

Sabun Üretim Prosesinin Cevap Yüzeyi Yöntemi ve İstenebilirlik Fonksiyonu Yaklaşımı ile Optimizasyonu

*¹Ali İhsan Boyacı, ¹Kasım Baynal ve ¹Yasemin Özdin

¹Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Departmanı, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

Özet

Bu çalışmada Cevap Yüzeyi Yöntemi ve İstenebilirlik Fonksiyonu Yaklaşımı ile sabun üretimi prosesinin optimizasyonu amaçlanmıştır. Sabunların en önemli kalite karakteristiklerinden olan köpük miktarı ve beyazlık oranı kriterleri yanıt değişkenleri olarak belirlenmiş ve eş zamanlı olarak optimize edilmeleri hedeflenmiştir. Bu kalite karakteristiklerini etkiledikleri düşünülen pişirme süresi, NaOH miktarı ve vazelin miktarı değişkenleri ise kontrol edilebilir girdi değişkenleri olarak deneye dâhil edilmişlerdir. Faktör seviyeleri, pişirme süresi için (5 -7,5 -10) dakika, vazelin kullanımı için (0- 7,5-15) ml, HaOH miktarı için ise (30- 45- 60) mg olarak belirlenmiştir. Box-Behnken tasarım matrisine göre deneyler yapılmış ve veriler toplanmıştır. Minitab paket programı kullanılarak her bir cevap değişkeni için yanıt yüzeyi fonksiyonları belirlenmiş ve istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı ile bütün cevap değişkenlerinin eş zamanlı olarak optimize edilmesi sağlanmıştır. Çalışma sonunda optimum faktör seviyeleri sırasıyla 8,13 dakika, 1,06 ml ve 47,57 mg olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sabun Üretimi, Cevap Yüzeyi Yöntemi, İstenebilirlik Fonksiyonu yaklaşımı

Optimization of Soap Production Process Using Response Surface Methodology and Desirability Function Approach

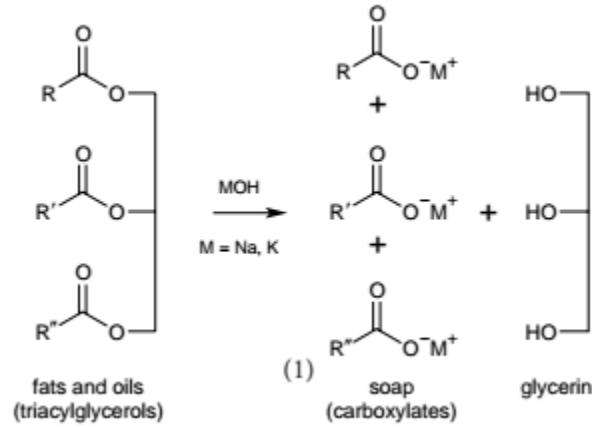
Abstract

In this study, the optimization of soap production process is aimed with Response Surface Methodology and Desirability Function Approach. The amount of foam and whiteness rate, which are among the most important quality characteristics of soap, were determined as response variables and were intended to be optimized simultaneously. The duration of cooking, the amount of NaOH and the amount of vaseline which are considered to affect these quality characteristics were included in the experiment as controllable input variables. Factor levels were determined to be (5 -7,5 -10) minutes for cooking time, (0-7,5-15) ml for vaseline amount and (30-45-60) mg for HaOH amount. Experiments were carried out according to the Box-Behnken design matrix and data were collected. Response surface functions were determined for each response variable using the Minitab package program and the desirability function approach was used to optimize all response variables simultaneously. As a result of this study, optimum factor levels were determined as 8,13 minutes, 1,06 ml and 47,57 mg, respectively.

Key words: Sabun Üretimi, Cevap Yüzeyi Yöntemi, İstenebilirlik Fonksiyonu yaklaşımı

1. Giriş

Soda kostik ile bitkisel yağların reaksiyonu sonucu elde edilen ve halk arasında doğal sabun olarak adlandırılan sabunlar, sıklıkla kullanılan ve vücut hijyeni için oldukça önemli kozmetik ajanlardan biridir [1]. Sabun üretiminde ana madde olarak katı ve sıvı yağlar kullanılmaktadır. Bununla birlikte sabun bileşiminde su, NaCl, NaOH ve diğer çeşitli katkı maddeleri bulunmaktadır. Yağlı madde karışımının seçimi, yerel ekonomik koşullara ve üründe bulunması istenen özelliklere (kir sökme, köpürme, nemlendirme, yumuşaklık verme vb.) göre yapılır. Sabunlaşma sürecinde Şekil 1’de görüldüğü gibi yağları oluşturan trigliseritler kendisini oluşturan yağ asitlerine ve gliserole parçalanmakta, yağ asitleri kullanılan sodyum veya potasyum hidroksite bağlı olarak yağ asitlerinin sodyum veya potasyum tuzuna dönüşmekte, gliserol ise serbest halde kalmaktadır. Sabun temelde yağ asitlerinin sodyum veya potasyum tuzlarından ibaret olsa da üreticinin tercihinine bağlı olarak parfüm ve boya maddeleri gibi ilave katkıları da kullanılabilmektedir.



Şekil 1. Sabunlaşma reaksiyonu

Sabun temizleme maksadı dışında, kozmetik, losyon, krem, sprej, ilaç yapımında kullanılır. Endüstride boya, plastik döküm, metal çekme işlerinde, sentetik kauçuk ve plastiklerin birçok türünün imalatında, su geçirmez tekstil üretiminde kullanılmaktadır [2]. Sabunun kalitesini belirleyen en önemli özelliklerin başında temizleme gücü, köpürme, nemlendiricilik, hoş koku ve güzel renk gelmektedir. Sabunlaşma sürecinin verimliliğini ve süreç sonucunda elde edilen sabunun kalitesini arttırmak üzere yapılmış birçok çalışma mevcuttur.

Türkşen ve Ertunç [3] çalışmalarında, sabunlaşma sürecini çok yanıtlı bir problem olarak ele almışlardır. Sürekli sabunlaşma süreci için, sodyum hidroksit, etil asetat derişimleri ve onların hacimsel akış hızlarını süreç faktörleri, sodyum hidroksit dönüşümünü maksimum ve işletme süresini minimum yapmayı amaçları olarak belirlemişlerdir. Sürecin modellenmesinde yanıt yüzey yöntemini, optimizasyonunda ise istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımını kullanmışlardır. Pathirana ve diğerleri [4], çalışmalarında, sabun imalat işlemi yapan bir şirkette, yerel sanayinin üretim sürecine Taguchi yönteminin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Yağ türü, NaOH miktarı, sabunlaşma sıcaklığı ve karıştırma süresini parametreler, toplam yağlı maddeyi kalite karakteristiği olarak belirlemişlerdir. Dört parametre için optimum kombinasyonu sırasıyla

hindistan cevizi yağı, %18, NaOH ve 80°C sıcaklık olarak belirlemişlerdir. Bu kombinasyon sonucu çıkan toplam yağlı madde değeri yerel sanayi üretim sürecine uygun düşmüştür. Mabrouk [5], çalışmasında, farklı yağ türlerini değişik miktarlarda kombinleyerek şeffaf ve opak sabunlar elde etmiştir. Bu sabunları sert ve yumuşak suda deneyerek köpürmelerini test etmiştir. Sabunların sert suda köpürmediği, yumuşak suda ise bütün sabunların köpürdüğü görülmüştür. Felix ve diğerleri [6], çalışmalarında, badem kabuğu, portakal kabuğu ve kullanılmış yağ gibi atık maddeleri kullanarak, kullanışlı, ucuz ve kaliteli bir yeşil sabun üretmeyi amaçlamışlardır. %50 kullanılmış yağ, %20 zeytin yağı, %15 palmye yağı, %15 hindistan cevizi yağı ile optimum sonucu elde etmişlerdir. Ayrıca bu kombinasyona sabunu yumuşatacağı ve koyulaştıracağı düşünülen katkı maddeleri eklenmişler ancak bunun bir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır.

Bu çalışma kapsamında sabunun pişirilme süresi, NaOH miktarı ve vazelin miktarı parametreleri göz önüne alınarak sabunun en önemli kalite karakteristiklerinden olan beyazlık oranı ve köpük miktarı maksimize edilmeye çalışılmış ve böylelikle sabun kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Cevap Yüzeyi Yöntemi (CYY) ve İstenebilirlik Fonksiyonu Yaklaşımı (İFY) kullanılarak sabunlaşma süreci çok yanıtı bir çerçevede ele alınmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde CYY ve İFY yöntemleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, sabunlaşma sürecine yönelik yapılan çalışma ayrıntılı olarak anlatılıp sonuçları yorumlanmıştır. Son bölümde ise çalışmadan elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

2. Metodoloji

2.1. Cevap yüzeyi yöntemi

Cevap yüzeyi yöntemi, bir ürünün veya sürecin kalite karakteristiklerinin istenen seviyede olmasını sağlayacak parametre değerlerinin araştırılması için kullanılan matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bütünüdür [7]. CYY bir sürecin performans karakteristikleri ile o sürecin parametreleri arasındaki ilişkiyi analiz etme, modelleme ve optimum parametre seviyesini elde etmek için etkin şekilde kullanılmaktadır [8].

Cevap yüzeyi yönteminde kullanılan teknikler, cevap değişkeninin yeterli ve güvenilir şekilde ölçülmesini sağlayacak etkin deney deseninin tasarlanması, tasarlanan deney düzeneğine göre toplanan verilere en iyi uyumu sağlayacak modelin kurulması ve optimum cevap değerini veren faktör seviyelerinin belirlenmesini kapsamaktadır [9].

Cevap yüzeyi yöntemi ilk olarak Box and Wilson tarafından kimya alanındaki araştırmalarda kullanılmıştır. Günümüzde ise CYY sanayi ve kimya başta olmak üzere bir çok alanda yeni bir ürünün formülasyonuna karar vermek, var olan ürün tasarımının iyileştirilmek ve süreç optimizasyonu amacıyla küresel çapta yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

$X_1, X_2, \dots, X_n$ ölçülebilir, sürekli ve kontrol edilebilir parametreleri ve Y cevap değişkenini göstermek üzere cevap yüzeyi şu şekilde ifade edilebilir;

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1)$$

Bu denklemdeki f ile ifade edilen cevap yüzeyi fonksiyonu birinci derece veya ikinci derece bir fonksiyon olabilir [3]. Birinci derece lineer fonksiyonlar daha az deney gerektirmesi ve katsayılarının tahminlenmesinin kolay olmasına rağmen çoğu zaman gerçek hayat problemlerini temsil etmede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle araştırmalarda kareli etkileri de göz önünde bulunduran ikinci derece cevap yüzeyi fonksiyonu daha sıklıkla tercih edilmektedir. İkinci derece cevap yüzeyi denklemi şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{\substack{j=2 \\ i < j}}^n \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (2)$$

Bu eşitlikte $X_1, X_2, \dots, X_k$ bağımsız değişkenleri, Y cevap değişkeni, $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}$ ($i = 1, 2, \dots, n$), β_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$) bilinmeyen model parametrelerini ve ε rastgele hata terimini göstermektedir [11]. İkinci derece cevap yüzeyi fonksiyonun parametrelerini tahminleyebilmek için en az üç seviyeli deney tasarımlarının kullanılması gerekmektedir. Bunun için üç seviyeli faktöriyel tasarımların yanı sıra, CYY için özel olarak geliştirilmiş ve deney sayısını başarılı şekilde azaltan Box-Behnken ve Merkezi Kompozit deney tasarımları gibi tasarımlar sıklıkla tercih edilmektedir [12].

2.2. İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı

İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı (İFY) çoklu cevap yüzeylerinin eş zamanlı optimizasyonu için en sık kullanılan yöntemlerden bir tanesidir [13]. Derringer ve Suich [14] tarafından tanımlanan İFY öncelikle her bir Y_t , ($t = 1, 2, \dots, m$) cevap değişkenini 0 ile 1 arasında değer alabilen ve d_t , ($t = 1, 2, \dots, m$) olarak tanımlanan tekil istenebilirlik değerine dönüştürür. Bu dönüştürme işlemi için aşağıda verilen üç tip fonksiyon tanımlanmıştır [3]. Bu fonksiyonlardan Eşitlik 3’de gösterilen fonksiyon “en büyük en iyidir” tipindeki, Eşitlik 4’de gösterilen fonksiyon “en küçük en iyidir” tipindeki ve Eşitlik 5’de gösterilen fonksiyon ise “hedef değer en iyidir” tipindeki cevap değişkenlerinin tekil istenebilirlik değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$d_t = \begin{cases} 0, & Y_t < A_t \\ \left(\frac{Y_t - A_t}{U_t - A_t} \right)^{s_t}, & A_t \leq Y_t \leq U_t \\ 1, & Y_t > U_t \end{cases} \quad (3)$$

$$d_t = \begin{cases} 1, & Y_t < A_t \\ \left(\frac{U_t - Y_t}{U_t - A_t} \right)^{l_t}, & A_t \leq Y_t \leq U_t \\ 0, & Y_t > U_t \end{cases} \quad (4)$$

$$d_t = \begin{cases} 0, & Y_t < A_t \\ \left(\frac{Y_t - A_t}{T_t - A_t} \right)^{a_t}, & A_t \leq Y_t \leq T_t \\ \left(\frac{U_t - Y_t}{U_t - T_t} \right)^{b_t}, & T_t \leq Y_t \leq U_t \\ 0, & Y_t > U_t \end{cases} \quad (5)$$

Bu eşitliklerde A_t , U_t ve T_t , t. cevap değişkeni için sırasıyla alt sınır, üst sınır ve hedef değerlerini, s_t l_t a_t b_t parametreleri ise t. cevap değişkeni için ağırlığı ifade etmektedir.

Tekil istenebilirlik değerleri elde edildikten sonra kompozit istenebilirlik değeri hesaplanarak bu değer maksimize edilmeye çalışılmaktadır. Böylelikle her bir cevap değişkeninin hedefine olabildiğince yakın olmasını saylayan kontrol değişkenleri kombinasyonu elde edilmektedir [15]. Derringer [16] kompozit istenebilirlik fonksiyonunu ağırlıklı geometrik ortalama olarak şu şekilde tanımlamıştır:

$$D = [d_1^{w_1} * d_2^{w_2} * ... * d_m^{w_m}]^{\frac{1}{\sum w_t}} \quad (6)$$

Bu eşitlikte D kompozit istenebilirlik değerini, w_t ise t. cevap değişkeninin önem değerini ifade etmektedir. Kompozit istenebilirlik değerini hesaplamak için ağırlıklı geometrik ortalama dışında, aritmetik ortalama, harmonik ortalama gibi farklı yaklaşımlar önerilmiştir [13].

3. Uygulama

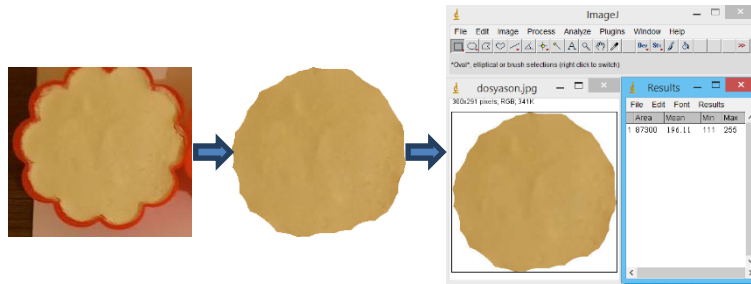
Bu çalışmada sabun üretim süreci CYY ve İFY yöntemleri ile çok yanıtlı çerçevede ele alınarak ürün kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Temizlik ve hijyen insanlığın tarihi kadar eski bir ihtiyaçtır. Bu ihtiyaç, İlkçağ'a kadar kül, kil veya bitki özleriyle giderilirken, özellikle 1850'den itibaren sanayide gerçek anlamıyla kullanılabilir bir şekilde büyük ölçüde üretilmeye başlanan sabun ile giderilmeye başlanmıştır. Günümüzde genellikle temizlik ve hijyen için kullanılan sabun kendine has ve karakteristik özelliklere sahiptir. Bu çalışmada sabun kalitesinin belirlenmesi amacıyla köpük miktarı (Y_1) ve beyazlık oranı (Y_2) özellikleri göz önünde bulundurulmuş ve değerlendirilmiştir. Sabunun kalitesini etkilediği düşünülen faktörler ise pişirme süresi (X_1), vazelin miktarı (X_2) ve NaOH miktarı (X_3) olarak belirlenmiştir.

Her bir deney için 200 ml yağ, 200 ml su ve 6 gr. NaCl (tuz) ile deney desenine göre NaOH ve vazelin kullanılmıştır. Yağ olarak ulaşılması basit ve ucuz olduğundan bütün deney kombinasyonları için aynı marka ve özellikte sıvı ayçiçek yağı kullanılmıştır. Bütün denemelerde aynı pH değerine sahip su ve yerel bir tedarikçiden temin edilen aynı özellikteki sofr tuzu kullanılmıştır.

Sabunların köpürme enerjisi ile temizleme özgünlüğü arasında sıkı bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bu nedenle sabunun köpürme miktarını değerlendirmek ve maksimize etmek oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında sabun kalitesini değerlendirmek için köpürme miktarı ölçülmüş ve maksimize edilmeye çalışılmıştır. Köpürme miktarını ölçmek için ölçülü deney kaplarında aynı sıcaklık, sertlik ve pH değerlerine sahip eşit miktarlardaki (10 ml) sulara sabunlar 30 saniye boyunca aynı hızda karıştırılmış ve oluşan köpük miktarları kaydedilmiştir.

Sabunun beyazlığı ise hoş görünümü ve farklı renklere boyanabilme açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle sabunun olabildiğince beyaz olması istenmektedir. Bu çalışmada deney

kombinasyonlarına uygun şekilde üretilen sabunların beyazlığını ölçmek için sabit bir düzenek oluşturulmuş ve bütün sabunların ayrı ayrı fotoğrafı çekilmiştir. Bu düzenekte kamera ve ışıklar belli bir yüksekliğe sabitlenmiş, sabunun üzerine konulacağı beyaz bir zemin hazırlanmıştır. Böylelikle ışığın, çekim açısının ve diğer çevresel faktörlerin etkisi ortadan kaldırılarak güvenilir bir ölçüm yapılması sağlanmıştır. Şekil 2’de görüldüğü gibi fotoğrafların öncelikle arka plan görüntüsü temizlenerek kalan sabun görüntüsü ImageJ adlı görüntü işleme programında analiz edilmiştir. Bilindiği gibi bilgisayar ortamında resimlerdeki gri tonları 0-255 arasındaki değerler ile ifade edilmektedir. Buna göre 0 siyahı 255 ise beyaz rengi temsil etmektedir. Bir resmin piksellerinin ortalama grilik değeri ne kadar 255’e yakınsa o resmin o kadar beyaza yakın olduğu ifade edilebilmektedir. Bu doğrultuda, sabun fotoğrafları ImageJ programı tarafından önce gri renk tonuna çevrilerek daha sonra beyazlık derecesi bütün piksellerinin ortalaması olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. Sabun beyazlığının ölçüm süreci

İkinci derece regresyon modeli kareli etkileri de göz önünde bulundurduğundan açıklama gücü doğrusal modele göre daha yüksektir. Bu nedenle çalışmada her bir cevap değişkeni ile faktörler arasındaki ilişkiyi ikinci derece regresyon modeli ile açıklamak hedeflenmiştir. Bu amaçla ikinci derece modellerin tahminlenmesinde yaygın bir şekilde tercih edilen Box-Behnken deney tasarımı kullanılmıştır. Deney tasarımının yapısına uygun olarak her bir faktör için üçer seviye belirlenmiştir. Faktörlerin seviyeleri literatür taramasına dayalı olarak ve sabunlaşma konusunda uzman bir ekibin görüşleri alınarak Tablo 1’de görüldüğü gibi belirlenmiştir.

Tablo 1. Faktörlerin deney seviyeleri

Kontrol Değişkenleri	Deney Seviyeleri		
	Düşük (+1)	Orta (0)	Yüksek (-1)
Pişirme süresi (X_1)	5 dk	7,5 dk	10 dk
Vazelin miktarı (X_2)	0 ml	7,5 ml	15 ml
NaOH miktarı (X_3)	30 mg	45 mg	60 mg

Daha sonra Minitab® paket programının 17.1.0 versiyonundan yararlanılarak deney deseni oluşturulmuş ve deneyler bu kombinasyonlara uygun şekilde rassal bir sıra izlenerek gerçekleştirilmiştir. Deney deseni ve ölüm sonucunda elde edilen veri seti Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deney deseni ve veri seti

Deney No	Faktörler			Cevap Değişkenleri	
	X_1 (dk)	X_2 (ml)	X_3 (mg)	Y_1 (ml)	Y_2
1	5	0	45	70	197,68
2	10	0	45	102,5	197,04
3	5	15	45	47,5	196,11
4	10	15	45	37,5	193,83
5	5	7,5	30	50	197,75
6	10	7,5	30	45	193,79
7	5	7,5	60	28,5	191,435
8	10	7,5	60	110	191,2
9	7,5	0	30	52,2	194,385
10	7,5	15	30	56	194,155
11	7,5	0	60	110	193,91
12	7,5	15	60	35,5	189,33
13	7,5	7,5	45	115	196,835
14	7,5	7,5	45	128	196,285
15	7,5	7,5	45	120	194

Cevap değişkenleri ile faktörler arasındaki regresyon modelleri aşamalı regresyon yöntemi kullanılarak tahminlenmiştir. Paket program ile yapılan analizler sonucunda köpük miktarı ve beyazlık oranı cevap değişkenleri ile faktörler arasındaki anlamlı ilişkiyi ifade eden regresyon denklemleri sırasıyla Eşitlik 7 ve Eşitlik 8’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

$$\hat{Y}_1 = -412,0 + 57,3 X_1 + 16,32 X_2 + 10,37 X_3 - 4,934 X_1^2 - 0,4584 X_2^2 - 0,1413 X_3^2 - 0,567 X_1 * X_2 + 0,577 X_1 * X_3 - 0,1740 X_2 * X_3 \quad (7)$$

$$\hat{Y}_2 = 185,76 - 1,473 X_1 + 0,275 X_2 + 0,858 X_3 - 0,01211 X_1^2 + 0,0248 X_1 * X_3 - 0,00967 X_2 * X_3 \quad (8)$$

Bu modeller için düzeltilmiş belirlilik katsayıları sırasıyla, %92,34 ve %83,72 olarak hesaplanmıştır. Yani cevap değişkenlerindeki değişkenliğin oldukça büyük bir kısmının faktörler tarafından anlamlı şekilde açıklandığı ifade edilebilmektedir.

Tablo 3. Köpük miktarı cevap değişkeni için ANOVA tablosu

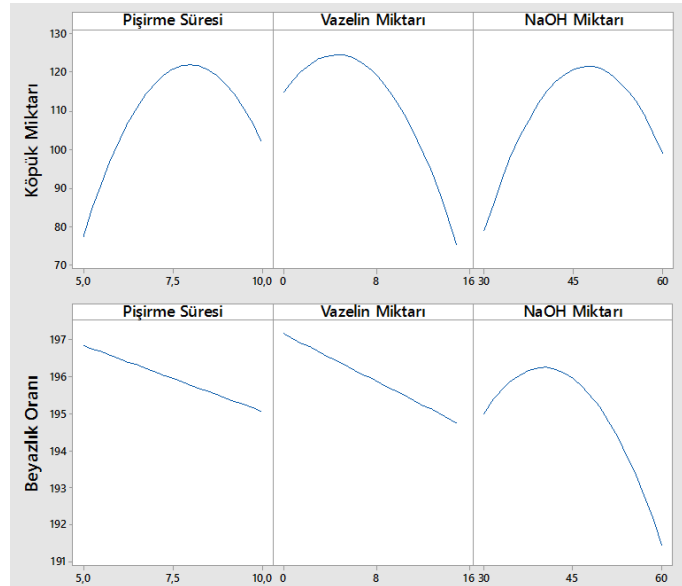
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Düzeltilmiş Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Model	9	17445,6	1938,39	19,76	0,002
Doğrusal	3	5169,6	1723,20	17,56	0,004
Kareli	3	8421,1	2807,03	28,61	0,001
2’li Etkileşim	3	3854,8	1284,95	13,10	0,008
Hata	5	490,6	98,12		
Toplam	14	17936,1			

Ayrıca modellerin istatistiksel olarak anlamlılığını sınamak için F testi yapılmış ve sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4’de verilmiştir. Tablolardan anlaşılacağı gibi her iki cevap değişkeni için kurulan modelin de $\alpha = 0,05$ hata payı ile anlamlı olduğu ifade edilebilir.

Tablo 4. Beyazlık oranı cevap değişkeni için ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Düzeltilmiş Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Model	6	78,952	13,1587	13,00	0,001
Doğrusal	3	43,047	14,3489	14,18	0,001
Kareli	1	27,706	27,7060	27,37	0,001
2’li Etkileşim	2	8,200	4,0998	4,05	0,061
Hata	8	8,098	1,0122		
Toplam	14	87,050			

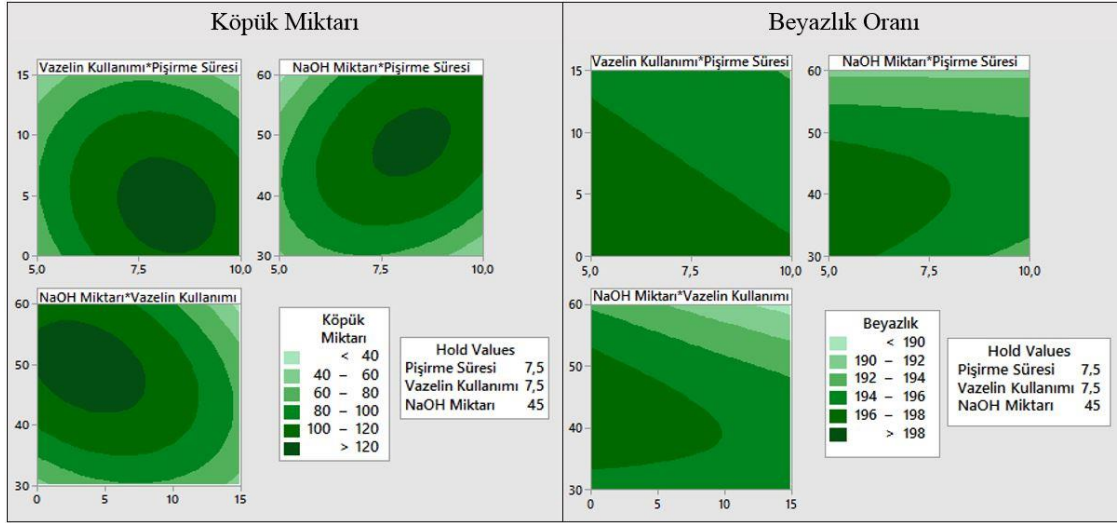
Şekil 3’de her bir cevap değişkeni ile faktörler arasındaki ilişkinin yönünü ve şiddetini ifade eden grafikler verilmiştir. Bu grafiklerden yola çıkarak, bütün faktörlerin köpük miktarı cevap değişkeni üzerinde doğrusal olmayan bir etkiye sahip olduğu ifade edilebilir. Ayrıca sabunun köpük miktarını maksimize edecek değerler pişirme süresi, vazelin miktarı ve NaOH miktarı faktörleri için sırasıyla 8.78 dk, 2,27 ml, 53,33 mg olduğu anlaşılmaktadır. Faktörlerin bu seviyelerin altında veya üstünde değer almasının köpük miktarını düşüreceği açıktır. Pişirme süresi ve vazelin kullanımı faktörlerinin beyazlık oranı cevap değişkeni üzerinde ters yönlü ve nispeten doğrusal bir etkisi varken NaOH miktarının ise doğrusal olmayan bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Beyazlık oranının maksimize edecek değerler pişirme süresi ve vazelin kullanımı faktörlerinin en alt seviyeleri iken NaOH kullanımı için 40,60 mg seviyesinde olduğu ifade edilebilir.



Şekil 3. Faktörlerin etki grafikleri

Şekil 4’de faktörlerin ikili etkileşimlerinin cevap değişkenleri üzerindeki etkilerinin grafikleri sunulmaktadır. Bu grafiklerden yola çıkarak, pişirme süresi arttıkça vazelin kullanımı ve NaOH

kullanımı faktörlerinin köpük miktarı üzerindeki etkisinin daha da güçlendiği söylenebilir. Ayrıca vazelin miktarı düşük olduğunda NaOH miktarı faktörünün köpük miktarını daha güçlü bir şekilde etkilediği de ifade edilebilir. Beyazlık oranı için bakıldığında, sabun bileşimindeki NaOH miktarı arttıkça vazelin miktarı faktörünün etkisinin artıp, pişirme süresi faktörünün etkisinin azaldığı görülmektedir. NaOH miktarının bileşim içindeki oranın azalmasıyla da bunun tam tersinin gerçekleştiği grafiklerden anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Faktörlerin ikili etkileşim grafikleri

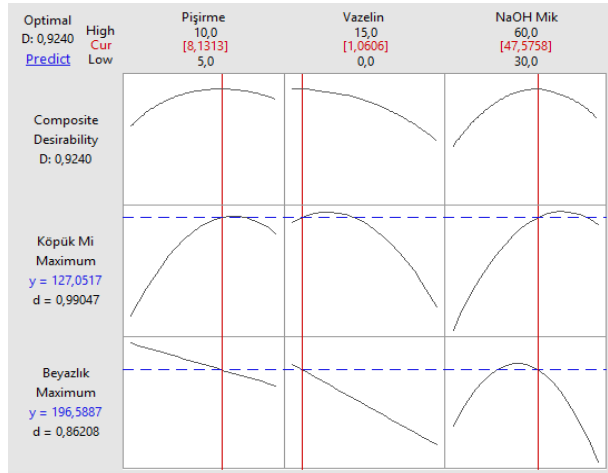
Grafik ve analizlerden her bir cevap değişkeni için optimum faktör seviyelerinin farklı olduğu görülmektedir. Ancak çalışma kapsamında iki cevap değişkenini aynı anda optimize edecek faktör seviyeleri kombinasyonu aranmaktadır. Bu amaçla Bölüm 2.2’de anlatılan ve çoklu yanıt yüzeylerinin optimizasyonu için sıklıkla tercih edilen İFY kullanılmıştır. Bu yöntemle öncelikle köpük miktarı ve beyazlık oranı cevap değişkenleri için sırasıyla Eşitlik 9 ve Eşitlik 10’da verilen tekil istenebilirlik fonksiyonları tanımlanmıştır. Her iki cevap değişkeni de maksimize edilmek istenildiğinden ikisi için de Eşitlik 3’de verilen istenebilirlik fonksiyonu kullanılmıştır.

$$d_1 = \begin{cases} 0, & Y_1 < 28,5 \\ \left(\frac{Y_1 - 28,5}{128 - 28,5} \right), & 28,5 \leq Y_1 \leq 128 \\ 1, & Y_1 > 128 \end{cases} \quad (9)$$

$$d_2 = \begin{cases} 0, & Y_2 < 189,3 \\ \left(\frac{Y_2 - 189,3}{197,7 - 189,3} \right), & 189,3 \leq Y_2 \leq 197,7 \\ 1, & Y_2 > 197,7 \end{cases} \quad (10)$$

$$D = [d_1 * d_2]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

Tekil istenebilirlik değerlerini elde ettikten sonra kompozit istenebilirlik değeri, Derringer [16] tarafından önerilen ağırlıklı geometrik ortalama yaklaşımı kullanılarak Eşitlik 11’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Cevap değişkenleri için önem değerleri eşit ve 1 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5. Tekil ve kompozit istenebilirlik grafikleri

Minitab® paket programı yardımıyla İFY uygulanarak her iki cevap değişkenini de maksimize edecek optimum faktör seviyeleri elde edilmiştir. Şekil 5’de faktörlerin aldığı seviyelere göre, cevap değişkenleri bazında tekil istenebilirlik ve kompozit istenebilirlik (composite desirability) değerleri grafikler halinde sunmaktadır. Bu grafiklere bakıldığında kompozit istenebilirlik değerini maksimize eden faktör seviyelerinin pişirme süresi, vazelin kullanımı ve NaOH kullanımı için sırasıyla 8,13 dakika, 1,06 ml ve 47,57 mg olduğu görülmektedir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, sabun üretim süreci, köpük miktarı ve beyazlık oranı kalite değişkenleri göz önünde bulundurularak çok yanıtlı bir çerçevede ele alınıp optimize edilmeye çalışılmıştır. Sabunun köpük miktarı temizleme gücünün bir göstergesi olması açısından, beyazlığı ise farklı renklere boyanabilme ve görünüm açısından oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında öncelikle sabun üretimi konusunda uzmanlardan oluşan bir ekip kurulmuş ve bu kalite karakteristiklerine etki ettiği düşünülen faktörler olarak, pişirme süresi (5dk-7,5dk-10dk), vazelin miktarı (0ml-7,5ml-15ml) ve NaOH miktarı (30mg-45mg-60mg) belirlenmiştir. Her bir faktörün üç seviyede değer aldığı ve böylelikle ikinci derece cevap yüzeyi modellerini tahminlemek için sıklıkla tercih edilen Box-Behnken tasarımı kullanılarak deney deseni oluşturulmuştur. Daha sonra deney matrisinde bulunan kombinasyonlara göre deneyler yapılarak veriler toplanmıştır.

Elde edilen veriler analiz edilerek her bir cevap değişkeni için ikinci derece regresyon modeli tanımlanmıştır. Modellerin parametrelerini hesaplamak için Minitab® paket programı yardımı ile en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Tanımlanan modellerin istatistiksel geçerliliği varyans analizi ile doğrulanmıştır. Analiz sonucunda köpük miktarı cevap değişkeninin her üç faktöründe ana etkisi ve kareli etkisi ile anlamlı şekilde ilişkili olduğu görülmüştür. Ayrıca köpük miktarı değişkeni tüm faktörlerin etkileşimli etkisi ile de ilişkilidir. Beyazlık oranı cevap değişkeni ise tüm faktörlerin ana etkileri ve NaOH miktarı faktörünün kareli etkisi ile ilişkili olduğu görülmüştür.

Son olarak her iki cevap değişkeninin birlikte optimizasyonu için İFY kullanılmıştır. Cevap değişkenleri için tekil istenebilirlik fonksiyonları tanımlanarak ve istenebilirlik değerleri

geometrik ortalama ile birleştirilerek problem tek yanıtlı bir probleme dönüştürülmüştür. Uygulama sonunda pişirme süresi, vazelin miktarı ve NaOH miktarı faktörleri için optimum değerler sırasıyla 8,13 dakika, 1,06 ml ve 47,57 mg olarak hesaplanmıştır. Optimum faktör seviyelerinde ortalama istenebilirlik değeri ise oldukça yeterli bir seviye olan 0,92 olarak elde edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Doğrul A, Gıynaş C. Fındık Yağlı Yüksek Kaliteli Sabun Üretimi. 3.Kozmetik Kongresi 2013; Antalya.
- [2] Akdoğan M. Yağın Sabuna Dönüşmesi. Gıda Katkı Maddeleri: Sorunlar ve Çözüm Önerileri 2011;45-47, Ankara.
- [3] Türkşen Ö, Ertunç S. Optimization of Saponification Process in Multi-Response Framework by Using Desirability Function Approach. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2015;19(2);141-149.
- [4] Pathirana CPS, Dayananda RA, Dias P, Nawarathne SB. Validation of Taguchi Design Using A Quality Parameter of Cosmetic Soap Manufactured in A Local Industry. Ruhuna Journal Of Science 2006;1;67–81.
- [5] Mabrouk ST. Making Usable, Quality Opaque or Transparent Soap. Journal of Chemical Education 2005;82(10);1534-1537.
- [6] Felix S, Araujo J, Pires AM, Sousa AC. Soap Production: A Green Prospective. Waste Management 2017;66;190-195.
- [7] Aslan N, Cebeci Y. Application of Box–Behnken design and response surface methodology for modeling of some Turkish coals. Fuel 2007;86;90–97.
- [8] Yavari S, Malakahmad A, Sapari NB, Yavari S. Sorption properties optimization of agricultural wastes-derived biochars using response surface methodology. Process Safety and Environmental Protection 2017;109;509–519.
- [9] Chehreghani S, Noaparast M, Rezai B, Shafaei SZ. Bonded-particle model calibration using response surface methodology. Particuology 2017;32;141–152.
- [10] Tang X, Luo J, Liu F. Aerodynamic shape optimization of a transonic fan by an adjoint-response surface method. Aerospace Science and Technology 2017;68;26–36.
- [11] Yang A, Han Y, Pan Y, Xing H, Li J. Optimum surface roughness prediction for titanium alloy by adopting response surface methodology. Results in Physics 2017;7;1046–1050.
- [12] Bezerra MA, Santelli RE, Oliveira EP, Villar LS, Escalera LA. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. Talanta 2008;76;965–977.
- [13] Boyacı Aİ, Hatipoğlu T, Balcı E. Drilling process optimization by using fuzzy-based multi-response surface methodology. Advances in Production Engineering & Management 2017;12;(2);163–172,
- [14] Derringer G, Suich R. Simultaneous optimization of several response variables. Journal of Quality Technology 1980;12;214-219.
- [15] Singh A, Datta S, Mahapatra SS, Singha T, Majumdar G. Optimization of bead geometry of submerged arc weld using fuzzy based desirability function approach. J Intell Manuf 2013;24;35–44.
- [16] Derringer G. A balancing act: optimizing a product's properties. Qual. Prog 1994;1;51–58.