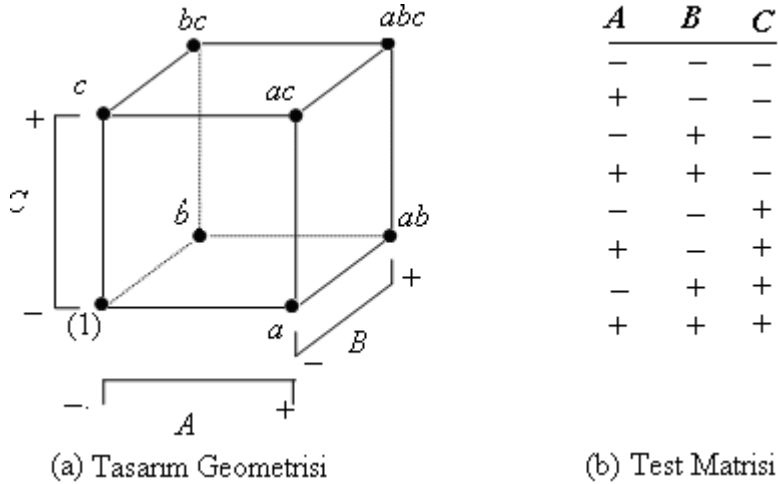


(b) Etkileşimli Faktöriyel Deney

Şekil:4 Faktöriyel Deney Etkileşim Grafikleri

 **$k \geq 3$  iken  $2^k$  Faktöriyel Tasarımlar**

İki düzeyli iki faktörlü faktöriyel tasarımların genişletilmesiyle daha fazla faktörle çalışılabilir.  $k=3$  olduğunda her bir faktörün de iki düzeyi varsa bu tasarım  $2^3$  faktöriyel tasarımı olup 8 faktör-düzyen kombinasyonuna sahiptir. Tasarım geometrik olarak küp ile gösterilir ve 8 deneme kübün köşelerinde yer almaktadır. Aşağıda verilmekte olan Şekil 5'de bu geometrik yapı incelenebilir (Montgomery, 2005c: 574, Myers ve Montgomery, 2002: 100):

Şekil:5  $2^3$  Faktöriyel Tasarımlar

Bu tasarım  $A$ ,  $B$ ,  $C$  olmak üzere üç ana etkinin,  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  iki faktör etkileşimlerinin ve  $ABC$  üç faktör etkileşiminin tahminine olanak sağlamaktadır. Model denklem (1)'de verildiği şekilde ifade edilmektedir:

$$y = \mu + A + B + C + AB + AC + BC + ABC + \varepsilon \quad (1)$$

Burada da  $\mu$ : genel ortalama  $\varepsilon$ ,  $\varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$  ile gösterilen rassal hata bileşenidir.

$A$  faktörünün ana etkisinin tahmini için önce kübün sağ tarafındaki değerlerin yani "yüksek" düzeyine ilişkin değerlerin ortalaması alınır ve sol taraftaki değerlerin ortalaması bundan çıkarılır (Montgomery, 2005: 576):

$$A = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} = \frac{1}{4n} [a + ab + ac + abc - b - c - bc - (1)]$$

(2)

Benzer olarak  $B$  ve  $C$  faktörlerinin etkisi de tahmin edilmektedir:

$$B = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - a - c - ac - (1)]$$

(3)

$$C = \bar{y}_{C^+} - \bar{y}_{C^-} = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - a - b - ab - (1)]$$

(4)

$AB$  etkileşiminin tahmininde  $C$  faktörünün “yüksek” ve “düşük” düzeylerine ilişkin elde edilen değerlerin ortalamalarının farkı değerlendirilmektedir.

$C$  faktörü “düşük” düzeyi ele alınırken:

$$AB (C^-) = \frac{1}{2n} [ab - b] - \frac{1}{2n} [a - (1)]$$

(5)

$C$  faktörü “yüksek” düzeyi ele alınırken:

$$AB (C^+) = \frac{1}{2n} [abc - bc] - \frac{1}{2n} [ac - c]$$

(6)

$AB$  etkileşiminin etkisi bu iki bileşenin ortalaması ile (kübün köşegen yüzeylerinin dikkate alınması ile)

$$AB = \frac{1}{4n} [ab + (1) + abc + c - b - a - bc - ac]$$

(7)

$AC$  ve  $BC$  etkileşimleri benzer şekilde tahmin edilmektedir:

$$AC = \frac{1}{4n} [ac + (1) + abc + b - a - c - ab - bc]$$

(8)



$$AB = \frac{1}{4n} [bc + (1) + abc + a - b - c - ab - ac]$$

(9)

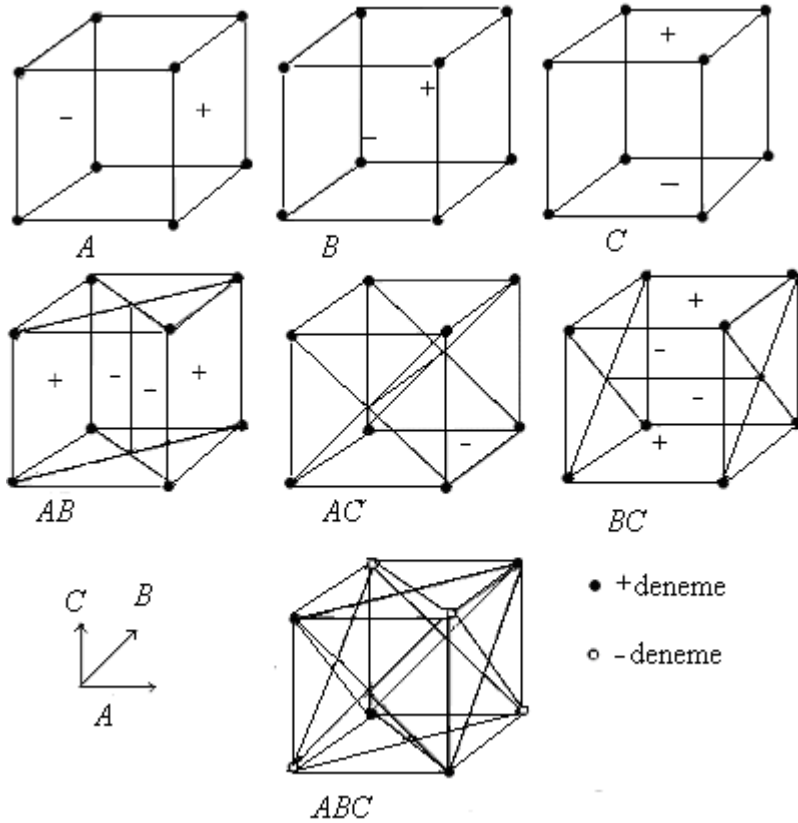
$ABC$  etkisi ise  $C$  faktörünün iki düzeyinin ortalamasının  $AB$  etkileşimi ortalama farkı ile tahmin edilmektedir.

$$ABC = \frac{1}{4n} \{ [abc - bc] - [ac - c] - [ab - b] - [a - (1)] \}$$

$$ABC = \frac{1}{4n} [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]$$

(10)

Ana etkiler ve etkileşimler için elde edilen bu bağıntıları gösteren grafik Şekil 6'da verilmektedir (Box, Hunter ve Hunter, 1978: 312; Myers ve Montgomery, 2005: 101):



Şekil:6  $2^3$  Faktöriyel Tasarımlarda Ana Etkiler ve Etkileşimler

Bu bağıntılar sekiz faktör–düzey kombinasyonunu oluşturmakta ve  $2^3$  faktöriyel için Tablo 2’de verilen (-), (+) işaretlerden oluşmaktadır. Burada sütundaki (+) işareti “yüksek” düzeyin, (-) işareti de “düşük” düzeyin kullanılacağı göstermektedir.

Tablo:2  $2^3$  Tasarımlarda Etkilerin İşaretleri

Deneme	Faktöriyel Etki							
	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	-	-	+	-	-	-
3	+	-	+	-	-	+	+	-
4	+	-	-	+	-	-	+	+
5	-	+	+	+	-	+	+	+
6	-	+	-	-	-	+	-	-
7	-	-	+	-	+	-	+	-
8	-	-	-	+	-	-	-	+

Tablo aynı zamanda aşağıdaki özellikleri de içermektedir (Box, Hunter ve Hunter, 1978: 383; Hines ve Montgomery, 423: 1990; Montgomery, 2005c: 577):

1. Herhangi bir sütunun elemanlarının karesi tüm elemanları (+) olan özdeşlik (kimlik, identity) sütununu vermektedir. Özdeşlik sütunu I harfiyle gösterilir. Örnek olarak  $1 \times 1 = 1^2 = I$ ,  $2^2 = I$ ,  $3^2 = I$ ,  $4^2 = I$  verilebilir,
2. I özdeşlik sütunu haricinde her bir sütun eşit sayıda (+) ve (-) işareti içermektedir,
3. Herhangi iki sütundaki işaretlerin çarpımlarının toplamı sıfırdır. Bu da ortogonal olma özelliğini sağlamaktadır,
4. Herhangi bir sütunun I sütunu ile çarpımı değişikliğe yol açmaz,
5. Herhangi iki sütunun çarpımı tablodaki başka bir sütuna karşılık gelmektedir. Örnek olarak;  $A \times B = AB$ ,  $AB \times ABC = A^2 B^2 C = C$  verilebilir.

Bağıntıların da hesaplanması sonucu, etkilerin kareler toplamı denklem (11)’de verilmekte olan formülle elde edilmektedir (Montgomery, 2005c: 577):

$$KT = \frac{(\text{bağıntı})^2}{n 2^2} \quad (11)$$

### Hipotez Testleri ve Varyans Analizi

Anakütle parametreleri hakkında bir varsayımın belirli bir anlamlılık düzeyinde ( $\alpha=1$ -güven düzeyi) geçerliliğinin örnek istatistiklerinden hareketle araştırılmasına Hipotez testleri adı verilmektedir. Hipotez testlerinin yapılmasında; hipotezlerin yazılması, anlamlılık düzeyinin belirlenmesi, örnek değerlerinden hareketle  $F$  değerinin belirlenmesi ve karar alınması aşamaları izlenmektedir (Orhunbilge, 2000: 131).

Çalışmada ana etki ve etkileşim etkisi için kurulan hipotezlere örnek aşağıda verilmektedir:

$A$  (Süre) faktörünün etkisini araştırmak için;

$$H_0: A_1 = A_2 = 0$$

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

İki faktör Süre ve Sıcaklık ( $AB$ ) arasında bağlantı olup olmadığının saptanması için:

$H_0$ : İki faktörün etkileşimi ortalamayı etkilememektedir.

$H_1$ : İki faktörün etkileşimi ortalamayı etkilemektedir.

Bu hipotezlerin test edilmesi için varyans analizi yapılmakta ve  $F$  değerleri hesaplanmaktadır.  $F$  istatistiği  $F$  örnekleme dağılımının bir terimidir ve iki parametrelili bir dağılım olan  $F$  dağılımı R. A. Fisher tarafından hesaplandığı için soyadının baş harfi ile gösterilmektedir (Çömlekçi, 2003: 55).

Üç faktörlü faktöriyel deney tasarımında varyans analizi modeli denklem (12)'de verilmektedir (Erbaş ve Olmuş, 2006: 157, 169; Montgomery, 2001a 177, 194):

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{l(ijk)} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{array} \right.$$

(12)

Burada,

$\mu$  : genel ortalama,

$\alpha_i$  :  $A$  faktörünün  $i$ . düzeyinin etkisi,

$\beta_j$  : B faktörünün  $j$ . düzeyinin etkisi,

$\gamma_k$  : C faktörünün  $k$ . düzeyinin etkisi,

$(\alpha\beta)_{ij}$  : A ve B arasındaki etkileşimin etkisi,

$(\alpha\gamma)_{ik}$  : A ve C arasındaki etkileşimin etkisi,

$(\beta\gamma)_{jk}$  : B ve C arasındaki etkileşimin etkisi,

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  : ABC üçlü etkileşimin etkisi,

$\varepsilon_{l(ijk)}$ , sıfır ortalama ve  $\sigma^2$  varyanslı normal dağılıma sahip rassal hata bileşenidir.

$\varepsilon_{l(ijk)} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$  ile gösterilir.

Üç faktörlü düzende kareler toplamları (KT) :

$$KT_{GENEL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (13)$$

$$KT_A = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn}$$

$$KT_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b y_{.j\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn}$$

$$KT_C = \frac{1}{abn} \sum_{k=1}^c y_{\dots k}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn}$$

$$KT_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - KT_A - KT_B$$

$$KT_{AC} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y_{i.k\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - KT_A - KT_C$$

$$KT_{BC} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{.jk\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - KT_B - KT_C$$

$$KT_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - KT_A - KT_B - KT_C - KT_{AB} - KT_{Ac} - KT_{BC}$$

$KT_{HATA} = KT_{GENEL} - KT_A - KT_B - KT_C - KT_{AB} - KT_{Ac} - KT_{BC} - KT_{ABC}$  şeklinde hesaplanır.

Tablo 3'te üç faktörlü sabit etkili düzen için varyans analizi sonuç tablosu verilmektedir (Erbaş ve Olmuş, 2006: 169; Montgomery, 2001a: 194):

Tablo:3 Varyans Analizi Sonuç Tablosu

Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı $KT$	Serbestlik Derecesi $sd$	Kareler Ortalaması (Varyans) $KO$	Test İstatistikleri ( $F$ )
$A$	$KT_A$	$a-1$	$KO_A$	$KO_A / KO_{HATA}$
$B$	$KT_B$	$b-1$	$KO_B$	$KO_B / KO_{HATA}$
$C$	$KT_C$	$c-1$	$KO_C$	$KO_C / KO_{HATA}$
$AB$	$KT_{AB}$	$(a-1)(b-1)$	$KO_{AB}$	$KO_{AB} / KO_{HATA}$
$AC$	$KT_{AC}$	$(a-1)(c-1)$	$KO_{AC}$	$KO_{AC} / KO_{HATA}$
$BC$	$KT_{BC}$	$(b-1)(c-1)$	$KO_{BC}$	$KO_{BC} / KO_{HATA}$
$ABC$	$KT_{ABC}$	$(a-1)(b-1)(c-1)$	$KO_{ABC}$	$KO_{ABC} / KO_{HATA}$
Hata	$KT_{HATA}$	$abc(n-1)$	$KO_{HATA}$	
Toplam	$KT_{GENEL}$	$abcn-1$		

## UYGULAMA

### Deneyin Planlanması

Deney tasarımının ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde kullanımı, ürünlerin kalite ve verimliliği için önemli katkılar sağlamakla beraber özellikle ürün ömrünün diğer endüstriyel ürünlere göre daha kısa olduğu gıda sektöründe daha çok önem kazanmaktadır. Beyaz et üretim süreci de ürünün tüketiminde görülen artışa bağlı olarak geliştirilmeye açık bir alandır ve farklı ürün ve süreçlere ilişkin uygulama örnekleri bulunmaktadır. Literatürde de yer alan çalışmalara örnek olarak ta Devineni'nin gıda ürünlerinden yağların çekilmesine ilişkin, Nguyen'in derin yağda kızartılmış (deep fat fried) ve fırınla pişirilmiş nuggetların kalitesinin artırılmasına yönelik, Li'in farklı hidrojenasyon derecelerine bağlı olarak nuggetların içerdiği yağ miktarının kalitesine etkisini araştırdığı çalışmalar verilebilir (Devineni, 1997: 1517; Nguyen, 2009:55; Li, 2005:1).

Bu çalışmada uygulama işletmesi olarak gıda sektöründe yer alan ve entegre tesisleri bulunan bir beyaz et (piliç, broiler) üreticisi seçilmiştir. Geliştirme amaçlı olarak ta çok tüketilen şekillendirilmiş iletir işlem ürünlerinden “Urfa Kebap” ürünü ele alınmış, bu ürünün ağırlığını etkileyen üretim parametrelerinin uygun düzeylerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada ürün ağırlığının etkilendiği bölüm olarak buharlı pişirme süreci dikkate alınmıştır. Buharla pişirme sürecinde üretilen şekillendirilmiş ürünler çiğ piliç eti, baharat ve katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Bu girdiler yabancı madde kontrolü, tartım aşamasından sonra ürünlerin türüne göre karıştırılmakta, daha sonra şekillendirilmekte, unlanıp ıslatıldıktan sonra galeta unu ile kaplanmakta 160–185°C sıcaklığında yağda kızartılmakta ve pişirme merkez sıcaklığı en az 72°C olacak şekilde buharla pişirme fırınına aktarılmaktadır. Buharla pişirme sonrasında sıcaklığın 1–4°C aralığına düşürülmesi için soğutulmakta ve ambalajlanmaktadır.

Ürünün ambalajlanması sırasında istenen ağırlık değerinin sağlanması işletme için önemli bir kriterdir ve ürün ağırlığının yüksek olması istenmektedir. Ürün ağırlığının yüksek olması ürünün besin değerinin ve duyuşal özelliklerinin (görünüm, tat...vb) sağlanması konusunda ölçülebilir bir gösterge olmaktadır. Ürünün ağırlığının yüksek olması bu nedenle ürün kalitesi için istenen bir durumdur ve işletme karlılığının artırılmasında etkilidir.

### ***Deneyin Tasarımı ve Yönetilmesi***

Pişirme süreci içinde ürün ağırlığını etkileyen ve üretim parametresi olarak adlandırılan faktörler ürünün pişirme süresi, pişirme sıcaklığı ve fan hızıdır. Çalışmada bu faktörlerin ve etkileşimlerinin ürün ağırlığı üzerindeki etkileri ve faktörlerin uygun düzeyleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Üretim sürecini etkileyen diğer faktörler, ürünün fırındaki konumu, ortam sıcaklığı, hammaddelerdeki değişkenlik, şekillendirme makinesindeki malzeme yoğunluğu ve buhar/nem miktarıdır. Bu faktörler kontrol edilemeyen faktörler olarak değerlendirilmiş ve kontrol edilebilir faktör düzeylerinin değerlendirildiği deney düzeninde yer almamışlardır. Amaç kontrol edilemeyen faktörlerin varlığına rağmen en uygun üretim parametre düzeylerini bulmaktır. Pişirme süreci için etkili görülen kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo:4 Kontrol Edilebilir ve Kontrol Edilemeyen Faktörler

Kontrol Edilebilir Faktörler	Kontrol Edilemeyen Faktörler
Piştirme Süresi	Ürünün Fırındaki Konumu
Piştirme Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı
Fan Hızı	Hammaddelerdeki Değişkenlik
	Şekillendirme Makinesindeki Malzeme Yoğunluğu
	Buhar/Nem

Kontrol edilebilir faktörlerin incelenecek düzey sayısının ve düzey değerlerinin belirlenmesinde işletme çalışanlarının deneyim bilgisinden yararlanmış ve Tablo 5’te verilmekte olan düzeylerin değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Düzey sayısının belirlenmesinde deneme maliyetleri ve süresi etkili olmuş düzey değerlerinin belirlenmesinde de ürünün merkez sıcaklığı düzeyine ilişkin yasal mevzuata uygunluğunun sağlanabileceği piştirme değerleri dikkate alınmıştır.

Tablo:5 Faktör ve Düzeyler

Kod	Faktör Adı	Birim	Düzeyler	
			1. düzey	2. düzey
A	Piştirme Süresi	dk.	3	3,5
B	Piştirme Sıcaklığı	°C	205	225
C	Fan Hızı	1/dk.	500	1000

Çalışmada incelenecek faktör sayısının üç ve düzey sayısının iki olmasından dolayı deney tasarımı modelinin tam faktöriyel tasarım olarak gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür. Bu şekilde  $2^3=8$  deneme ile tüm kombinasyonların denenmesi mümkün olacaktır.

Deneme düzeni yerleşimine göre faktörlerin ele alınan düzeyleri Tablo 6’da verilmektedir. Deneylerin uygulanmasında basit rassallaştırma yapılmış, deneme sırası rassal olarak belirlenmiştir. Deneylerin aynı üretim partisi içinde tamamlanması istendiği için zaman kısıtından dolayı 5 tekrar yapılmış, fırındaki parametre ayarlarının istenen düzeye getirilmesi

de zaman alıcı olduğundan her bir parametre ayarının yapılması sırasında tüm tekrar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo:6 Deneme Düzenine Göre Faktör Düzeyleri ve Ölçümler

Deneme	Rassal Sıra	Rassal Sayı	İşaretler			Parametreler			Ölçüm Sonuçları				
			Süre	Sıcaklık	Fan	Süre	Sıcaklık	Fan	Tekrar 1	Tekrar 2	Tekrar 3	Tekrar 4	Tekrar 5
1	5	0,50318	-	-	-	3	205	500	45	47	45	45	46
2	2	0,0678	+	-	-	3,5	205	500	42	43	44	42	42
3	1	0,01584	-	+	-	3	225	500	51	51	50	52	52
4	8	0,84304	+	+	-	3,5	225	500	53	55	54	51	54
5	3	0,16935	-	-	+	3	205	1000	45	45	45	43	44
6	4	0,38868	+	-	+	3,5	205	1000	51	50	50	48	49
7	6	0,62303	-	+	+	3	225	1000	51	51	53	51	51
8	7	0,81307	+	+	+	3,5	225	1000	48	51	48	49	51

### Sonuçların Analiz Edilmesi

Veri analizinin yapılması için deney tasarımı problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan MINITAB ® Release 14 programı ile Design Expert ® 7.0 programları kullanılmıştır. Sunduğu özet bilgilerin tablo biçiminden ve grafik görünümünün toplu halde gösterilme özelliğinden dolayı ANOM Ortalama Analizleri ve grafik analizlerinin yapılmasında MINITAB ® Release 14 programı seçilmiş, Faktör etkilerinin belirlenmesi ve Varyans analizi için ise Design Expert ® 7.0 programı kullanılmıştır (Minitab Inc., Stat-Ease).

### Ortalama Analizi

Ürün ağırlığı üzerinde etkili faktörlerin uygun düzeylerinin belirlenmesi için yapılan ortalama analizleri sonucunda düzeyleri arasında en çok farkın görüldüğü faktör, en yüksek etki derecesine sahip olan *B* faktörüdür. ANOM ortalama analizine göre *ABC* etkileşimi ikinci derecede, *BC* etkileşimi 3. derecede etkilidir. Faktör etkileri Tablo 7’de verilmektedir.



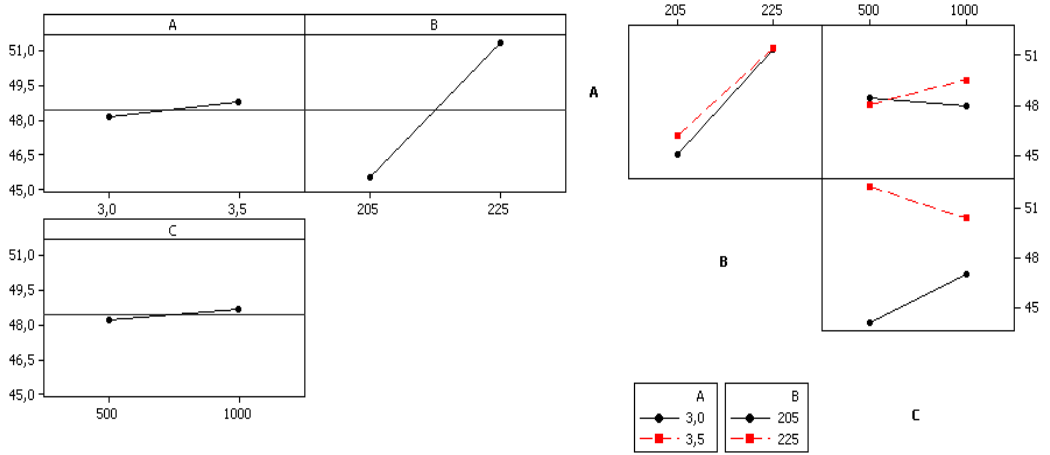
Tablo:7 Faktör Etkileri

Faktör	Düzyey		Ortalama	Etki
<i>A</i>	3		48,15	0,60
	3,5		48,75	
<i>B</i>	205		45,55	5,80
	225		51,35	
<i>C</i>	500		48,2	0,50
	1000		48,7	
<i>AB</i>	3	205	45	-0,50
	3,5	205	51,3	
	3	225	46,1	
	3,5	225	51,4	
<i>AC</i>	3	500	48,4	1
	3,5	500	47,9	
	3	1000	48	
	3,5	1000	49,5	
<i>BC</i>	205	500	44,1	-2,40
	225	500	47	
	205	1000	52,3	
	225	1000	50,4	
<i>ABC</i>	3	205	500	-3,10
	3,5	205	500	
	3	225	500	
	3,5	225	500	

3	205	1000	42,6
3,5	205	1000	49,6
3	225	1000	53,4
3,5	225	1000	49,4

### Grafik Analizi

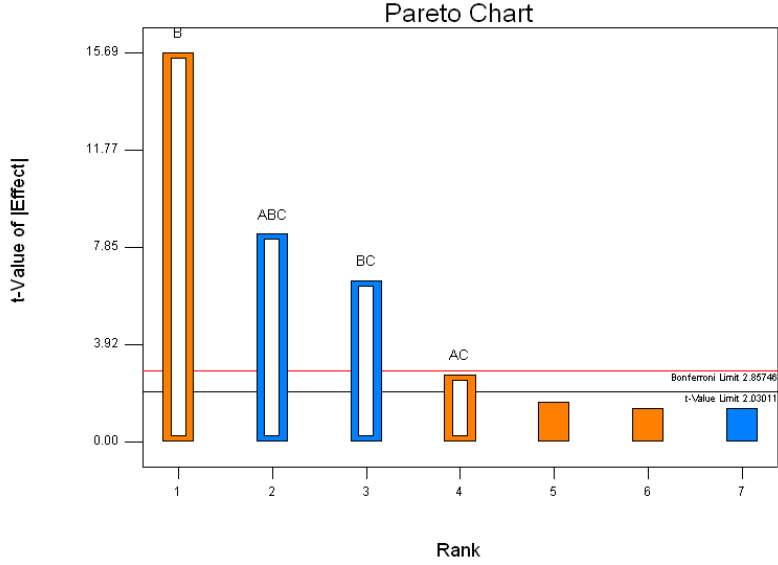
Ana etki grafiklerinin bulunduğu Şekil 7'ye göre *B* faktörü, *AC* ve *BC* etkileşimlerine ilişkin grafiklerde eğimin yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu faktör ve etkileşimlerin yanıt üzerindeki etkisinin yüksek olduğu söylenebilmektedir.



Şekil:7 Etki Grafikleri

### Modelleme ve Varyans Analizi

Ürün ağırlığı için varyans analizi yapılmasında öncelikle ortalama, grafik analizlerinden ve Pareto grafiğinden yararlanılarak kurulacak modelde yer alabilecek değişkenler belirlenmektedir. Yapılan denemeler sonucunda modele katkısı olmayan terimler modelden çıkarılmaktadır. Şekil 8'de yer alan Pareto grafiğine göre *B* faktörü ile *ABC*, *BC* ve *AC* etkileşimlerinin etkisi t-value limit değerlerinin üzerinde olduğundan modele dahil edilmişlerdir. Yapılan ortalama ve grafik analizleri de bu yapıyı desteklemektedir.



Şekil:8 Pareto Grafiği

Seçilen faktörlerin ana etkilerinin ve etkileşimlerinin ürün ağırlığı için anlamlı olup olmadığının belirlenmesi için hipotezler kurulmuş ve varyans analizi yapılmıştır.

Bu hipotezlerin test edilmesinde  $\alpha=0,05$  anlamlılık düzeyi dikkate alınmış  $F$  değerlerinin belirlenmesi sonucu  $p$  değerinin  $0,05$  değerinden küçük olduğu durumlar için ana etki ya da etkileşimin anlamlı olduğuna ilişkin karar alınmış ve faktör düzeylerinin ortalamaları arasında fark olmadığına dair kurulan hipotez red edilmiştir.

Hipotezlerin test edilmesi için yapılan ve Tablo 8’de verilmekte olan ANOVA tablosuna göre; B faktörü ve AC, BC, ABC etkileşimlerinin  $p$  değeri  $<0.05$  olduğundan modele katkıları anlamlıdır. Bu nedenle B faktörü ve AC, BC, ABC etkileşimleri için kurulan hipotezler reddedilmiştir. Ayrıca modelin uyum eksikliği (Lack of Fit) için  $p$  değeri  $0,05$  değerinden büyük olduğu için modelin matematik formunun uygun olduğu söylenebilmektedir.

Tablo:8 ANOVA Tablosu

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	Fp-value Value	Prob > F
Model significant	500.10	4	125.02	91.55	0.0001
<i>B-B</i>	<i>336.40</i>	<i>1</i>	<i>336.40</i>	<i>246.32</i>	<i>0.0001</i>
<i>AC</i>	<i>10.00</i>	<i>1</i>	<i>10.00</i>	<i>7.32</i>	<i>0.0105</i>
<i>BC</i>	<i>57.60</i>	<i>1</i>	<i>57.60</i>	<i>42.18</i>	<i>0.0001</i>
<i>ABC</i>	<i>96.10</i>	<i>1</i>	<i>96.10</i>	<i>70.37</i>	<i>0.0001</i>
Residual	47.80	35	1.37		
<i>Lack of Fit significant</i>	<i>8.60</i>	<i>3</i>	<i>2.87</i>	<i>2.34</i>	<i>0.0919 not</i>
<i>Pure Error</i>	<i>39.20</i>	<i>32</i>	<i>1.23</i>		
Cor Total	547.90	39			

Std. Dev.	1,16864	R-Squared	0,91276
Mean	48,45	Adj R-Squared	0,90279
C.V. %	2,41205	Pred R-Squared	0,88605
PRESS	62,4327	Adeq Precision	27,3491

Factor	Coefficient		Standard Error	95% CI		VIF
	Estimate	df		Low	High	
Intercept	48,45	1	0,18478	48,0749	48,8251	
B-B	2,9	1	0,18478	2,52488	3,27512	1
AC	0,5	1	0,18478	0,12488	0,87512	1
BC	-1,2	1	0,18478	-1,5751	-0,8249	1
ABC	-1,55	1	0,18478	-1,9251	-1,1749	1

Varyans analizi çalışması sonucu elde edilen tahmin modeli aşağıda verilmektedir:

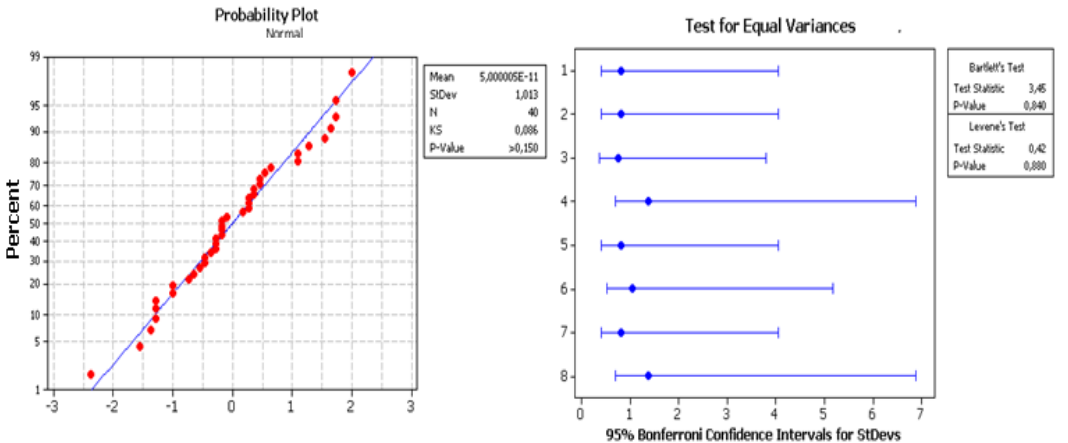
$$\hat{Y} = 48.45 + 2.90B + 0.50AC - 1.20BC - 1.55ABC$$

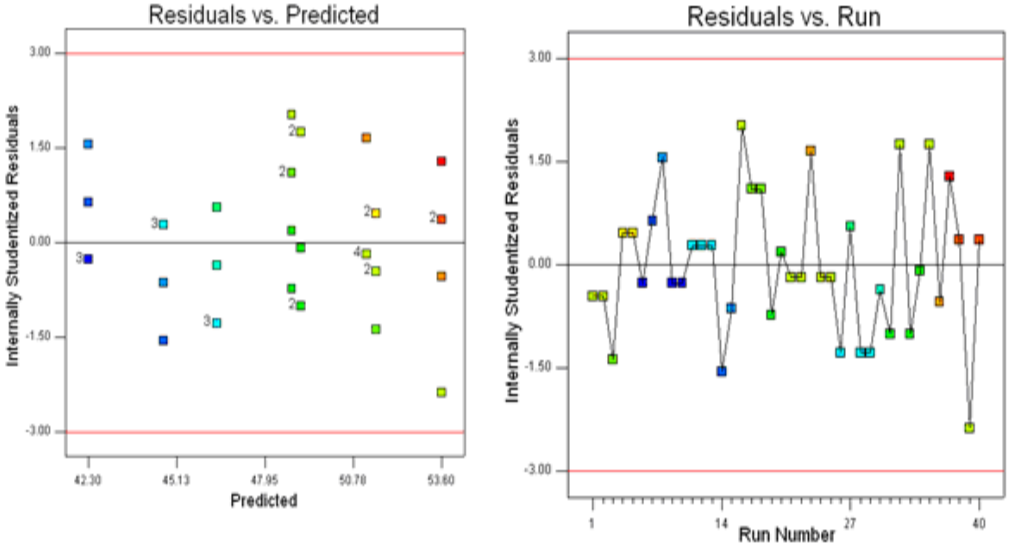
Yapılan Varyans Analizi sonucunda elde edilen ANOVA tablosu değerlerine göre modeldeki yüksek  $R^2$  ve  $R^2$  (Düzeltilmiş) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir.

### Modelin Yeterliliği

- Regresyon analizi sonuçlarına göre  $VIF$  değerlerinin 1'e eşit olması ( $VIF < 10$ ) çoklu doğrusal bağlantı olmadığını göstermektedir.
- Artık analizlerine göre Normal olasılık grafiği ve Kolmogorov-Smirnov test sonucuna göre ( $p > 0,15$ ) artıkların dağılımı normaldir.
- Artıkların tahmin edilen yanıt değerlerine göre çizilen grafiğinde belirgin bir desen bulunmamaktadır. Ayrıca studentize artıklar için yapılan Levene ( $p = 0,88$ ) ve Bartlett ( $p = 0,84$ ) testlerinin sonucu eşit varyanslılık varsayımının karşılandığı görülmekte ve Studentize artıkların büyüklüğünün tahmin değerinden bağımsız olduğu sonucuna varılabilmektedir.
- Artıkların deneme sırasına göre dağılımına ilişkin çizilen grafiğe göre belirgin bir desen gözlenmemesi sonucu zamana bağlı bir etkinin olmadığı ve artık değerlerinin büyüklüğünün  $\pm 3$  aralığında kalması sonucunda da uç değer bulunmadığı yorumunda bulunulabilir.

Bu sonuçlara göre ağırlık için oluşturulan model varsayımlarının karşılanmadığını gösteren bir işaret bulunmamaktadır. Varsayımların sağlanıp sağlanmadığının kontrolüne ilişkin grafikler Şekil 9'da verilmektedir.





Şekil:9 Model Varsayımları

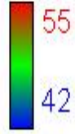
## Düzyer Önerileri

Gerçekleştirilen uygulama ile Urfa kebab şekillendirilmiş ürününün en yüksek gramaj değeriyle üretimini sağlamak için en uygun üretim parametrelerinin düzeyleri önerisinde bulunmaktadır. Bu düzeylere ilişkin öneride bulunulmasında yüzey ve izohips grafiklerinden ya da tahmin doğrusunun maksimum değerinin bulunması için doğrusal olmayan programlama tekniklerinden yararlanılabilmektedir. Bu çalışmada az sayıda faktör ve düzey ile çalışılmış olduğundan grafik yönteminin kullanılması uygun görülmüştür.

Varyans analizi sonucunda;  $B$ ,  $AC$ ,  $BC$  ve  $ABC$  faktör ve etkileşimlerinin etkileri anlamlı bulunduğu için düzey önerisinde bulunulurken her üç faktörün de aynı anda değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle 3 boyutlu görüntü sağlayan yüzey grafiklerinden yararlanılmıştır. Anlamlı etkileşimlerin tümünde  $C$  faktörü bulunduğu için  $C$  faktörünün farklı düzeyleri için çizilen grafikler yorumlanmıştır.

Şekil 10'da verilmekte olan yüzey grafiklerinde  $C$  faktörünün 500, 624, 750, 875 ve 1000 (1/dk) fan hızı değerlerine göre ürün ağırlığının nasıl bir değişim gösterdiği incelenebilmektedir. Çizilen grafiklere göre fan hızının artışı ağırlık yanıtı üzerinde düşüşe neden olmaktadır. Bu nedenle  $C$  faktörünün 500 (1/dk) düzeyinin seçilmesinin uygun olduğu karara varılmıştır. Ayrıca bu grafiklerde  $A$  faktörünün 3,5 dk. Pişirme süresinde,  $B$  faktörünün 225 °C pişirme sıcaklığında daha yüksek ağırlık değerlerini sağladığı görülmektedir. Buna göre önerilen üretim parametreleri düzeyleri  $A_2B_2C_1$  olmaktadır.

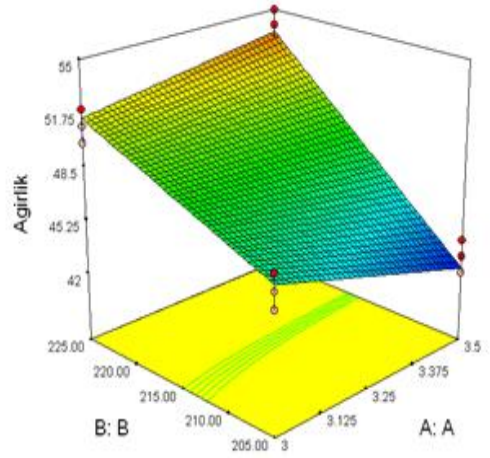
Agirlik



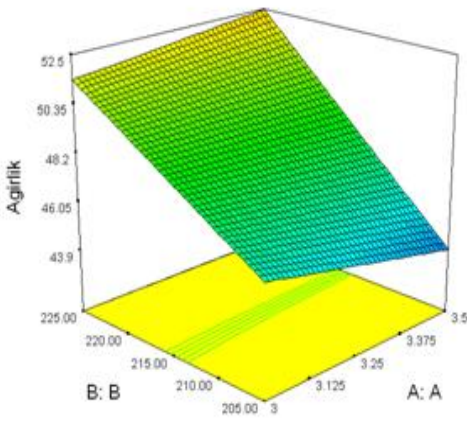
X1 = A: A

X2 = B: B

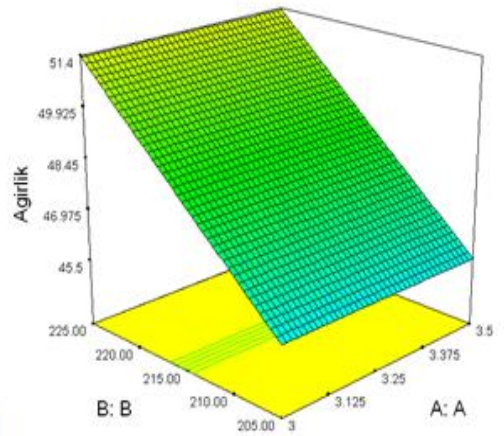
C: C = 500

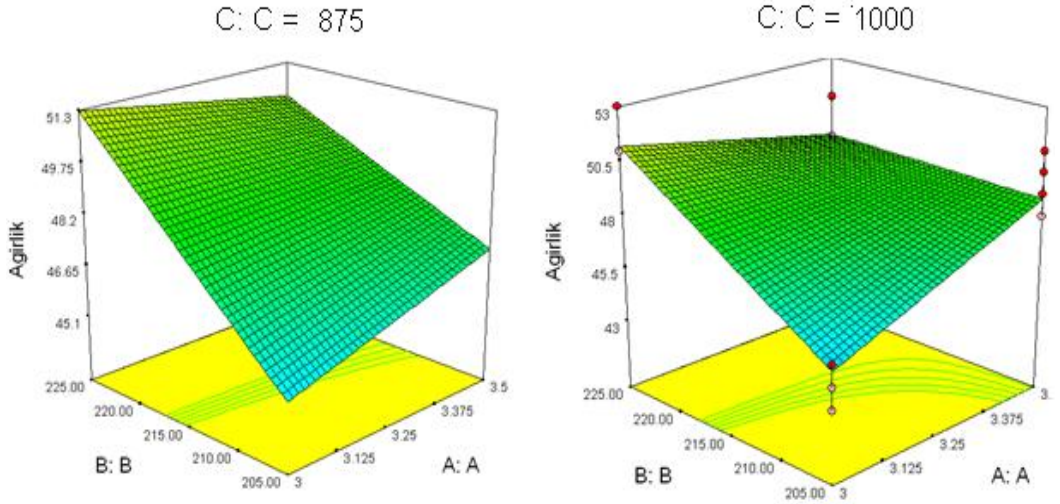


C: C = 625



C: C = 750





Şekil:10 Yüzey Grafikleri

## SONUÇ

Bu çalışmada entegre tesisleri bulunan bir beyaz et üretim işletmesinin çok tüketilen ileri işlem şekillendirilmiş ürünlerinden ve “Urfa Kebap” ürününün ağırlık özelliğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ürünün ağırlığını etkileyen ve etkisi araştırılacak faktörler belirlenmiştir. Bu faktörler; pişirme süresi, pişirme sıcaklığı ve fan hızıdır. Belirlenen tasarım düzeninde göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen gözlem değerleri ortalama, grafik ve varyans analizi ile değerlendirilmeye alınmıştır. Analizler sonucunda %95 güven düzeyinde etkili faktör ve etkileşimler belirlenmiş, çizilen yüzey grafikleri sonucunda düzey önerisinde bulunulmuştur. 3,5 dk. Pişirme süresinde, 225 °C pişirme sıcaklığında ve 500 (1/dk) fan hızı ile çalışılması sonucunda ürünlerin ağırlık değerleri yüksek olacaktır. Buna bağlı olarak yapılacak üretim parametreleri ayarları ile ürün ağırlığında yapılan geliştirme çalışması sonucunda müşteri memnuniyetinde ve işletme karlılığında artış sağlanabilecektir.



**KAYNAKÇA**

- ANDERSSON, Peder (1997). "On Robust Design in the Conceptual Design Phase: A Qualitative Approach", *Journal of Engineering Design*, Vol. 8, No. 1.
- ANTONY, Jiju, Nick CAPON (1998). "Teaching Experimental Design Techniques to Industrial Engineers", *Int. J. Engng Ed.*, Vol. 14. No.5, pp335-343.
- BARAY, Alp, Tuğba SARI (2006). "Kalite Geliştirmede Deneysel Tasarım Yöntemi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama", *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, C:35, Sayı:2, 37–62.
- BOX, George E. P., William G. HUNTER, J. Stuart HUNTER (1978). *Statistics for Experimenters an Introduction to Design, Data Analysis and Model Building*, John Wiley & Sons
- ÇÖMLEKÇİ, Necla (2003) *Deneysel Tasarım İlke ve Teknikleri*, İstanbul, Alfa Yayınları.
- DEVINENI, N., P., Mallikarjunan, M.S. Chinnan, R. D. Philips, (1997). Supercritical Fluid Extraction of Lipids from Deep-Fried Food Products, *JAOCs*, Vol 74, No 12
- ERBAŞ, Semra Oral, Hülya OLMUŞ (2006). *Deneysel Düzenleri ve İstatistik Analizleri*, Gazi Kitabevi, s. 412.
- FOWLKES, William Y., Clyde M CREVELING (1995). *Engineering Methods for Robust Product Design Using Taguchi Methods in Technology and Product Development*, Addison-Wesley Publishing Company.
- HINES, William W., Douglas C. MONTGOMERY (1990). *Probability and Statistics in Engineering and Management Science*, Third Edition, John Wiley & Sons, s. 732.
- İZGİZ, Savaş (2001). *Deneysel Tasarım ve Taguchi Metodu Ürün ve Proseslerin Optimizasyonu*, Federal Mogul, İstanbul, s.355.
- KOLARIK, William J. (1995). *Creating Quality, Concepts, Systems, Strategies and Tools*, McGraw-Hill Inc.
- Lİ, Yungsheng (2005). *Quality Changes In Chicken Nuggets Fried in Oils with Different Degrees of Hydrogeneration*, Department of Bioresource Engineering, Canada
- MILLER Irvin, John E. FREUND, Richard A. JOHNSON (1990). *Probability and Statistics for Engineers*, Fourth Edition, Prentice –Hall International, Inc.
- MONTGOMERY, Douglas C.b (1999b). "Experimental Design for Product and Process Design and Development", *The Statistician*, 49, Part 2, 159-177.

---

MONTGOMERY, Douglas C.(2001a). *Design and Analysis of Experiment*, New York, John Wiley&Sons.

MONTGOMERY, Douglas C. (2005c.). *Introduction to Statistical Quality Control*, Fifth Edition, John Wiley&Sons.

MYERS, Raymond, Douglas C MONTGOMERY (2002). *Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, Second Edition, John Wiley&Sons, pp. 798.

NGUYEN, Ngan K.( 2009). *Effect of Methylcellulose On The Quality and Shelf-lifes of Deep Fat Fried and Oven Baked Chicken Nuggets*, Texas Tech University,

ORHUNBİLGE, Neyran (2000). *Örnekleme Yöntemleri ve Hipotez Testleri*, Avcıol Basım Yayın, İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadı Yayın No: 8, 420 s.

\_\_\_\_\_ Meet MINITAB Release 14 for Windows®, Minitab Inc. September 2003, USA

\_\_\_\_\_ Stat-Ease, (Design-Expert ®-Help)

<http://www.statease.com/> Erişim: 12. 03.2010