

YANIT YÜZEY YÖNTEMİ VE GIDA İŞLEME UYGULAMALARI

Banu Koç*, Figen Kaymak-Ertekin

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

Geliş tarihi / *Received*: 15.11.2008

Düzeltilerek geliş tarihi / *Received in revised form*: 01.06.2009

Kabul tarihi / *Accepted*: 10.06.2009

Özet

Gıda mühendisliğinde optimizasyon, proseslerde işlem verimi ve ürün kabulünün yüksek olması için kullanılan önemli bir araçtır. Yanıt yüzey yöntemi, optimizasyonu da içeren istatistiksel bir tekniktir. Prosesi etkileyen parametreler bağımsız değişkenler, yanıtlar ise bağımlı değişkenler olarak adlandırılmaktadır. Optimum bölge, yanıtların izohips eğrilerinin çizilerek üst üste yerleştirilmesi (superimposing) veya desirability (istenilen hedefe ulaşma) fonksiyonu veya lineer olmayan programlama yaklaşımları kullanılarak belirlenir. Yanıt yüzey yöntemi gıda işlemede; çeşitli ürünlerin osmotik dehidrasyon koşullarının optimizasyonu, optimum püskürtmeli kurutma ve akışkan yatak kurutma koşullarının belirlenmesi, çeşitli enzimlerin üretim koşullarının optimizasyonu, pastörizasyon, ekstrüzyon, fırında pişirme gibi proseslerin optimizasyonunda 2000 yılından itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Optimizasyon, yanıt yüzey yöntemi, gıda işleme

RESPONSE SURFACE METHODOLOGY AND FOOD PROCESSING APPLICATIONS

Abstract

Optimization is an essential tool in food engineering for the efficiency of the processing operations and high acceptability of the processes yield. The response surface methodology is a statistical technique including optimization. The parameters affecting the process are called as independent variables while the responses are designated as dependent variables. Optimum regions are derived by superimposition of the contour plots or using desirability function or non-linear programming approaches. Response surface methodology has been widely used in many food processing application such as optimization of osmotic dehydration conditions of various products, determination of optimum spray drying and fluid bed drying conditions, optimization of fermentation conditions for enzyme production, optimization of baking, pasteurization and extrusion process conditions etc. since the beginning of 2000's.

Keywords: Optimization, response surface methodology, food processing

* Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*

✉ kocbanu@gmail.com, ☎ (+90) 232 388 4000/3006, 📠 (+90) 232 342 7592

GİRİŞ

Optimizasyon, prosesin belirlenen hedefler (yanıtlar) doğrultusunda, bağımsız değişkenlerin bir birleriyle olan etkileşimleri ve bu bağımsız değişkenlerin hedefe (yanıt) olan etkileri de göz önünde bulundurularak bir araya getirilip uygulanması işlemidir. Herhangi bir optimizasyon prosedürü, genellikle hedef fonksiyonu adı verilen önceden tanımlanmış kriterleri maksimize veya minimize etmek için (örneğin; ürün kalitesi veya kâr) karar (bağımsız) değişkenleri adı verilen belirlenen koşulların değiştirilmesini içerir (1). Bugün, rekabete dayalı piyasada optimizasyon teorisinin ve tekniklerinin uygulanması gereklidir. Optimizasyon proses tasarımlarını verimli hale getirmek (üretimi ve kaliteyi iyileştirmek ve maliyeti minimize etmek) için kullanılmaktadır. Bilgisayar yazılımlarında matematiğin, sayısal analizin ve mühendisliğin uygulanması ile son yirmi yılda optimizasyon teori ve tekniklerinde çok fazla ilerleme kaydedilmiştir. Gıda mühendisliği, proseslerde ve araştırmalarda, optimizasyon tekniklerinin uygulanması konusunda diğer mühendislik disiplinlerinden geride kalmıştır. Bu durumun en önemli nedeni gıda maddelerinin fizikokimyasal karakteristiğinin fazlasıyla karmaşık olması sebebiyle gıda maddelerinin çeşitli proseslerdeki davranışlarının simülasyonu ve modellenmesinin zor olmasıdır (2).

Deneme setlerinden türetilen basit empirik modellerin kullanıldığı Yanıt Yüzey Yöntemi (Response Surface Methodology), gıda bilimi ve teknoloji alanında yaygın olarak kullanılan bir optimizasyon tekniğidir. Bu derlemede yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon hakkında detaylı bilgi verilmesi amaçlanmış ve bu yöntemin gıda işlemede uygulandığı alanlardan kısaca bahsedilmiştir.

YANIT YÜZEY YÖNTEMİ (RSM)

Yanıt yüzey yöntemi, “Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması” ismi ile 1951 yılında Box ve Wilson tarafından geliştirilmiş ve tanımlanmıştır. İlk olarak kimya endüstrisine uygulanmıştır. Myers ve Montgomery (3) yanıt yüzey yöntemini, *proseslerin geliştirilmesi ve optimizasyonu için gerekli istatistiksel ve matematiksel tekniklerin birlikte kullanıldığı bir yöntem* olarak tanımlamıştır. Yanıt yüzey yöntemi, proses değişkenlerinin deneysel uzayını araştırmak için deneysel stratejileri, sistemin yanıtı ve üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan empirik modelleme tekniklerini ve proses değişkenleri-

nin sistemin yanıtında arzu edilen etkiyi gösterdiği seviyelerinin bulunması için kullanılan optimizasyon tekniklerini içermektedir (4). Genel olarak yanıt yüzey yöntemi 3 aşamadan (eleme denemeleri, bölge araştırması ve işlemin veya ürünün optimizasyonu) oluşmaktadır. Eleme denemeleri, daha az sayıda ve daha verimli esas deneme yapılmasına olanak sağlamaktadır. İkinci aşama olan bölge araştırmasında amaç, eleme denemeleri ile belirlenen bağımsız değişkenlerin sistemin yanıtında oluşturdukları değerlerin, optimum noktaya yakın sonuçlar verip vermediğini belirlemektir. Yanıt yüzey yönteminin üçüncü aşaması, işlem optimum noktaya yaklaşıldığında başlar. Gerçek yanıt fonksiyonu optimum nokta etrafında önemli bir eğrilik göstermektedir. Bu eğriliğin tahminlenmesinde lineer olmayan modeller, genellikle ikinci dereceden polinomiyal modeller, üssel modeller veya eksponensiyel modeller kullanılır. Uygun bir model elde edildikten sonra, bu model optimum noktanın araştırılmasında kullanılır.

Yanıt Yüzey Modelinin Oluşturulması

Birçok yanıt yüzey yöntemi probleminde, yanıt ve bağımsız değişken arasındaki fonksiyonun matematiksel formu genellikle bilinmediğinden tahminlenmesi gerekmektedir. Sistemin yanıtı, bağımsız değişkenin bir lineer fonksiyonu olarak iyi bir uyum veriyorsa, birinci dereceden polinomiyal denklem, model olarak kullanılabilir. Eğer sistemin yanıt yüzeyinde bir eğrilik varsa, ikinci dereceden polinomiyal denklemler gibi daha yüksek dereceli polinomiyal denklemler kullanılmalıdır. Birinci dereceden polinomiyal modeller gerçek yanıt yüzeyindeki eğriliği tahminlemede yetersiz kalmaktadır. İkinci dereceden polinomiyal modellerin yanıt yüzey yönteminde yaygın olarak kullanımının pek çok nedeni vardır: Esnekliği nedeni ile çok çeşitli fonksiyonel formlar alabildiğinden gerçek yanıt fonksiyonun tahminlenmesinde kolaylık sağlamakta, katsayı değerleri karmaşık hesaplamalar olmadan en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahminlenebilmekte ve optimum nokta matematiksel olarak kolayca belirlenebilmektedir. Yanıtların temsilinde kübik veya daha yüksek dereceli polinomiyal modellerin de çok sık olmasada kullanıldıkları fakat biyolojik terimlerin açıklanmasında güçlüklerin olduğu rapor edilmiştir (5).

Yanıt yüzey yöntemi uygulaması için üretilmiş çoğu paket program ikinci dereceden polinomiyal modeli kullanmaktadır. İkinci dereceden polinomiyal bir modelin sadece bir tane bölgesel mini-

mum veya bölgesel maksimum noktası olduğu için optimizasyon çalışmasında ikinci dereceden polinomiyal bir model kullanımı kolay bir yaklaşımdır. Eğer ikinci dereceden bir modele uygun değilse yanıtın veya bağımsız değişkenlerin transformasyonu yapılarak veya bağımsız değişkenlerin aralıkları uygun bir şekilde değiştirilerek yanıtın eğiliminin bu model ile açıklanması sağlanmalıdır (6). Biyokimyasal proseslerde sıcaklığın etkisi simetrik veya simetrik olmayan çan şeklindeki eğrilerle açıklanabilmektedir. Özellikle simetrik olmayan eğriler için, sıcaklığın etkisini ikinci dereceden polinomiyal bir model ile açıklamak mümkün değildir.

Üssel (Power) modeller de polinomiyal modellerle benzeyen empirik modellerdir ve polinomiyal modellerin bazı dezavantajlarını elimine ederler. Araştırmacılar tarafından kullanılan üssel modeller Eşitlik (1) ve (2) de gösterilmiştir. Bu modellerin katsayıları da en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahminlenebilmektedir. Ancak bir dezavantaj olarak üssel modeller de polinomiyal modeller gibi veri gurubu dışını tahminleyemezler.

$$y_i = \beta_0 + \sum_{l=1}^m \beta_l x_i^{r_l} \quad (1)$$

$$y_i = \beta_0 + \sum_{l=1}^m \beta_l (x_i - x_{0,l})^{r_l} \quad (2)$$

Üs r_i 'nin negatif olması ters terimleri oluşturur ve bu durum yanıtta pik ile temsil edilir. Üssel model kullanılarak tahminlenen yanıtların bazı durumlarda transformasyonunun deneysel verilerin temsiliyi iyileştirdiği rapor edilmiştir (5).

Yanıtların tahminlenmesinde kullanılan exponansiyel modeller Eşitlik (3), (4) ve (5)'te gösterilmiştir. Eşitlik (4)'te olduğu gibi pek çok exponansiyel model tek bağımsız değişken içermektedir. Birden fazla bağımsız değişken içeren exponansiyel modeller (Eşitlik 3 ve 5) yanıtı logaritma transformasyonu yapıldıktan sonra kullanılabilir.

$$\log y_i = \beta_0 + \sum_{l=1}^m \beta_l x_i \quad (3)$$

$$y = \beta_0 (1 - e^{(-\beta_1 x)}) \quad (4)$$

$$\log \left(\frac{y_o - y_i}{y_i} \right) = \beta_0 + \sum_{l=1}^m \beta_l x_i \quad (5)$$

Model Parametrelerinin Tahminlenmesi

Çok yaygın olarak kullanılan lineer regresyon analizi, bağımlı değişken (yanıt) ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi fonksiyonel olarak inceleyen istatistiksel bir tekniktir. Polinomiyal modeller gibi lineer olan herhangi bir model, oluşturduğu yanıt yüzeyin şekli ne olursa olsun lineer regresyon modelidir. Çoklu lineer regresyon modelinde, regresyon katsayıları en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahminlenmektedir (3,7). En küçük kareler yönteminin uygulandığı, yanıt yüzeyin tahminlenmesinde kullanılan ikinci dereceden polinomiyal denklem Eşitlik (6)'daki gibidir. En küçük kareler yöntemi uygulanırken; seçilen modelin matematiksel formunun uygun olduğu, dolayısıyla gerçek ortalama yanıtı temsil edebildiği, denemelerde rastgele hatanın (ϵ) birbirinden bağımsız normal dağılış gösterdiği, ayrıca beklenen değerinin ($E[\epsilon]=0$), ve varyansının (σ^2) sabit ($Var[\epsilon]=\sigma^2$), ($\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$) olduğu varsayılmıştır (3,8). Rastgele hatanın (ϵ_i) normal dağılıma sahip olması katsayılar ve regresyon modelinin önemliliği üzerinde yapılan hipotez testlerinin geçerliliği açısından önemlidir. Rastgele hatanın (ϵ_i) birbirinden bağımsız ve varyansının sabit olması ise en iyi yansız (unbiased) tahminleyicilerinin elde edilmesini sağlamaktadır (9).

$$y_i = \beta_0 + \sum_{l \leq j \leq m} \beta_j x_j + \sum_{l \leq j \leq k \leq m} \beta_k x_j x_k + \epsilon_i \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (6)$$

Burada, n gözlem sayısını, m bağımsız değişken sayısını, y_i bağımlı değişkenin i 'inci gözlem değerini, x_{ij} i 'inci gözlemin j 'inci bağımsız değişkenini, β 'lar tahminlenecek model katsayılarını, ϵ_i ise i 'inci gözlemdaki rastgele hatayı ifade etmektedir.

Model Uygunluğunun Test Edilmesi

Regresyon modeli tahminlendikten sonra bu denklemin ilişkiyi ne derece açıkladığının ve bu denklemin kullanarak yapılacak tahminlerin ne derece hassas olacağının araştırılması gerekmektedir (10). Yapılan varsayımlardan biri olan, seçilen modelin matematiksel formunun uygun olduğu, dolayısıyla gerçek ortalama yanıtı temsil edebildiği de test edilmelidir. Bu amaçla, varyasyon katsayısının (C.V) hesaplanması, regresyon analizine hipotez testlerinin uygulanması, hipotez testlerinin regresyon katsayılarına bireysel olarak uygulanması, regresyon katsayısının (R^2) ve düzeltilmiş regresyon

katsayısının hesaplanması (R^2_{adj}), tahminlenmiş kalıntı hata kareler toplamının (PRESS) hesaplanması, yeterli tahminleme (adequite precision) değerinin hesaplanması, model uygunsuzluğunun test edilmesi (lack of fit testi) ve kalıntı analizi gibi farklı test yöntemleri uygulanmaktadır.

Model Uygunsuzluğu (Lack of Fit) Testi

Yanıt yüzey yönteminde, tasarım edilmiş denemelerden alınan veriler, regresyon modeline fit ettirilmektedir. Elde edilen bu model gerçek yanıt fonksiyonuna sadece bir yaklaşım olduğu için, tahminlenen değerler ile deneysel veriler arasındaki fark (kalıntı), sadece saf deneysel hatayı değil modelin matematiksel formunun uygunsuzluğundan kaynaklanan hatayı da içermektedir. Modelin matematiksel formunun uygunsuzluğundan kaynaklanan hataya, model uygunsuzluğu (Lack of fit) denmektedir. İdeal olarak, istatistiksel açıdan modelin matematiksel formunun uygunsuzluğunun (lack of fit) önemsiz ve regresyon modeli için önemli olması gerekmektedir (3, 8, 11).

Optimizasyon

Proseslerin optimizasyonunda genellikle sistemin performansını veya ürünün kalite kriterlerini belirleyen çok sayıda yanıtla eş zamanlı olarak çalışılır. Bu yanıtların bazılarının maksimum seviyede tutulması, bazılarının minimum seviyede tutulması, bazılarının da kabul edilebilir değerler veya hedef değer alması istenir. Birçok durumda, yanıtlar birbirleri ile rekabet halindedir, diğer bir ifadeyle bir yanıtın geliştirilmesi diğer bir yanıt üzerinde olumsuz bir etki oluşturabilir. Bu yüzden, optimizasyon çalışmalarında sistemi karakterize eden tüm yanıtların hep birlikte ele alınması gerekmektedir. Ancak bu durumda, optimizasyon oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Bu problemi çözmek için farklı yaklaşımlar öne sürülmüştür. Tek yanıtli optimizasyon problemlerinin çözümü durağan noktaların hesaplanması ile yapılabilir. Durağan noktaların hesaplanması 2 yolla yapılır:

a) Model içinde yer alan bağımsız değişkenlerin her biri için kısmi türevler alınarak sıfıra eşitlenir ve denklem sistemi çözülür. Her bağımsız değişken için elde edilen değerler modelde yerlerine konarak durağan noktalar için yanıt hesaplanır.

b) Matris yardımı ile de durağan noktaların hesaplanması yapılabilmektedir. Modelin matris gösterimi Eşitlik (7)'deki gibidir.

$$Y = b_0 + x'b + x'\hat{B}_x \quad (7)$$

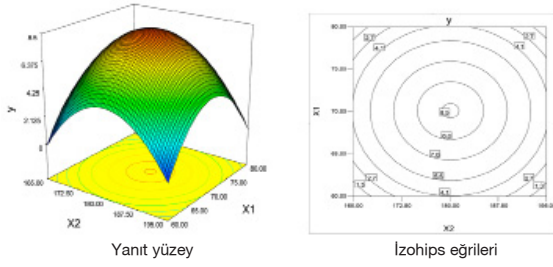
Burada b_0 model sabitini, b doğrusal ve B ise ikinci dereceden model katsayılarının tahminleyicilerini göstermektedir. Ayrıca $x' = (x_1, \dots, x_m)$ 'dir. B $k \times k$ boyutlu simetrik matristir. Durağan noktalar Eşitlik (8)'den elde edilmektedir.

$$x = \frac{1}{2} \hat{B}^{-1} b \quad (8)$$

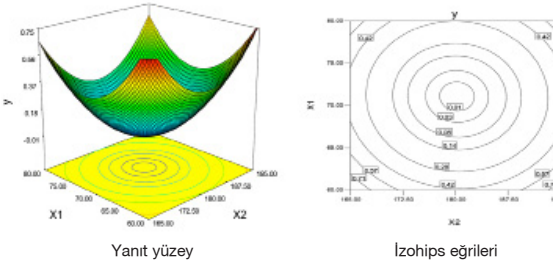
Çok yanıtli optimizasyon problemlerinin çözümünde: lineer olmayan programlama yaklaşımı, yanıtların izohips eğrileri çizilerek üst üste yerleştirilmesi (superimposing) ve desirability (istenilen hedefe ulaşma) fonksiyonu yaklaşımı gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Lineer olmayan programlama yaklaşımında çok yanıtli sistemlerin optimizasyonunda temel amaç olan, tüm yanıtlar arasında en iyi dengenin sağlanması karşılanamamaktadır (8, 12).

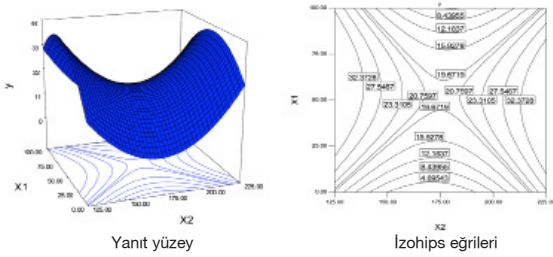
Yanıtların izohips eğrilerinin çizilerek üst üste yerleştirilmesi (superimposing), çok yanıtli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan diğer bir yaklaşımdır. Her bir izohips eğrisi, bir bağımsız değişken merkezdeyken, diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonlarını vermektedir. Katsayılara bağlı olarak izohips eğrilerinin dairesel, eliptik ya da eğer şeklinde olması; maksimum nokta, minimum nokta, (eyer noktası (saddle point)) durgun tepe ya da yükselen/azalan tepe koşullarını verebilmektedir. Maksimum nokta, minimum nokta ve eğer noktası için yanıt yüzey grafikleri ve izohips eğrileri sırasıyla Şekil 1.-a ve Şekil 1-b ve Şekil 1-c'de gösterilmiştir. Yanıt yüzeyinin dairesel olması, değişkenler arasındaki etkileşimin ihmal edilebilir olduğunu, elips ya da eyer şeklindeki yüzeyler iç etkileşimin önemli olduğunu göstermektedir. En küçük elips ya da dairesel şekil ile sınırlandırılmış yüzey öngörülen en yüksek veya en düşük yanıtı belirtmektedir (13). Ancak bu yaklaşım çok sayıda bağımlı ve bağımsız değişkenin (dört veya daha fazla) bir arada incelendiği durumlar için kullanışlılığını kaybetmektedir. Ayrıca, yanıtların çok farklı skalaya sahip olması aynı grafik üzerinde gösterilmelerini de zorlaştırmaktadır (3, 8, 13).



Şekil 1-a Maksimum nokta için yanıt yüzey grafiği ve izohips eğrileri



Şekil 1-b. Minimum nokta için yanıt yüzey grafiği ve izohips eğrileri



Şekil 1-c. Eyer noktası için yanıt yüzey grafiği ve izohips eğrileri

Desirability (İstenilen Hedefe Ulaşma) fonksiyonu yaklaşımı

Desirability (İstenilen Hedefe Ulaşma) fonksiyonunun ilkesi, tüm yanıtların, boyutsuz desirability skalasını içeren “desirability fonksiyonu” olarak tanımlanan tek bir fonksiyon altında toplanmasını ve bu fonksiyonun arzu edilen sonuçları verecek şekilde maksimize edilmesini içermektedir. Farklı skalaya sahip yanıtların birlikte incelenebilmesi, yanıtların tek bir fonksiyona kolayca dönüştürülebilmesi ve kalitatif ve kantitatif yanıtların kullanılabilmesi bu yöntemin önemli avantajları arasındadır. Desirability fonksiyonu, tüm yanıtların bir araya getirildiği, 0 ile 1 arasında değişen tek bir yanıt indeksidir ve bu değer 1’e yaklaşması araş-

tırmacının belirlediği kriterlerin sağlandığını belirtmektedir. Desirability fonksiyonu $d_i(\hat{y}_i)$ ’ler her bir yanıt ($\hat{y}_i$) için ayrı ayrı hesaplanır ve daha sonra bu bireysel fonksiyonların geometrik ortalaması alınarak tek bir toplu desirability fonksiyonu (D) oluşturulur. Optimizasyon çalışmasında her bir yanıt için seçilen kritere (maksimum, minimum, hedef değer atanması veya belli bir aralıkta olması) bağlı olarak farklı desirability fonksiyonları kullanılmaktadır.

$$d_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i(x) < L_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i} \right)^s & L_i \leq \hat{y}_i(x) \leq T_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i} \right)^t & T_i \leq \hat{y}_i(x) \leq U_i \\ 0 & \hat{y}_i(x) > U_i \end{cases} \quad (9)$$

Burada, T_i , hedef değeri, L_i ve U_i sırasıyla alt ve üst sınırları belirtmektedir. s ve t ise hedef değere ulaşmanın ne kadar önemli olduğunu ve bu yanıtın ürünün toplam arzu edilebilirliğindeki rolünü belirleyen ağırlık sabitleridir.

Her bir yanıt için desirability fonksiyonları tanımlandıktan sonra geometrik ortalamaları alınarak hepsi için tek bir toplu desirability fonksiyonu (D) elde edilir. Ağırlık katsayılarına ilave olarak her bir yanıtın optimizasyondaki önemliliğini belirten 1’den 5’e kadar önemlilik derecesi (v_i) de verilebilmektedir. Son toplu desirability fonksiyonu i adet yanıt için,

$$D = \left(d_1^{v_1} \times d_2^{v_2} \times d_3^{v_3} \wedge \dots \times d_n^{v_n} \right)^{\frac{1}{\sum v_i}} = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{v_i} \right)^{\frac{1}{\sum v_i}} \quad (10)$$

olarak elde edilir. Daha sonra toplu desirability fonksiyonunu maksimize eden (x) değişken seviyesi kombinasyonu bulunur (14).

Yanıt Yüzey Yönteminin Gıda İşleme Üzerine Uygulamaları

Gıda işlemede yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimizasyon yapılmış çalışmalar Çizelge 1’de özetlenmiştir. Aynı çizelgede bağımlı ve bağımsız değişken sayıları ve optimizasyon yaklaşımı belirtilmiştir. Çizelge 1’den de görüldüğü gibi yanıt yü-

zey yönteminin CCRD (Merkezi Tümlleşik Tasarım) (Central Composite Rotatable Tasarım) ve BBD (Box Benken Tasarım) yöntemleri; püskürtmeli kurutma, çeşitli ürünlerin osmotik dehidrasyon koşullarının optimizasyonu, akışkan yatak kurutma, çeşitli enzimlerin üretim koşullarının optimizasyonu, pastörizasyon, ekstrüzyon, fırında pişirme, kavurma, yeni ürün formülasyonu gibi işlemlerde 2000 yılından itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Maksimum ürün kalitesi ve/veya verimin veya minimum bozunmanın hedeflendiği bu çalışmaların genelinde, optimizasyon ikinci dereceden polinomiyal modeller kullanılarak belirlenmiş ve grafiksel yöntem, desirability (İstenilen Hedefe Ulaşma) fonksiyonu yaklaşımı ve durağan noktanın hesaplanması yöntemleri kullanılarak optimum nokta hesaplanmıştır.

Araştırmacıların yanıt yüzey yöntemini uygularken yaptıkları bazı hatalar bulunmaktadır:

-Durağan noktalar olmadığı halde maksimum veya minimum değerlerin optimum nokta olarak verilmesi. -Fit edilen model uymadığı halde optimizasyon çalışmasında bu modelin kullanılması. -Model uygunsuzluğu (lack of fit) testinin istatistiksel olarak önemli olması. -Eleme denemeleri ve bölge araştırma kısımlarına yeterli özenin gösterilmesi.

Yanıt yüzey yöntemi sadece optimizasyon amaçlı değil, işlem değişkenlerinin ayrı ayrı ve birbirleriyle etkileşimlerinin yanıtlar üzerine etkilerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Optimizasyon amaçlanmadan yapılmış olan çalışmalar Çizelge 2’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Farklı gıda işlemlerinde yanıt yüzey yönteminin kullanıldığı optimizasyon çalışmaları.

İşlem	Tasarım yöntemi	Değişken sayısı	Yanıt sayısı	Model	Optimizasyon yaklaşımı	Kaynaklar
Fırında Kavurma (Findık)	CCRD	3	11	2. Derece Polinomiyal	Grafiksel (superimposing)	(15)
Fermentasyon (β-Carotene üretimi)	CCRD	3	1	2. Derece Polinomiyal	Matematiksel Çözüm (Matris)	(16)
Püskürtmeli Kurutma (Yoğurt Tozu)	CCRD	3	4	2. Derece Polinomiyal	Desirability Fonksiyonu	(17)
Fermentasyon (Pullulan üretimi)	CCRD	3	1	2. Derece Polinomiyal	Matematiksel Çözüm (Matris)	(18)
Osmatik Dehidrasyon (Patates)	CCRD	4	4	2. Derece Polinomiyal	Desirability Fonksiyonu	(19)
Enzimatik Polimerizasyon (1-naphthol)	CCRD	3	1	2. Derece Polinomiyal	Matematiksel Çözüm (Kısmi Türev)	(20)
Kavurma (Kabuksuz susam tohumu)	CCRD	2	7	2. Derece Polinomiyal	Desirability Fonksiyonu	(21)
Isoamil alkolün enzimatik esterleşmesi (fusel yağı)	CCRD	4	1	2. Derece Polinomiyal	Monte Carlo	(22)
Ekstrüzyon (Arpa unu)	CCRD	2	7	2. Derece Polinomiyal	Desirability Fonksiyonu	(23)
Mikrodalga+Halojen lamba fırında pişirme (Ekmek)	CCD	4	5	2. Derece Polinomiyal	Grafiksel (superimposing)	(24)
Mikrodalga+Halojen lamba fırında pişirme (Kek)	BBD	4	7	2. Derece Polinomiyal	Grafiksel (superimposing)	(25)
Mikrodalga Kızartma (Osmatik dehidrasyon yapılmış patates)	BBD	3	4	2. Derece Polinomiyal	Desirability Fonksiyonu	(26)
Osmotik Dehidrasyon (Yeşil biber)	CCRD	4	4	2. Derece Polinomiyal	Grafiksel (superimposing)	(27)
Köpük ayırma yöntemi ile protein kazanımı	CCRD	3	3	2. Derece Polinomiyal	Grafiksel (superimposing)	(28)

Çizelge 2. Farklı gıda işlemlerinde yanıt yüzey yönteminin kullanıldığı çalışmalar.

İşlem	Tasarım yöntemi	Değişken sayısı	Yanıt sayısı	Model	Kaynaklar
Kristalizasyon (Püskürtülerek kurutulmuş tam yağlı süt tozu)	CCRD	3	4	2. Derece Polinomiyal	(29)
Hasar görmüş nişasta oranının belirlenmesi (Un)	CCCD*	2	1	2. Derece Polinomiyal	(30)
Viskozitenin belirlenmesi (Tarhana)	CCRD	2	1	2. Derece Polinomiyal	(31)
Inaktivasyon (<i>Listeria innocua</i>)	BBD	3	1	2. Derece Polinomiyal	(32)
Ekstrüzyon (Çerez gıdalar)	CCRD	3	2	2. Derece Polinomiyal	(33)
Enzimatik Esmerleşme (Amasya) elma suyu)	BBD	3	1	2. Derece Polinomiyal	(34)

* Central composite circumscribed Dizayn (Merkezi Tümleşik Sınırlı Tasarım)

SONUÇ

Son 20 yılda yanıt yüzey yöntemi gıda bilimi ve teknolojisi alanında geniş çapta uygulama alanı bulmuştur. Yanıt yüzey yöntemi sayesinde basit empirik modeller kullanarak sistem modellenebilmekte, sistemin yanıtını etkileyen çok sayıda değişken bir arada ve eşzamanlı olarak incelenebilmekte ve prosesin işlem parametrelerindeki değişime verdiği yanıt en az sayıda deneme yapılarak en iyi şekilde tanımlanabilmektedir. Çok farklı gıda proseslerinde başarıyla uygulanabilmesi ve çok fazla yanıt dikkate alınarak optimum noktanın belirlenmesine olanak sağlaması, gıda işlemede yanıt yüzey yönteminin diğer optimizasyon yöntemleri arasından öne çıkmasının en önemli nedenleri arasındadır. Bununla birlikte yanıt yüzey yönteminin en önemli dezavantajı deneysel verilerin ikinci dereceden polinomiyal bir modele fit ettirilmesidir. Eğrilik içeren tüm sistemlerin ikinci dereceden polinomiyal bir model ile uyumlu olduğunu söylemek doğru değildir. Ayrıca modelden tahminlenen değerlerin deneysel doğrulanması mutlaka yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Banga JR, Balsa-Canto E, Moles CG, Alonso AA. 2003. Improving food processing using modern optimization methods. *Trends Food Sci & Tech*, 14: 131-144.
- Saguy I, Mishkin MA, Karel M. 1984. Optimization methods and available software, part1. *CRC Critical RevFood Sci and Nutr*, 20 (4): 275-299.

- Myers RH, Montgomery DC. 1995. *Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Eren İ. 2004. Patateslerin osmotik dehidrasyonunun "response surface" metodu kullanılarak optimizasyonu. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye.
- Thompson, D. 1982, Response Surface Experimentation. *J Food Process Preservation*, 6: 155-188.
- Baş D, Boyacı İH. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *J Food Eng*, 78: 836-845.
- Neter J, Wasserman W, Kutner M. 1990. *Applied Linear Regression Models*. Richard D. Irwin Inc., Homewood, IL.
- Castillo ED. 2007. *Process Optimization, a Statistical Approach*. Springer Science + Business Media, LLC, New York, NY.
- Tunalı S, Batmaz I. 2000. Dealing with the least squares regression assumptions in simulation metamodeling. *Computers and Industrial Eng*, 38: 307-320.
- İkiz F, Püskülcü H, Eren Ş. 2000. *İstatistiğe Giriş*. Barış Yayınları, Fakülteler Kitabevi, 6. baskı, İzmir, Türkiye.
- Box GEP, Draper NR. 2007. *Empirical Model Building and Response Surfaces*. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Myers RH, Montgomery DC, Vining GG, Borror CM, Kowalski SM. 2004 Response Surface Methodology: A Retrospective and Literature Survey, *J Quality Tech*, 36:53-77.

13. Khuri AI, Cornell JA. 1996. *Response Surfaces: Designs and Analyses*. 2nd edition, Marcel Dekker Inc., New York, 190p.
14. Design Expert 2002. Version 6.0.4 by Stat-Ease, inc., MN, USA.
15. Saklar S, Katnas S, Urgan S. 2001. Determination of optimum hazelnut roasting conditions. *Intl J of Food Sci Tech*, 36:271-281.
16. Goksungur Y, Mantzouridou T, Roukas F, Kotzekidou P. 2004. Production of β -Carotene from Beet Molasses by *Blakeslea trispora* in Stirred-Tank and Bubble Column Reactors. *Appl Biochem Biotechnol*, 112, (1): 37-54.
17. Koç B. 2008. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile yoğurt tozu üretim koşullarının optimizasyonu. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye.
18. Ürküt Z, Dağbaşı S, Goksungur Y. 2007. Optimization of Pullulan Production Using Ca-Alginate-Immobilized *Aureobasidium pullulans* by Response Surface Methodology. *J Chem Technol Biotechnol*, 82: 837-846.
19. Eren İ, Kaymak-Ertekin, F. 2006. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *J Food Eng*, 79: 344-352.
20. Ceylan H, Kubilay Ş, Aktaş N, Şahiner N. 2008. An approach for prediction of optimum reaction conditions for laccase-catalyzed bio-transformation of 1-naphthol by response surface methodology (RSM). *Bioresour Tech*, 99: 2025-2031.
21. Kahyaoglu T, Kaya S. 2006. Determination of optimum processing conditions for hot-air roasting of hulled sesame seeds using response surface methodology. *J Sci Food Agric*, 86: 1452-1459.
22. Güvenç A, Kapucu N, Kapucu H, Aydoğan Ö, Mehmetoğlu U. 2007. Enzymatic esterification of isoamyl alcohol obtained from fusel oil: Optimization by response surface methodology. *Enzyme and Microbial Technol*, 40: 778-785.
23. Altan A, McCarthy KL, Maskan M. 2008. Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology. *J Sci Food Agric*, 88:1648-1659.
24. Demirekler P, Şumnu G, Şahin S. 2004. Optimization of bread baking in a halogen lamp-microwave combination oven by response surface methodology. *Eur Food Res Tech*, 219: 341-347.
25. Sevimli KM, Şumnu G, Şahin S. 2005. Optimization of halogen lamp-microwave combination baking of cakes: a response surface methodology study. *Eur Food Res Tech*, 221:61-68.
26. Öztöpe MH, Şahin S, Şumnu G. 2007. Optimization of microwave frying of osmotically dehydrated potato slices by using response surface methodology. *Eur Food Res Tech*, 224: 707-713.
27. Özdemir M, Özen BF, Dock LL, Floros JD. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *Food Sci Technol*, 41: 2044-2050.
28. Aksay S, Mazza G. 2007. Optimization of protein recovery by foam separation using response surface methodology. *J Food Eng*, 79: 598-606.
29. Koç AB, Heinemann PH, Ziegler GR. 2003. A process for increasing the free fat content of spray-dried whole milk powder. *J Food Sci*, 68 (1): 210-216.
30. Boyacı İH, Williams PC, Köksel H. 2004. A rapid method for the estimation of damaged starch in wheat flours. *J Cereal Sci*, 39: 139-145.
31. İbanoglu Ş, Ainsworth P. 2004. Application of response surface methodology for studying the viscosity changes during canning of tarhana, a cereal-based food. *J Food Eng*, 64: 273-275.
32. Buzrul S, Çevik M, Alpas H. 2008. Comparison of response surface methodology and the proposed weibull model for inactivation of *Listeria innocua* by high hydrostatic pressure *J Food Safety*, 28: 142-156.
33. Özer AE, Herken EN, Güzel S, Ainsworth P, İbanoglu Ş. 2006. Effect of extrusion process on the antioxidant activity and total phenolics in a nutritious snack food. *International Journal of Food Science and Technology*, 41: 289-293.
34. İyidoğan NE, Bayındırlı A. 2004. Effect of L-cysteine, kojic acid and 4-hexylresorcinol combination on inhibition of enzymatic browning in Amasya apple juice. *J Food Eng*, 62: 299-304.