

Tepki Yüzeyleri Metodolojisi "Optimizasyon Esaslı Çalışmalara İlişkin Teorik Esaslar ve Tarımsal Mekanizasyon Uygulamaları"

Adnan Değirmenciöglu, Arzu Yazgı

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, 35100-Bornova / İzmir
adnan.degirmencioglu@ege.edu.tr

Özet : Bu çalışmada, Tepki Yüzeyleri Metodolojisi'nin temel prensiplerin açıklanması ve Tarımsal Mekanizasyon alanına giren konularda yapılan çalışmaların ortaya konulması amaçlanmıştır. Sayısal metodlara dayalı çalışmalar, üzerinde çalışılan problemin geliştirilerek diğer araştırmacıların kullanımına sunulması ve daha somut sonuçların ortaya konulması açısından diğer mühendislik alanlarında olduğu gibi tarımsal Mekanizasyon alanında da büyük bir öneme sahiptir. Sayısal bir araç olarak Tepki Yüzeyleri Metodolojisi, özellikle optimizasyona yönelik problemlerle çalışılması ve çalışılan problemlerde göz önüne alınan bağımsız değişkenlerin optimum değerlerinin bulunmasında kullanılır.

Anahtar Kelimeler: Matematiksel modelleme, deneme dizaynı, analiz, optimizasyon.

Response Surface Methodology "Theoretical Background for Optimization Based Studies and Implementations in Agricultural Mechanization"

Abstract : The objective of this study is to reveal the theoretical background of Response Surface Methodology (RSM) and its possible application areas in Agricultural Mechanization. Numerical methods as in the case of all other engineering fields are of importance in Agricultural Mechanization since a study based on numerical methods makes to conclude more concrete results and generalize the problem for all other scientists. As a tool, RSM is especially applied to optimization related problems and enables one to obtain optimum conditions of the problem being studied.

Keywords: Mathematical modeling, design of experiments, analysis, optimization.

GİRİŞ

Özellikle mühendislik alanında bir çok olaya ilişkin diferansiyel form şeklinde eşitlikler geliştirilmiş olmasına karşın genelde, Tarımsal Mekanizasyon alanında karşılaşılan problemler oldukça karmaşık yapıda olup çok sayıda değişken ve değişkenlerin etkileşimlerinden etkilenebilir tiptedir. Bu nedenle, bu alandaki problemlere yaklaşım genellikle deneysel verilerin toplanması ve sonrasında elde edilen verileri kullanarak ampirik modellerin geliştirilmesi şeklindedir. Deneysel olarak yürütülen bu çalışmalarda çoğunlukla değişkenlerin tüm kombinasyonlarını içerecek şekilde tam faktöriyel olarak gerçekleştirilir. Tümünüyle faktöriyel olarak gerçekleştirilen bir çalışma ise; zaman, emek ve finans gerektirir. Ancak bu çalışmada temel prensipleri verilen Tepki (Cevap) Yüzeyleri Metodolojisi (TYM- Response Surface Methodology) ile

sözkonusu zaman, emek ve finans gereksinimini en aza indirmek ve çalışılan probleme ilişkin bir matematiksel formülasyonu gerçekleştirmek ve değişkenlerin optimumlarını elde etmek mümkündür.

TYM, sistem optimizasyonunda kullanılan bir grup istatistiksel ve matematiksel teknikten meydana gelmektedir. Bu teknik sayesinde bağımsız değişkenlerin tek veya etkileşim halinde, proses üzerindeki etkilerini açıklayabilmek mümkündür (Box & Draper, 1987).

Deneysel çalışmanın ortak amacı genelde, çalışılan bağımsız değişkenler ve sistemin tepkisi arasındaki ilişkinin belirlenebilmesine yöneliktir. Bu ilişki ancak ilgilenilen değişkenlerin uygun seviyelerinin seçimi ile mümkündür.

Mühendislik ve diğer bilim dallarının temel işlevlerinden birisi de, yapılan çalışmalardan alınan verileri kullanarak sistemin nasıl çalıştığı hakkında bilgi elde edilmesine yöneliktir. TYM, kompleks proseslerin araştırılmasında kullanılan bir teknik olması nedeniyle, mühendislik ve özellikle de gıda bilimlerinde oldukça geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu iki alanda, sistem performansı ve ürün geliştirmede bağımsız değişkenlerin optimum değerlerinin elde edilmesiyle ilgilenilir.

TYM' NİN TEMEL PRENSİPLERİ

Tepki yüzeyleri metodolojisinin temeli, herhangi bir fiziksel sisteme ait k sayıdaki bağımsız değişkene (x) bağlı olarak meydana gelen tepki ölçümüne dayanır. Bu durum fonksiyonel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \dots\dots\dots[1]$$

Bu eşitlikte;

y : Sistemin tepkisi (cevabı)

x_k: Bağımsız değişkenler' dir.

Herhangi bir denemede, gözlenen \hat{y} değeri ile beklenen y değeri arasındaki uyumsuzluk sistemin hatası olarak yorumlanır ve ε ile gösterilir. Bu durumda kullanılacak eşitlik teorik formda aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\hat{y} = f(x) + \varepsilon \dots\dots\dots[2]$$

Tepki yüzeyleri modelleri, değişkenler ve değişkenlerin interaksiyonlarını içeren çoğunlukla kuadratik (2. derece) veya kübik (3. derece) polinomiyal form şeklindedir. Böylesi bir polinomiyal denklem teorik olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon_0 \dots\dots\dots[3]$$

Burada;

\hat{y} : Sistemin tepkisi

β_0 : Model sabiti

$\beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$: Değişken katsayıları

x_i, x_j : Kodlanmış bağımsız değişken

ε_0 : Deneysel hata olarak tanımlanır (Box&Draper,1987).

İşlem Basamakları

TYM gereği denemelerdeki işlem sırası aşağıdaki gibidir.

- 1- Bağımsız değişken/değişkenlerin seçimi
- 2- Deneme deseninin çıkarılması
- 3- Kullanılacak değişkenlerin formu (kodlu-kodsuz)
- 4- Tepki ölçüm yöntemi
- 5- Model denkleminin çıkarılması
- 6- Model denkleminin uygunluğunun test edilmesi
- 7- Denemenin grafiksel gösterimi

Bağımsız değişkenlerin ne olacağına karar verme, denemenin başlangıcında deneme yürütücüsü tarafından verilmesi gereken en önemli karardır. Çünkü deneme yürütücüsünün yapacağı bir hata, sistem için daha önemsiz bir değişkenin modele alınması, önemli bir değişkenin model dışında bırakılmasına neden olabilir. TYM' de çalışılacak bağımsız değişkenlerin sayısal değerleri, kodlu değerlere dönüştürülür. Çalışma belli bir aralıkta yapılacağından kodlama aşağıdaki formüle uygun olarak yapılır:

$$X_i = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i0}}{S_i} \dots\dots\dots [4]$$

Burada;

X_i : Değişken kodu

ε_i : Çalışma aralığındaki değişken değeri

ε_{i0} : Çalışma aralığı merkez değeri

S_i : Adım değeri

Deneme desenleri, metodolojinin gereği olarak belirlenmiş olan iki genel başlık altında verilen 4 farklı tiptedir.

1. Box-Wilson Merkez Esaslı Kompozit Dizayn (Box-Wilson Central Composite Design)
 - 1a. İlgili Alanını Dıştan Çevreleyen Dizayn (Circumscribed Design)
 - 1b. İlgili Alanını İçten Çevreleyen Dizayn (Inscribed Design)
 - 1c. Yüz Merkezli Dizayn (Face Centered Design)
2. Box-Behnken Dizaynı (Box-Behnken Design)

Bağımsız değişken sayısının 3 ve her bir değişkenin 5 seviyeli olması durumunda yukarıda verilen farklı dizayn uygulamaları ve yapılacak denemelere ilişkin deneme sayısı Çizelge 1’de verildiği gibidir.

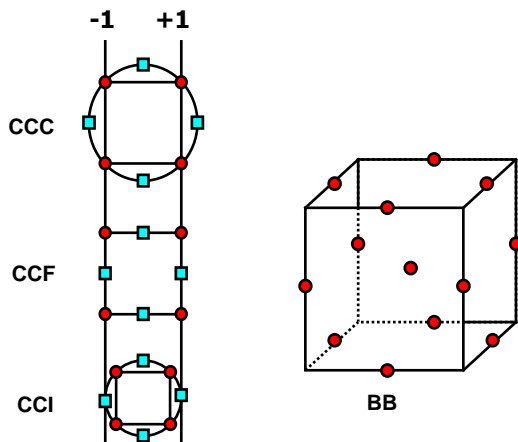
Box-Wilson Merkez Esaslı Kompozit Dizayn (Box-Wilson Central Composite Design-CCD): Box ve Wilson tarafından geliştirilen model, bir merkez noktali tam ya da kısmi 2^k faktöriyel dağılımını içerir. Yıldız noktasını, bir faktör olarak dizaynda daima 2 kez içerir. Yıldız noktaları bu durumda düşük ve yüksek olarak ekstrem değerleri gösterir. 3 tip CCD dizaynı bulunmaktadır.

İlgi Alanını Dıştan Çevreleyen Dizayn (Circumscribed Design-CCC): CCD’ nin orijinal formudur. Tüm deney alanında yüksek bir tahminleme yapılması sağlanır. Her faktör için 5 seviyeye ihtiyaç vardır. Dizayn döndürülebilirlik özelliğine sahiptir.

İlgi Alanını İçten Çevreleyen Dizayn (Inscribed Design-CCI): Belirli faktör limitlerinde tam ya da kısmi faktöriyel dizayn yaratır. CCC’ nin her faktör seviyesinin α ile bölünmesiyle oluşur. Her faktör için 5 seviye istenir. Döndürülebilirlik özelliğine sahiptir.

Yüz Merkezli Dizayn (Face Centered Design-CCF): Her faktör için 3 seviye istenir. Döndürülebilirlik özelliği yoktur.

Box-Behnken Dizaynı (Box-Behnken Design-BB): Tam ya da kısmi faktöriyel dizaynları içermeyen bağımsız bir karesel dizayndır. En az işlem gerektiren dizayndır. Her faktör için 3 seviyeye ihtiyaç vardır. Tam ya da kısmen döndürülebilir. Dizaynın geometrisi işlem aralığında küre oluşturur. Bu dizaynlar geometrik olarak Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. TYM Dizaynlarının geometrik gösterimi

Çizelge 1. Üç bağımsız değişken ve beş seviyeli merkez esaslı kompozit dizaynlar ve dizayna bağlı olarak toplam deneme sayıları

CCC ve CCI				CCF				BOX-BEHNKEN			
İşlem Sayısı	X ₁	X ₂	X ₃	İşlem Sayısı	X ₁	X ₂	X ₃	İşlem Sayısı	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0
1	+1	-1	-1	1	+1	-1	-1	1	+1	-1	0
1	-1	+1	-1	1	-1	+1	-1	1	-1	+1	0
1	+1	+1	-1	1	+1	+1	-1	1	+1	+1	0
1	-1	-1	+1	1	-1	-1	+1	1	-1	0	-1
1	+1	-1	+1	1	+1	-1	+1	1	+1	0	-1
1	-1	+1	+1	1	-1	+1	+1	1	-1	0	+1
1	+1	+1	+1	1	+1	+1	+1	1	+1	0	+1
1	-1,682	0	0	1	-1	0	0	1	0	-1	-1
1	+1,682	0	0	1	+1	0	0	1	0	+1	-1
1	0	-1,682	0	1	0	-1	0	1	0	-1	+1
1	0	+1,682	0	1	0	+1	0	1	0	+1	+1
1	0	0	-1,682	1	0	0	-1	3	0	0	0
1	0	0	+1,682	1	0	0	+1				
6	0	0	0	6	0	0	0				
TOPLAM İŞLEM : 20				TOPLAM İŞLEM : 20				TOPLAM İŞLEM : 15			

Beş seviyeli dizaynlarda işlem aralığını belirleyen α (yıldız noktası) değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır:

$$\alpha = [\text{işlem sayısı}]^{1/4} \dots\dots\dots [5]$$

Eğer sistem tam faktöriyel ise;

$$\alpha = [2^k]^{1/4} \dots\dots\dots [6]$$

Çizelge 2’de faktör sayısına bağlı olarak α değerinin değişimi verilmektedir.

Çizelge 2. Faktör sayısına bağlı α değerleri

Faktör Sayısı	Faktöriyel Bölüm	± 1 'e Bağlı α Değeri
2	2^2	$2^{2/4} = 1,414$
3	2^3	$2^{3/4} = 1,682$
4	2^4	$2^{4/4} = 2,000$
5	2^{5-1}	$2^{4/4} = 2,000$
5	2^5	$2^{5/4} = 2,378$
6	2^{6-1}	$2^{5/4} = 2,378$
6	2^6	$2^{6/4} = 2,828$

CCD dizaynları için yapılması gereken toplam deneme (işlem) sayısı (TDS) ise aşağıdaki formülden bulunabilir :

$$TDS = 2^k + 2k + m \dots\dots\dots [7]$$

Burada;

k : Faktör sayısı

2^k : Faktöriyel deneme sayısı

2k : Yıldız noktalı deneme sayısı

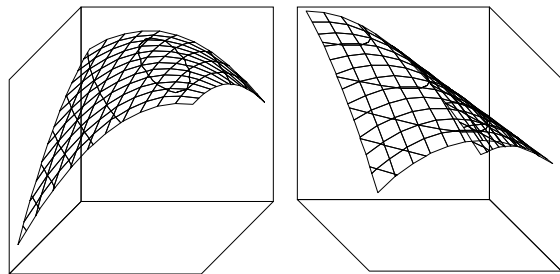
m : Merkezdeki deneme sayısı' dir.

BB dizaynı için ise TDS değeri faktör sayısına bağlı olarak 15-20-25'dir. 3 faktörlü 5 seviyeli bir CCD dizaynında TDS = 20'dir.

Yapılan denemeler sonucunda uygulanan deneme desenine göre veriler toplanır. Elde edilen bu veriler bilgisayar ortamına alınarak istatistik paket programı ile polinomiyal formda bir matematiksel model oluşturulur. Oluşturulan bu modelde yer alan bağımsız değişkenlere göre kısmi türevler alındığında her bir bağımsız değişken için optimum değerler elde edilir.

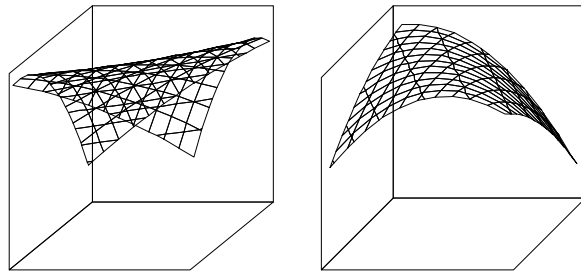
Denklemlerden elde edilen sonuçlar grafiğe aktararak görsel olarak da ifade edilir.

Tepki fonksiyonunun türüne ve değişken sayısına bağlı olarak tepki yüzeyi değişik şekiller alabilir. TYM' de kuadratik modeller sonucunda 4 farklı türde tepki yüzeyi elde edilir. Bunlar Şekil 2' de gösterildiği gibidir.



Doruk (simple maximum)

Artan tip (rising ridge)



Semer tipi (saddle or minimax)

Yamaç tipi (Hillside)

Şekil 2. Farklı tepki yüzeyi tiplerinin geometrik gösterimi

Deney öncesi yapılan işlemler ve deneyin sınırlandırılması başlıkları altında bilinçli bir şekilde yapılan tüm işlemlerin birleştirilmesiyle bilimsel bir olaydan beklenen performans değerine en kısa zamanda ve en doğru biçimde TYM kullanarak ulaşmak mümkündür.

TEPKİ YÜZEYLERİ METODOLOJİSİNİN TARIMSAL MEKANİZASYON ALANINDAKİ UYGULAMALARI

İlaçlama Uygulamalarında Optimizasyon

İlaçlama çalışmaları Tarımsal Mekanizasyon alanındaki en karmaşık problemlerden birisidir. Değişken sayısının oldukça fazla olduğu bu çalışmalara TYM uygulaması örneği Panneton ve Ark. (1999) tarafından yapılmıştır. Panneton ve Ark. (1999) hava hızı, hava akış miktarı ve meme açısının yaprak yüzeyinde ilaç kapsamı alanına etkisini araştırmışlardır. TYM'nin, farklı değişkenlerin etkilerinin de inceleneceği diğer ilaçlama konusundaki çalışmalara da uygulanabileceğini söylemek mümkündür.

Tarımsal Ürünlerin İşlenmesi Uygulamaları

Tarımsal ürünlerin işlenmesinde optimum çalışma koşulları önemlidir. Zira maksimum düzeyde ürünün istenmeyen materyalden ayrılması işlemi ancak metodolojik bir çalışmayı ve olayı etkileyen değişkenlerin optimumlarının elde edilmesi ile mümkündür. Chen ve Ark. (2004) çalışmalarında bir separatör örneğinde TYM kullanımı sonucunda geliştirdikleri performans modeli ile olayı etkileyen bağımsız değişkenlerin optimumlarını elde etmişlerdir.

Kurutma Çalışmalarında Optimizasyon

Kurutma çalışmalarında genellikle zamana bağlı kurutma olayı, kurutma havasının hızı, bağıl nemi ve sıcaklığına bağlı olarak matematiksel formda ifade edilmeye çalışılır. Üründen yağ ekstraksiyonuna yönelik kurutma çalışmaları söz konusu olduğunda ise yukarıda verilen değişkenlerin optimum değerleri, maksimum ekstraksiyon maddesini veya öngörülen kalite kriterlerini elde etmede önemlidir. Yağ ekstraksiyonuna yönelik böyle bir çalışmada TYM uygulaması Rezzoug ve Ark. (2005) tarafından gerçekleştirilmiştir. Diğer tarımsal ürünlerin kurtulmasına ilişkin olarak yürütülecek çalışmalarda da TYM uygulaması mümkün gözükmemektedir.

Tüm bu uygulamaların dışında sözkonusu Metodolojinin diğer mekanizasyon problemlerine de uygulanabilir olduğunu söylemek mümkündür.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Çok değişkene sahip deneme desenlerinde tam faktöriyel denemeler yerine daha az sayıda fakat metodolojik bir yaklaşım ile gerçekleştirilecek

denemelerde; zaman, emek ve parasal tasarruf yapılması söz konusudur.

Tepki Yüzeyleri Metodolojisinin, özellikle Tarımsal Mekanizasyon alanında karşılaşılan problemlere de uygulanabileceği düşünölmektedir. Bu uygulama ile girdilerde sağlanacak azalmanın yanısıra çalışılan problemin bağımsız değişkenlerinin optimum değerlerinin de elde edilmesi mümkün olacaktır.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Box, G. E.P., Draper, N. 1987. *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. John Wiley & Sons, New York. 669 p.
- Chen, H., Iwasaki, M., Takeda, H. 2004. Development of Baker's garlic seed bulb cluster separator using response surface methodology. 2004. *ASAE/CSAE Annual International Meeting*, Paper No. 041086, Ottawa, Ontario.
- Panneton. B., Phillion. H., Dutilleul. P., Theriault. R., Khelifi, M. 1999. Full factorial design versus central composite design: Statistical comparison and implications for

- spray droplet deposition experiments. *Transactions of the ASAE* 42(4):877- 883.
- Rezzoug, S.A., Boutekdjiret, C., Allaf, K. 2005. Optimization of operating conditions of rosemary essential oil extraction by a fast controlled pressure drop process using response surface methodology. *Journal of food Engineering*. 71 (2005):9-17