

## Tek Dane Ekim Makinası Örneğinde Ekim Performansının Tepki Yüzeyleri Metodolojisi Kullanılarak Optimizasyonu\*

Arzu Yazgi, Adnan Değirmencioğlu

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

**Özet :** Bu çalışmada, vakum prensibine göre çalışan düşey tohum diskli tek dane ekim makinası ile havsız pamuk tohumlarının ekiminde, ekime ilişkin kalite performansının optimizasyonu amaçlanmıştır. Kontrollü laboratuvar koşullarında yapışkan bant üzerinde gerçekleştirilen denemelerde sıra üzeri tohum dağılımında düzgünlük değerleri üç farklı değişkene bağlı olarak incelenmiştir. Tohum aralığındaki düzgünlüğü belirten bağımlı değişken (tepki); ikizlenme oranı, boşluk oranı, kabul edilebilir tohum aralığı ve anma tohum aralığından sapma değeri olarak incelenmiştir. Denemelerde, plaka çevre hızı olarak 0.053, 0.082, 0.123, 0.164 ve 0.192 m/s ve bunlara karşılık gelecek şekilde ve doğrusal ilişkili makina ilerleme hızı seviyeleri olarak 0.52, 0.8, 1.2, 1.6, 1.87 m/s; plaka delik çapları olarak; 1.66, 2, 2.5, 3, 3.34 mm, vakum basıncı ise 26.4, 40, 60, 80 ve 93.6 mbar olarak seçilmiştir. Ekim makinası performansının optimizasyonu için Tepki Yüzeyleri Metodolojisi uygulanmış ve denemeler Merkez Esaslı Kompozit Dizayn (Central Composite Design - CCD) prensiplerine göre kurulmuştur. Çalışma sonucunda üç farklı formda polinomiyal model geliştirilmiş ve bu modellerden plaka delik çapı ve vakum basıncının optimum değerleri elde edilmiştir. Optimum koşullarda yapılan denemelerde makina performansı test edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tepki Yüzeyleri Metodolojisi, pamuk, tek dane ekim makinası

### Optimization of the Performance of a Precision Seeder Using Response Surface Methodology

**Abstract :** In this study, a vacuum type precision seeder with a seed plate operated in a vertical plane was used and the objective was to optimize the performance in order to place the seeds at a uniform manner. The experimental study was conducted in the laboratory on a greased belt and the seed distribution in a row was investigated based on Multiple Index, Miss Index, Quality of Feed Index and another performance indicator proposed in this study, namely root mean square error. For the experiments, the level of the peripheral speed of the plate was 0.053, 0.082, 0.123, 0.164 ve 0.192 m/s and corresponding ground speed of the seeder was 0.52, 0.8, 1.2, 1.6 and 1.87 m/s, the diameter of the holes drilled on the vacuum plate was selected to be 1.66, 2, 2.5, 3 and 3.34 mm, the five levels of the vacuum pressure was 26.4, 40, 60, 80 and 93.6 mbar. Response Surface Methodology was applied to optimize the performance of the seeder and the experiments were conducted using Central Composite Design (CCD) principles. Three mathematical models in polynomial form were developed and the optimum level of hole diameter and vacuum pressure were determined from the models.

**Keywords:** Response Surface Methodology, cotton, precision seeder.

### GİRİŞ

Ülkemiz için pamuk, tarımı yapılan en önemli ürün olma niteliğindedir. Pamuk ekiminde kalite ise ekim sonrası diğer tarımsal işlemler ve maliyetler üzerinde etkili olması nedeniyle üzerinde durulması gereken önemli bir konudur.

Ülkemizde havsız pamuk ekiminde, özellikle tohumluk ve işgücünden tasarruf sağlayan tek dane

ekim makinalarının kullanımı giderek yaygınlaştığından bu çalışmada da vakum prensibine göre çalışan tek dane ekim makinası tercih edilmiştir.

Yapılan bu araştırmanın en önemli özelliği özellikle gıda, kimya ve endüstriye dayalı bilim alanlarında oldukça yaygın kullanıma sahip Tepki Yüzeyleri Metodolojisinin (TYM) ülkemizde bir tarım makinaları

problemine ilk uygulanış örneği olmasıdır. Öte yandan TYM'nin dünya literatüründe tarım makinaları alanında uygulanmış örnekleri ise çok sınırlı sayıdadır. Ancak literatürde özellikle son yıllarda pamuk ve tek dane ekimi yapılan diğer ürünler için uygun vakum basıncının modellenmesi (Karayel et al., 2004) ve pamuğun laboratuvar ve tarla koşullarında ekimine ilişkin optimizasyon çalışmaları (Singh et al, 2005) mevcuttur. Ancak bu çalışmaların ortak noktası, plaka delik çapının araştırmacılar tarafından öngörülen değerde olması şeklindeki varsayım üzerine kurulu olmasıdır. Bu çalışmada ise plaka çevre hızı ve vakum basıncının yanısıra plaka delik çapıda değişen değerlerde ele alınmış ve optimum değerler geliştirilen matematiksel formdaki polinomial eşitliklerden elde edilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Denemelerde vakum prensibine göre çalışan düşey tohum diskli ACCORD-Optima marka dört sıralı tek dane ekim makinası kullanılmıştır.

Tohum plakası,  $\phi 185$  mm yörünge üzerinde dizilmiş 48 adet deliğe sahip, 2 mm kalınlığında, 247 mm çapında paslanmaz çelik saçtan imal edilmiştir ve tohum kutusuyla vakum odasını birbirinden ayırmaktadır. Her ekici ünitesinde 2 adet tohum tekeme düzeni bulunan makinada vakum basıncı, devir sayısı değiştirilerek maksimum 100 mbar değerine kadar ayar imkan veren, makina üzerine monte edilmiş fandan sağlanmaktadır.

Ekim makinası tahrik tekerleğinden alınan hareket zincir-dişli mekanizmaları yardımıyla önce altı köşe mile, oradan da farklı dişliler kullanılarak transmisyon değişimine imkan veren dişli kutusu üzerinden, yine zincir-dişli sistemler yardımıyla tohum plakasına iletilmektedir. Makinada ayrıca farklı anma tohum aralığına (Z) ayar imkanı verecek ilave dişliler yer almaktadır. Denemelerde, anma tohum aralığı olan 11.8 cm değerini sağlayan uygun dişliler kullanılmıştır (11.8 cm değeri makina konstrüksiyonuna bağlı olarak seçilmiştir).

Deneme materyali olarak Nazilli 84 çeşidi havsız pamuk tohumu kullanılmıştır. Tohumluğa ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Ekim makinası deneme düzeni, basit bir simülasyon mantığına göre kurulan, iki kasnak arasında istenilen devirde sonsuz olarak döndürülebilen üzerine gres yağı sürülmüş yapışkan bir banttır ve bandın devrini belirlemek üzere denemelerde Lutron DT-2236 Photo/Contact devir ölçer kullanılmıştır.

**Çizelge 1. Pamuk tohumlarının fiziksel özellikleri**

Pamuk Çeşidi	a Uzunluk (mm)	b Genişlik (mm)	c Kalınlık (mm)	K* Küresellik (%)	Bin dane ağırlığı (g / bin dane)
Nazilli 84	8,2±0,55	4,75±0,31	4,05±0,42	65,9	90,55

Fan tarafından sağlanan ve çalışma sırasında tohumun plakada tutulduğu andaki vakum basıncının ölçülebilmesini sağlayan, bu amaçla ekici ünite üzerindeki hava giriş ağzına monte edilen vakum ölçüm sistemi, bir başlık, kauçuk hortum ve vakum ölçerden meydana gelmektedir. Denemelerde kullanılan 5 farklı delik çapına sahip plakalar yöresel bir firmadan temin edilmiştir. Plaka delikleri laser kesim cihazında  $\pm 0.1$  mm hassasiyetinde delinmiştir.

Yapılan deneme sonuçlarından elde edilen ham tohum aralıklarından; ikizleme, boşluk oranları ve 0.5-1.5 Z aralığındaki dağılımın % değerlerinin hesaplanmasında ve polinomial formda performans model eşitliklerinin geliştirilmesinde *Microsoft Excel* ve *Minitab Windows Release 13.20 Versiyonu* programlar kullanılmıştır.

### Yöntem

#### **Deneme Deseni, Bağımsız Değişkenler ve Seviyeleri**

Denemelerde, vakum prensibine göre çalışan düşey tohum plakalı tek dane ekim makinasının, farklı çalışma koşullarına karşı gösterdiği tepkinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen denemelerde, her bir denemeden elde edilen farklı performans değerlerinin analizi sonucunda maksimum performans değerini sağlayıcı optimum çalışma koşullarının belirlenmesine çalışılmıştır. Denemelerin; genellikle kullanılan tam faktöriyel modellere alternatif yöntemlerden biri olan Tepki Yüzeyleri Metodolojisi (TYM) prensiplerine göre yapıldığı bu çalışmada, TYM

$$* K = \frac{(abc)^{1/3}}{a} * 100$$

dizaynlarından biri olan *Merkez Esaslı Kompozit Dizayn* (*Central Composite Dizayn - CCD*) kullanılmıştır.

Kullanılan CCD'de seçilen her bağımsız değişken için 5 seviye istenmektedir. Denemede yer alan 3 bağımsız değişkenli bir CCD dizaynında metodoloji gereği yıldız noktası ( $\alpha$ ) değeri  $\pm 1.682'$  dir (Box&Draper, 1987).

Bağımsız değişken sayısının 3, her birinin 5 seviyesi olan ve 3 tekerrürlü bir çalışmada tam faktöriyel denemelerin gerçekleştirilmesi durumunda deneme sayısı 375 iken CCD dizaynının uygulanması ile toplam 60 deneme gerçekleştirilmiştir.

Denemelerde, ekim kalitesi üzerinde önemli etkilerinin olduğu saptanan plaka çevre hızı (buna bağlı ilerleme hızı, plaka (disk) delik çapı ve vakum basıncı bağımsız değişkenler (x); sıra üzeri dağılımda makina performansı belirten değişken (bu çalışmada ikizlenme oranı, boşluk oranı, kabul edilebilir tohum aralığı, hassasiyet ve anma tohum aralığından sapma değeri) ise bağımlı değişkenler (y) olarak düşünülmüştür.

Denemelerde 5 farklı plaka çevre hızı ( $X_1$ ), delik çapı ( $X_2$ ) ve vakum basıncında ( $X_3$ ) çalışılmış ve tek dane ekim makinasının sıra üzeri tohum dağılımı belirlenmiştir. Denemelerde kullanılan bağımsız değişkenlerin aşağıda verilen ilişkiler uyarınca hesaplanmış kodlu ve kodsuz değerleri ile denemelerin gerçekleştirildiği deneme deseni Çizelge 2'de verilmiştir.

$$X_1 = \frac{X - 0.12}{0.04} \quad , \quad X_2 = \frac{X - 2.5}{0.5} \quad , \quad X_3 = \frac{X - 60}{20}$$

Plaka çevre hızının merkez değeri 0.12 m/s ve adım değeri 0.04 olarak alınmıştır. Plaka çevre hızının en küçük değeri 0.053 m/s olup bu değer 0.52 m/s ilerleme hızına, en büyük değeri olan 0.192 m/s çevre hızı ise 1.87 m/s makina ilerleme hızına karşılık gelecek şekilde doğrusal ilintilidir.

Plaka delik çapı için orta (merkez) değeri 2.5 mm ve adım değeri 0.5 mm olarak belirlenmiştir.

Çalışmada vakum basıncı merkez değeri olarak 60 mbar ve adım değeri 20 mbar ise fanın verebileceği maksimum vakum değeri olan 100 mbar göz önüne alınarak belirlenmiştir.

### Denemelerin Yürütülmesi

Traktörün üç nokta asma düzenine bağlanan ekim makinası sağ-sol ve ön-arka paralellik ayarları yapılarak, makinanın ilerleme yönüne göre en soldaki ekici ünitesi minimum tohum düşme yüksekliğinde olacak biçimde yapışkan bant üzerine yerleştirilmiştir.

Denemede anma tohum aralığı (Z) sabit tutularak 11.8 cm'ye ayarlanmıştır.

**Çizelge 2. Bağımsız değişkenlerin kodlu ve kodsuz değerleri ile oluşturulan ccd deneme deseni**

Deney No	Bağımsız Değişkenler					
	Plaka çevre hızı ( $X_1$ )		Delik Çapı ( $X_2$ )		Vakum Basıncı ( $X_3$ )	
	Kodlu	Kodsuz (m/s)	Kodlu	Kodsuz (mm)	Kodlu	Kodsuz (mbar)
1	-1	0.08	-1	2	-1	40
2	-1	0.08	1	3	-1	40
3	1	0.16	-1	2	-1	40
4	1	0.16	1	3	-1	40
5	-1	0.08	-1	2	1	80
6	-1	0.08	1	3	1	80
7	1	0.16	-1	2	1	80
8	1	0.16	1	3	1	80
9	-1,682	0.053	0	2,5	0	60
10	1,682	0.192	0	2,5	0	60
11	0	0.12	-1,682	1,66	0	60
12	0	0.12	1,682	3,34	0	60
13	0	0.12	0	2,5	-1,682	26,4
14	0	0.12	0	2,5	1,682	93,6
15	0	0.12	0	2,5	0	60
16	0	0.12	0	2,5	0	60
17	0	0.12	0	2,5	0	60
18	0	0.12	0	2,5	0	60
19	0	0.12	0	2,5	0	60
20	0	0.12	0	2,5	0	60

### Performans Kriterleri, Hesaplanması ve Model Geliştirme Çalışmaları

Denemeler, kullanılan deneme deseninde her deney numarasına ait durumlar için (Örneğin 1. deneyde -1,-1,-1 kodlu değerleri için plaka çevre hızı 0.08 m/s; plaka delik çapı 2 mm ve vakum basıncı ise 40 mbar olacak şekilde) 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Sıra üzeri tohum aralıkları yapışkan bantın 7-8 m'lik kısmında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tohum aralıkları bilgisayar ortamında Excel programı kullanılarak, anma tohum aralığı (Z) olan 11.8 cm'yi referans alarak  $\leq 0.5$  Z değeri olan 5.9 cm; 0.5 Z değerinden büyük ancak 1.5 Z değerinden küçük mesafeler (5.9- 17.7 cm aralığı) ile 1.5 Z değeri olan 17.7 cm'den büyük mesafelerdeki tohumların adet ve yüzdeleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu üç bölge oransal olarak ifade edildiğinde sırasıyla; İkizleme (Multiple Index), Kabul Edilebilir Tohum Aralığı (Quality of Feed Index) ve Boşluk Oranı (Miss Index) olarak tanımlanmaktadır (Kachman ve Smith,

1995). Literatürde yer alan ve tek dane ekim makinasının performansını ortaya koyan bu kalite kriterlerinin yanısıra söz konusu bu çalışmada farklı bir kalite kriteri daha ortaya atılmıştır. Bu kriter; sadece kabul edilebilir tohum aralığı değil, tüm dağılımdan elde edilen verilerin analizi sonucunda ortalama sapma (root mean square error) değerinin bulunması esasına dayanır.

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - Z)^2}{N}} \dots\dots\dots [1]$$

Tanımlamadan anlaşılacağı üzere gerçekleşen tohum aralığından, anma tohum aralığı farklarının kareleri toplamının, tüm tohum sayısı kadar ölçüm noktasına bölümünün karekökü şeklindeki olup ideal şartlarda sıfır olması beklenen bir değerdir.

Yukarıda tanımlanan tüm kalite kriterlerinin matematiksel bir formda ifade edilmesine çalışılmıştır. Tepki (Cevap) Yüzeyleri Metodolojisi uyarınca kodlu değerler kullanılarak geliştirilen modeller, polinomial formda olup model katsayıları ve diğer tüm istatistiksel bilgiler Minitab ve Excel programlarının ortak kullanımı sonucunda elde edilmiştir. Tümüyle kuadratik (ikinci dereceden) formda tanımlanarak Minitab programında, Stepwise Regresyon Analizi sonucunda modele seçilen ya da modelden çıkarılması düşünülen bir değişkene karar vermede önem seviyesi % 99 olarak seçilmiştir.

## BULGULAR ve TARTIŞMA

### Ham Veriler ve Makina Performansına İlişkin Genel Sonuçlar

Tümüyle eğimsiz koşullarda çalıştırılan ekim makinasının genelde ekim kalitesinin, bu çalışma çerçevesinde düşünülen bağımsız değişkenlerden biri olan plaka delik çapındaki en küçük bir değişimle farklılaştığı yani bant üzeri dağılımın değişime uğradığı gözlenmiştir. Ekim makinasının, yine genelde çalışma koşulu olan diğer değişkenlerin değiştirilmesi (farklı girdi şartlarında) durumlarına karşı farklı tepkiler gösterdiği saptanmıştır.

### Performans Modelleri

Herhangi bir ekim makinasının ekime ilişkin performansında, kabul edilebilir tohum aralığı oranını maksimum, öte yandan ikizlenme ve boşluk oranlarını minimize eden modellerin oluşturulması ve bunların birlikte irdelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla elde edilen verilerden yola çıkılarak geliştirilen modellerden

en uygun plaka çevre hızı (veya buna bağlı makina ilerleme hızı) plaka delik çapı ve vakum değerinin seçimi ile mümkün olacaktır.

Laboratuvarda Tepki Yüzeyleri Metodolojisi uyarınca yapılan denemeler sonucunda elde edilen kabul edilebilir tohum aralığı oranı, boşluk oranı ve ortalama sapma değerleri Çizelge 3’de verildiği gibidir.

**Çizelge 3. Kabul edilebilir tohum aralığı, boşluk oranı ve ortalama sapma değerleri (değerler 3 tekerrürden elde edilen makina performansının ortalaması şeklinde verilmiştir.)**

Deney No	Tekerrür Sayısı	Bağımsız Değişkenler			Bağımlı Değişken				
		Plaka çevre hızı (X <sub>1</sub> )	Delik Çapı (X <sub>2</sub> )	Vakum Basıncı (X <sub>3</sub> )	KTO (%)	Boşluk Oranı (%)	Ort. Sapma Değeri	İkizlenme Değeri (%)	Hassasiyet (%)
1	3	-1	-1	-1	54.13 (2.69)	45.86 (2.69)	23.53 (1.74)	0 (0.0)	17.05 (7.43)
2	3	-1	1	-1	97.92 (0.90)	2.08 (0.9)	2.19 (0.11)	0 (0.0)	13.93 (1.64)
3	3	1	-1	-1	26.51 (0.69)	72.48 (2.42)	41.19 (3.78)	1.01 (1.75)	22.2 (9.24)
4	3	1	1	-1	93.23 (5.49)	4.69 (2.71)	2.93 (0.67)	2.08 (3.65)	19.1 (6.26)
5	3	-1	-1	1	91.15 (0.9)	7.81 (0.0)	4.38 (0.88)	1.04 (0.9)	14.1 (0.5)
6	3	-1	1	1	97.40 (0.9)	1.04 (0.9)	2.06 (0.15)	1.56 (0.0)	13.13 (1.19)
7	3	1	-1	1	73.81 (1.21)	25.08 (3.02)	8.11 (0.73)	1.01 (1.75)	22.2 (2.35)
8	3	1	1	1	95.31 (1.57)	3.12 (1.57)	2.93 (0.11)	1.56 (1.57)	17.03 (1.81)
9	3	-1.682	0	0	93.23 (0.91)	4.69 (1.57)	3.77 (1.08)	2.09 (1.81)	17.03 (2.2)
10	3	1.682	0	0	70.43 (1.86)	24.27 (2.46)	7.35 (0.75)	4.3 (3.36)	21.93 (1.65)
11	3	0	-1.682	0	39.49 (8.44)	52.50 (5.99)	34.01 (5.27)	0.9 (1.56)	22.67 (9.11)
12	3	0	1.682	0	88.53 (2.38)	5.20 (3.25)	4.08 (1.07)	6.26 (2.68)	19.5 (0.82)
13	3	0	0	-1.682	61.21 (7.39)	49.39 (4.44)	21.55 (4.58)	3.0 (1.34)	22.97 (3.27)
14	3	0	0	1.682	84.69 (2.06)	11.26 (2.06)	5.33 (0.63)	4.05 (0.0)	17.87 (2.35)
15	3	0	0	0	89.06 (4.69)	8.85 (3.93)	4.79 (0.31)	2.08 (0.91)	17.6 (0.8)
16	3	0	0	0	86.98 (1.8)	8.33 (2.38)	4.45 (0.41)	4.69 (1.56)	20.77 (0.95)
17	3	0	0	0	89.42 (1.83)	6.35 (1.59)	4.32 (0.61)	4.23 (2.42)	15.67 (0.72)
18	3	0	0	0	88.56 (2.41)	9.88 (0.92)	4.87 (0.92)	1.56 (1.57)	17.23 (4.2)
19	3	0	0	0	86.46 (5.49)	7.29 (0.9)	4.84 (0.48)	6.25 (4.69)	18.63 (3.2)
20	3	0	0	0	88.02 (1.81)	9.37 (1.57)	5.87 (0.91)	2.61 (0.91)	18.97 (2.05)

Parantez içindeki değerler standart sapma değerleridir.

Çizelge 3’de sunulan veriler, teorik olarak aşağıda yazılı tam kuadratik (2. derece) formda Minitab İstatistik paket programında Stepwise regresyon analiz tekniği uyarınca değerlendirilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3 + \beta_7 X_1^2 + \beta_8 X_2^2 + \beta_9 X_3^2 \dots\dots\dots [2]$$

**Kabul Edilebilir Tohum Aralığı Modeli:**

$$\sqrt{KTO} = 9.33 - 0.412X_1 + 0.943X_2 + 0.702X_3 + 0.351X_1X_2 - 0.693X_2X_3 - 0.361X_2^2 - 0.385X_3^2 \dots [3]$$

**Boşluk Oranı Modeli:**

$$BO = 0.317 + 0.129X_1 - 0.307X_2 - 0.208X_3 - 0.103X_1X_2 + 0.197X_2X_3 + 0.101X_2^2 + 0.112X_3^2 \dots [4]$$

**Sapma Modeli:**

$$\sqrt{E_{rms}} = 2.165 + 0.304X_1 - 1.192X_2 - 0.752X_3 - 0.23X_1X_2 + 0.788X_2X_3 + 0.511X_2^2 + 0.353X_3^2 \dots [5]$$

Yukarıda verilen modellerin geliştirilmesinde tekerrürlerin tamamı kullanılmıştır.

Elde edilen tüm modellerin incelenmesi sonucunda,  $X_1X_3$  (plaka çevre hızı-vakum) interaksyonu ile  $X_1^2$  (plaka çevre hızı) değişkenlerinin hiçbir modelde yer almadığı görülmektedir.

Elde edilen modeller, çalışmada göz önüne alınan değişkenlerin hangi sırada olduğunu belirtmemektedir. Değişkenlerin modele hangi sırada girdikleri ve modele katkıları ile temel istatistiksel bilgiler Çizelge 4,5 ve 6'da verilmiştir.

Çizelgelerden de görüleceği üzere modellerin tümünde modele ilk sırada giren terim plaka delik çapı değişkeni olan  $X_2$ 'dir. Bunun anlamı, tüm modellerde en önemli değişimlere neden olan değişkenin plaka delik çapı olduğudur. Bunu takip eden değişkenler içinde vakum değeri önemli bir değişken olarak modellerde yer almaktadır.

**Çizelge 4. Kabul edilebilir tohum aralığı modeline ilişkin istatistiksel analiz sonuçları**

Sıra No	Değişken	Katsayısı	Standart hata	P-Değeri	R <sup>2</sup> (%) ve değişimi
-	Model sabiti	9.33	0.0616	2.10 <sup>-70</sup>	-
1	X <sub>2</sub>	0.943	0.0481	1.10 <sup>-25</sup>	38.67
2	X <sub>3</sub>	0.702	0.0481	1.10 <sup>-20</sup>	60.12
3	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	-0.693	0.0629	3.10 <sup>-15</sup>	72.36
4	X <sub>1</sub>	-0.412	0.0481	3.10 <sup>-11</sup>	79.76
5	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	-0.385	0.0629	9.10 <sup>-07</sup>	85.66
6	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	-0.361	0.0466	3.10 <sup>-10</sup>	91.61
7	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0.351	0.0629	9.10 <sup>-07</sup>	94.75

**Çizelge 5. Boşluk oranı (BO) modeline ilişkin istatistiksel analiz sonuçları**

Sıra No	Değişken	Katsayısı	Standart hata	P-Değeri	R <sup>2</sup> (%) ve değişimi
-	Model sabiti	0.317	0.0196	6.10 <sup>-22</sup>	-
1	X <sub>2</sub>	-0.307	0.0153	4.10 <sup>-26</sup>	43.28
2	X <sub>3</sub>	-0.208	0.0153	1.10 <sup>-18</sup>	63.14
3	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.197	0.02	1.10 <sup>-13</sup>	73.61
4	X <sub>1</sub>	0.129	0.0153	3.10 <sup>-11</sup>	81.24
5	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.112	0.014	6.10 <sup>-10</sup>	86.50
6	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	0.101	0.014	1.10 <sup>-08</sup>	91.50
7	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	-0.103	0.02	3.10 <sup>-06</sup>	94.39

Modeller interaksiyon terimleri açısından irdelendiğinde  $X_1X_3$  interaksiyonunun modellerde olmadığı görülür. Yani plaka çevre hızı (buna bağlı ilerleme hızı) ve vakum interaksyonu modellere %99 önem seviyesinde herhangi bir katkıda bulunmamaktadır. Modeller, kuadratik terimler açısından irdelendiğinde ise ilerleme hızı değişkeninin 2. derece etkisinin modellerde olmadığı, buna karşın her üç modelde de, delik çapı ve vakum değişkenlerinin 2. dereceden formlarının bulunması bu değişkenlerin optimumlarının olduğunun bir göstergesidir. Bu amaçla, elde edilen polinomiyal formdaki eşitlikte her bir değişkene bağlı olarak kısmi türevler alınıp elde edilen değerler "0" a eşitlendiğinde bu değişkenlerin optimum değerleri aşağıdaki şekilde bulunur (Çizelge 7).

**Çizelge 6. Sapma modeline ilişkin istatistiksel analiz sonuçları**

Sıra No	Değişken	Katsayısı	Standart hata	P-Değeri	R <sup>2</sup> (%) ve değişimi
-	Model sabiti	2.165	0.064	2.10 <sup>-70</sup>	-
1	X <sub>2</sub>	-1.192	0.05	1.10 <sup>-29</sup>	47.60
2	X <sub>3</sub>	-0.752	0.05	1.10 <sup>-20</sup>	66.55
3	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.788	0.065	1.10 <sup>-16</sup>	78.74
4	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	0.511	0.048	3.10 <sup>-14</sup>	87.01
5	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.353	0.048	2.10 <sup>-09</sup>	91.45
6	X <sub>1</sub>	0.304	0.05	1.10 <sup>-07</sup>	94.54
7	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	-0.23	0.065	9.10 <sup>-04</sup>	95.58

**Çizelge 7. Modellerden elde edilen optimum sonuçlar**

	KTO		BO		Ort Sapma	
	Kodlu	Kodsuz	Kodlu	Kodsuz	Kodlu	Kodsuz
$X_1$	-0.586	0.098	-0.85	0.088	-0.718	0.092
$X_2$	1.173	3.08	1.25	3.12	1.32	3.16
$X_3$	-0.11	57.8	-0.17	56.6	-0.408	51.84

Denklemler sırasıyla çözüldüğünde kodlu değerler olarak optimum  $X_1$  ve  $X_2$  ve  $X_3$  değişkenlerinin aldığı değerlerce eşitliği "0" yapan ve modeli doğrusal olarak etkileyen  $X_1$  kodlu değeri elde edilir. Tekrar vurgulamak gerekirse  $X_2$  yani plaka delik çapı ve  $X_3$  değişkenlerinin (vakum) optimumları söz konusu iken plaka çevre hızı değişkenini sembolize eden  $X_1$  değişkeninin optimumu söz konusu değildir. Elde edilen hız değeri eşitliği "0" yapan bir kırılma noktasıdır.

Elde edilen değişkenlerden plaka delik çapı ve vakum değerleri, farklı modellerden elde edilen optimumlara yakındır. Benzer durum, plaka çevre hızının kırılma noktası için de geçerlidir.

Bunun anlamı, tüm modellerden elde edilen optimum noktaların birbiriyle büyük bir uyum gösterdiği, bu sistemin oldukça düzenli ve tutarlı çalışan bir sistem olduğudur. Bu üç model arasındaki değişim sadece vakum değerleri arasındaki küçük farklılıklardır. Sonuç olarak ortalama sapma değerlerindeki sapmanın az olması daha düşük plaka çevre hızını veya diğer bir ifade ile düşük ilerleme hızını gerektirmektedir.

Denemelerden elde edilen ikizlenme verileri incelendiğinde makinanın genelde çok az ikizlenmelere neden olduğu ve ikizlenme değerlerinde belirli bir eğilimin olmadığı görülmektedir. Tekleme düzeneğinin oldukça iyi çalışması ve her bir delik çapına uygun gelecek şekilde ayarların yapılmış olması bu konuda önemli bir etken olmuştur. Yapılan tekrarlı analizler sonucunda da istatistiksel olarak önemli düzeyde bir matematiksel model elde edilememiştir. Ancak teorik olarak bir dağılım; kabul edilebilir tohum aralıkları oranı, boşluk oranı ve ikizlenme oranı değerlerinin toplamından oluşur ve toplamının 100 olması gereklidir. Böylesi durumda daha önceden geliştirilen ve yukarıda bahsedilen diğer iki oran (KTO ve BO) değerlerinin matematiksel formdaki modellerden hesaplanarak 100 değerinden farkını bulmak suretiyle ikizlenme oranı hakkında genel bir fikir edinmek mümkündür. Ancak geliştirilen modeller tümüyle

ampirik olduğundan kabul edilebilir tohum aralıkları ve boşluk oranı değerlerinin 100 değerini aştığı durumlara da rastlamak mümkün olabilir. Bu durum normal kabul edilir, zira geliştirilen modeller belirli bir tahminleme katsayısı oranında sonuçlar üretir.

### ***Tepki Yüzeyleri Modellerinin Grafikselleştirilmesi ve Sonuçlar***

Tepki Yüzeyleri Metodolojisi; adından anlaşılacağı üzere, üzerinde çalışılan problemin sistematik olarak belirli aşamalardan geçirilerek sonlandırılması esasına dayanan metodolojik bir yaklaşım aracıdır. Metodolojinin sondan bir önceki bu aşamasında elde edilen modellerin grafiksel sunumudur. (Şekil 1..3)

### ***Modellerin Doğrulanmasına İlişkin Sonuçlar***

Modellerin doğrulanması işlemi, Tepki Yüzeyleri Metodolojisi'nin en önemli ve son aşamasını oluşturmaktadır.

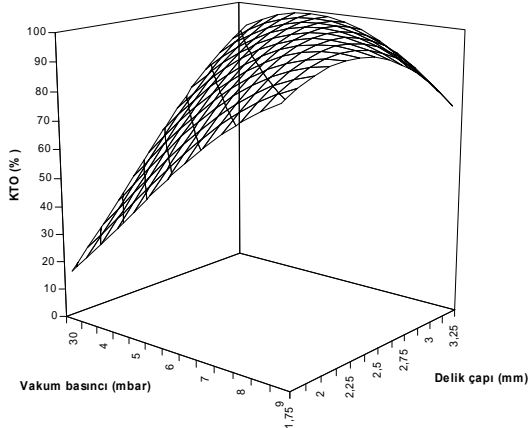
### ***Optimum Koşullardaki Deneme Sonuçları***

Denklemler çözümlenerek elde edilen optimum değerlerin doğruluğunu saptamak amacıyla tek dane ekim makinası ile bantta ilave denemeler yapılmıştır. Kabul edilebilir tohum aralıkları oranının optimum şartlarında yapılan denemeler sonucunda makinanın, tüm tohumları istenilen tohum aralığında ortalama olarak % 99.67 başarıyla ektiği belirlenmiştir. Diğer bir deyişle 11.8 cm tohum aralığında, tek dane ekim kriterleri ve değerlendirmesi uyarınca hemen hemen tüm tohumların 0.5-1.5 Z aralığında olacak şekilde bırakılması 0.098 m/s plaka çevre hızında (0.96 m/s ilerleme hızı), 3.08 mm delik çapındaki plakayla ve 57.8 mbar vakum basıncında gerçekleştirilmektedir. Ancak bu şartlardaki sözkonusu sınıma, deliklerin yapım hassasiyeti ( $\pm 0,1$  mm) ve vakum ölçerinin okuma hassasiyeti nedeniyle 3.0 mm çapındaki plakayla yaklaşık 55 mbar vakum basıncında ve bant ilerleme hızının yaklaşık 0.1 m/s plaka çevre hızı (yaklaşık 1.0 m/s ilerleme hızı) düzeyinde olduğu durumda yapılmıştır.

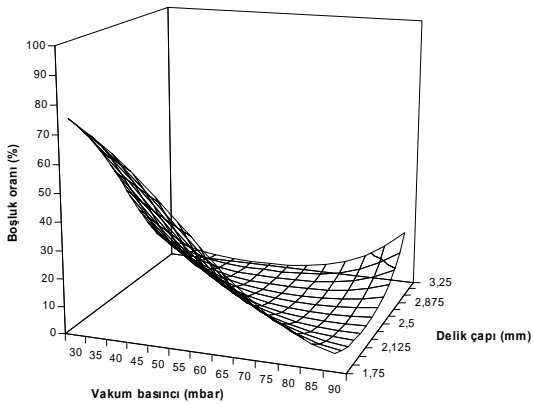
### ***Diğer Tohum Aralıklarında Gerçekleştirilen Denemelere İlişkin Sonuçlar***

Metodoloji ile elde edilen modelin geçerli olduğu sınırları saptamak amacıyla makina optimum koşullarda 5.2, 7 ve 14.2 cm tohum aralığında da

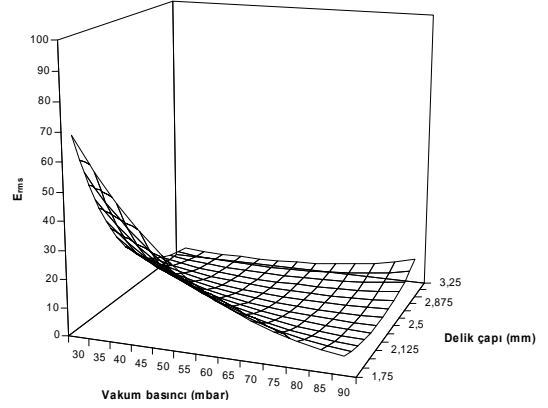
denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; 5.2 cm tohum aralığındaki ekim işleminde modelin işlevini yitirdiği, buna karşılık 7.0 ve 14.2 cm tohum aralıklarında (eşit plaka çevre hızında;  $V_p=0.1$  m/s) ise sırasıyla ortalama % 98.3 ve % 99.3 performans değerleriyle geçerliliğini sürdürdüğü saptanmıştır. Modellerin 5.2 cm tohum aralıklarında geçerliliğini yitirmesi buna karşılık 7.0 ve 14.2 cm sıra üzeri anma tohum aralığında başarısını koruması ilginç bir bulgudur. Bunun anlamı daha düşük mesafelerde ekim işlemi söz konusu olduğunda (5.2 cm gibi) daha düşük ilerleme hızlarında çalışılması, eğer yüksek hızlarda çalışılmak isteniyorsa aynı çapta deliklere ancak daha fazla deliğe sahip plaka kullanımının olumlu sonuçlar vereceği düşünülmektedir.



**Şekil 1. Plaka delik çapı ve vakum basıncının bir fonksiyonu olarak kabul edilebilir tohum aralığına (%) ait tepki yüzeyi**



**Şekil 2. Plaka delik çapı ve vakum basıncının bir fonksiyonu olarak boşluk oranına (%) ait tepki yüzeyi**



**Şekil 3. Plaka delik çapı ve vakum basıncının bir fonksiyonu olarak ortalama sapmalara ait tepki yüzeyi**

## SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar uygulama açısından çiftçilere; konstrüktif özellikleri geliştirme bakımından ise makina imalatçılara ışık tutacak niteliktedir. Bu çalışmada kullanılan Tepki Yüzeyleri Metodolojisinin diğer tarım makinaları problemlerine de uygulanabileceği düşünülmektedir.

Oldukça çok değişkene sahip deneme desenlerinde tüm değişkenlerin kombinasyonları ile tam faktöriyel denemeler yerine daha az sayıda fakat metodolojik bir yaklaşım ile gerçekleştirilecek denemelerde; zaman, emek ve parasal tasarruf yapılması sözkonusudur.

## İlerideki Çalışmalar

Tek dane havsız pamuk tohumlarının ekiminde makina performansının optimizasyonunu hedef alan bu çalışmanın diğer tohumluk materyallere de uygulanması ve optimum koşulların elde edilmesinin hem imalatçı kuruluşlar hem de çiftçi açısından yararlı olacağı düşünülmektedir. Yazarlar bu konudaki araştırmalarını sürdürmektedirler.

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Box, G.E.P., Draper, N. 1987. Empirical Model-Building and Response Surfaces. John Wiley & Sons, New York, 669 p.
- Kachman, S.D., Smith, J.A. 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. Transactions of the ASAE, (1995) 38(2), S: 379-387.
- Karayel, D., Barut, Z.B., Özmerzi, A. 2004. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder. Biosystem Engineering. (2004) 87(4), S: 437-444.
- Singh, R.C., Singh, G., Saraswat, D.C. 2005. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. Biosystem Engineering. (2005) 92(4), S: 429-438.
- Yazgi, A., 2004. Hava Emişli Tek Dane Ekim Makinası Örneğinde Ekim Performansının Tepki Yüzeyleri Metodolojisi Kullanılarak Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. E.Ü.Z.F. Tarım Makinaları Bölümü, Bornova, İzmir