

Tek Dane Ekici Düzen Performansının Optimizasyonuna Yeni Bir Yaklaşım: Akıllı Vakum Diski*

**Şahin DOĞAN¹, Adnan DEĞİRMENCİOĞLU¹, Cengiz ÖZARSLAN²,
Fazilet N. ALAYUNT¹**

¹Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, İzmir

²Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Aydın
adnan.degirmencioglu@ege.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 27.06.2016

Kabul Tarihi (Accepted): 21.11.2016

Özet: Bu çalışmanın amacı vakum prensibine göre çalışan tek dane ekim makinası ekici düzen performansının optimizasyonunu sağlamak ve bu amaçla öngörülen yeni bir yaklaşımın sınanmasıdır. Yapılacak olan yeni yaklaşımın esasını, tek dane olarak ekilecek tohumlara uygun delik çapını ve göz önüne alınan iki değişkeni (disk çevre hızı ve vakum miktarı) belirlemeye yönelik ve üzerinde her biri farklı çaplarda deliklerin bulunduğu akıllı disk oluşturmaktadır. Söz konusu bu yaklaşımla pamuk tohumlarının kullanıldığı bu çalışmada ekici düzenin tek dane yakalama, ikizlenme ve boşluk oranı performansını elde etmeye yönelik denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemeler vakum diski çevre hızı ve vakum miktarına bağlı olarak ve her bir değişken için beş seviyeli olarak Tepki Yüzeyleri Metodolojisi uyarınca gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ve geliştirilen matematiksel model sonuçları kullanılarak en uygun koşullarda yapışkan bant denemeleri gerçekleştirilmiş ve tek dane yakalama oranının sıra üzeri dağılım düzgünlüğünün bir göstergesi olup olmadığının sınaması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda farklı delik çaplarından oluşan akıllı vakum diskinin, kullanılan tohumlara ait delik çapı ve diğer iki değişkeni belirlemede son derece etkin bir rol oynadığı saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Dane yakalama oranı, ekim, tepki yüzeyleri metodolojisi, matematiksel modelleme

A New Approach to Optimize the Performance of a Precision Metering Unit: Smart Vacuum Disk

Abstract: The objective of this study was to optimize the seeding performance of a precision metering unit and test a new approach. The new approach is based upon the use of a smart vacuum disk with holes at different diameters ranging between 0.5 and 8 mm in order to determine the appropriate hole diameter on disk along with other variables (disk peripheral speed and amount of vacuum) considered in the study. Experiments were conducted to meet the above objectives and cotton seeds were used to find out the single seed holding, multiple and miss index values. Experiments considered the five levels of each independent variable was carried out in the laboratory and Response Surface Methodology principles were applied to optimize two variables namely vacuum disk peripheral speed and amount of vacuum. Some verification tests were conducted on sticky belt test stand by using the results from the experiments and mathematical models developed. The verification tests targeted to find out the answer to if the seed holding ration is the indicator of seed spacing uniformity performance. The results indicated that the smart vacuum disk is capable of finding the appropriate hole diameter and other two variables.

Key words: Seed holding, seeding, response surface methodology, mathematical modelling

* Şahin DOĞAN'ın Yüksek Lisans tez çalışmasının bir bölümü kullanılarak hazırlanmıştır.

GİRİŞ

Giderek artan dünya nüfusunun 2050 yılında yaklaşık 10 milyar civarında olma beklentisi, özellikle beslenme gereksiniminin karşılanmasında yaşanması muhtemel sorunları da beraberinde getirecektir. Daha fazla üretim için iki yol uygulanabilir. Bunlar yeni alanların tarıma açılması ya da birim alandan alınacak ürün miktarı yani verimin artırılması olarak belirtilebilir. Dünya genelinde bitkisel üretime yönelik birçok çalışma artık üretimin daha hassas ve teknolojik araçlar kullanılarak yapılmasına yönelik olup bu yolla verimin artırılması hedeflenmektedir. Tek dane olarak ekimi yapılan ürünlerde her bir bitkiye eş yaşam alanı sağlama yönünde dolayısı ile ekim kalitesini maksimum kılmayı hedefleyen, sonuçta direkt olarak verim artışını sağlamaya yönelik çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Giderek artan çevre bilinci ile ve günümüz sensör teknolojisinin tarım makinalarında kullanılmaya başlaması ile gerçekleştirilen değişken düzeyli uygulamalar, aynı zamanda üretimde daha ekonomik boyutlara ulaşılmasını sağlamaktadır.

Günümüzde birçok tarım makinasında olduğu gibi tek dane ekim makinaları da daha teknolojik özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanmakta ve bunda amaç yine tohumun çimlenmesi ve uygun toprak koşullarının yaratılması hedeflenmektedir. Nem sensörleri ile donatılmış bir ekim makinası ile tohumların uygun nemin bulunduğu bir toprak ortamına bırakılmasını sağlamak günümüz teknolojisinin bir tarım makinasına en güzel yansımaya örnek olarak verilebilir.

Tek dane olarak ekim işleminde ekim kalitesi, tohumların sıra üzeri teorik tohum mesafesinin belirli bir aralık içerisinde kalacak şekilde toprağa yerleştirilmesine bağlıdır. Bu bağlamda gerek tarla gerekse de laboratuvar koşullarında performans denemeleri gerçekleştirilmektedir. Her iki çalışma tarzı oldukça efor, zaman ve finans gerektiren yapıdadır. Tek dane olarak ekimi gerçekleştirilecek herhangi bir ürün ile çalışmada ekim kalitesine katkıda bulunan değişkenler konstrüksiyona, tohumun fiziksel özelliklerine ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Böylesi bir olayda çok sayıda değişkeni ele alarak çalışmada daha pratik ve kısa zamanda sonuçlar verecek çözümler önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, vakum prensibine göre çalışan tek dane ekim makinası ekici düzen performansının optimizasyonunu sağlamak, böylelikle öngörülen yeni bir yaklaşımı sınamaktır. Yapılacak olan yeni yaklaşımın esasını, tek dane olarak ekilecek tohumlara uygun delik çapını belirlemeye yönelik ve üzerinde her biri farklı çaplarda deliklerin bulunduğu akıllı disk oluşturmaktadır. Söz konusu yaklaşım, bilinen yapışkan bant denemelerini elimine etme ve ekici düzen performansının optimizasyonuna yönelik olarak öngörülen yeni bir yöntemdir. Bu genel yaklaşım üzerine kurulu bu çalışmada, farklı tohumlar için iki farklı değişkene (uygulanan vakum miktarı ve disk çevre hızı) bağlı olarak vakum diski tarafından dane yakalanma oranlarındaki değişim belirlenip söz konusu bu performans matematiksel formda ifade edilmeye çalışılmıştır.

Hoff and Merderski (1960) yüksek mısır verimi sağlamada uygun toprak neminin en önemli faktör olduğunu ve bunun yanında birim alandaki bitki sayısı ve bitkilerin güneşlenme miktarı ve besin maddesi alımının da son derece önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bitki besin maddesi, güneşlenme miktarı ve nem alımında ise en önemli faktör bitkilere eş değer yaşam alanı sağlanmasıyla mümkündür.

Staggenborg ve ark. (2004) ekim sırasında artan ilerleme hızına bağlı olarak sıra üzeri bitki dağılımının giderek azaldığını ve bunun göstergesi olan kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) indeksinin düştüğünü bulmuşlardır.

Önal (1987) farklı bir çalışmada farklı tohumlar (mısır, ayçiçeği ve havsız pamuk) kullanarak dane atım frekansı, vakum diski üzerindeki delik sayısı, disk çevre hızı, ekim aralığı ve makina ilerleme hızının ekim kalitesine etkisini araştırmıştır. Çalışmada 20.58 cm ekim aralığında 12.5 kmh^{-1} ; 8.73 cm ekim aralığında ise 5.4 kmh^{-1} hızla ekimin sorunsuz bir şekilde yapılacağı ortaya konmuştur. 8.73 cm ekim aralığında ana dağılımın varyasyon katsayısı ilerleme hızı arttıkça yükselme eğiliminde olmasına karşın, 11.24 cm ve 14.93 cm ekim aralığında ilerleme hızının ana dağılımın varyasyon katsayısında farklılık yaratmadığı bulunmuştur.

Singh et al. (2005) tarafından yürütülen çalışmada, vakum prensibine göre çalışan ekici düzenin farklı vakum ve delik şeklinin ekim kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. İncelemede makina performansı boşluk,

ikizlenme oranı ve kabul edilebilir tohum aralığı oranlarını belirlemişlerdir. Singh ve ark. (2005) pamuk tohumları için 2.5 mm çapında deliklere sahip disk kullanımıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında en uygun disk çevre hızını, 0.42 ms^{-1} ve vakum değerini ise 2 kPa ve bu koşullardaki kabul edilebilir tohum aralığı değerini ise %94.7 olarak bulmuşlardır.

Moody et al. (2003) yürüttükleri çalışmada, çapa ürünlerinin ekiminde kullanılan ve vakum tip bir tek dane ekim makinasını kullanmışlardır. Deneysel olarak yürüttükleri bu çalışmada 4.8, 7.2 ve 9.7 kmh^{-1} makina ilerleme hızlarında buna karşılık gelen 0.16, 0.23 ve 0.31 ms^{-1} çevre hızlarında çalışmış ve denemelerde materyal olarak da pamuk ve mısır tohumlarını kullanmışlardır. Çalışmadan elde edilen önemli sonuç, tohum aralığındaki değişimin artan disk çevre hızıyla birlikte arttığı şeklindedir.

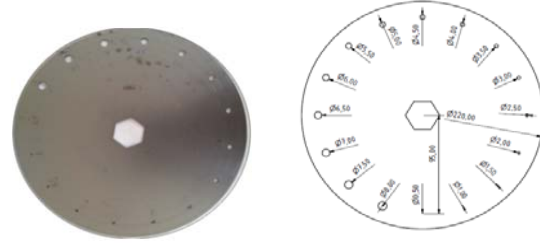
Barut ve Özmerzi (2004) vakumlu tip bir tek dane ekici düzende farklı çalışma parametrelerinin dane yakalama oranı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Mısır tohumlarının materyal olarak kullanıldığı çalışmada dairesel, üçgen, kare ve oblong delik şekli ele alınmıştır. Çalışma sonucunda en uygun delik şeklinin oblong delik olduğu ve disk çevre hızının artması ile dane yakalama oranının azaldığı bulunmuştur. Çalışmada ayrıca vakum miktarındaki artışa paralel olarak dane yakalama oranının da artış gösterdiği belirlenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Akıllı vakum disk, $\phi 190 \text{ mm}$ yörünge üzerinde dizilmiş deliklerden oluşan, 2 mm kalınlığında, 220 mm dış çapında paslanmaz çelik sactan imal edilmiştir. Disk üzerinde; en küçüğü 0.5 mm ve en büyüğü ise 8 mm çapında olacak şekilde 0.5 mm artışlarla büyüyen toplam 16 delik bulunmaktadır. Diskin genel görünümü Şekil 1' de gösterildiği gibidir.

Denemelerde Progen marka, Flash çeşidi pamuk tohumları kullanılmış olup bu tohumlara ait bazı fiziksel özellikler ise Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Akıllı vakum diskinin imal edilmiş ve tasarım görünümü

Figure 1. Manufactured and designed view of the smart vacuum disk

Motor çıkış devri bir redüktör yardımıyla 1/50 oranında düşürülmesi ve bir hız kontrol cihazı ile frekansı değiştirmek yoluyla vakum disk devrinin ayarlanması sağlanmıştır. Hız kontrol cihazı üzerindeki dijital frekans göstergesi ve vakum diskine sağlanacak devir arasında ilişkiyi bulma amacıyla yapılan denemeler sonucunda bir kalibrasyon doğrusu geliştirilmiştir. Denemelerde istenen vakum basıncı değerlerinin tek dane ekim makinası fanından elde edilmesinde traktör yerine devri kademesiz olarak ayarlanabilen, elektronik kontrollü redüktör düzeni kullanılmıştır. Bu sayede traktörle çalışmada oluşabilecek olumsuz etmenler (yakıt tüketimi, egzoz dumanı v.b) de ortadan kaldırmıştır.

Fan tarafından oluşturulan vakum yardımıyla tohumların disk üzerinde tutunmasını sağlayan vakum değerinin ölçülmesi için kullanılan sistem bir başlık, kauçuk hortum ve dijital vakum ölçerden oluşturulmuştur.

Çalışma sırasında tohumun diskte tutulduğu andaki vakum basıncının ölçülebilmesi için bu sistem, ekici üniteye giren vakum hortumu üzerindeki hava giriş ağzına monte edilmiş ve vakum ölçümleri bu noktada gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Denemelerde kullanılan pamuk tohumlarının bazı fiziksel özellikleri

Table 1. Some physical properties of cotton seeds used in experiments

Tohumluk	Uzunluk (a; mm)	Genişlik (b; mm)	Kalınlık (c; mm)	Küresellik* (%)	Bin Dane Ağırlığı (g 1000 adet ⁻¹)	Hacim Ağırlığı (kgm ⁻³)	Geometrik Ortalama Çap**	Kritik Hız (ms ⁻¹)
Pamuk	9.10 [±0.73]	4.84 [±0.41]	4.33 [±0.32]	63.31 [±2.51]	87.6 [±0.38]	591.29 [±3.27]	5.75	11.2

Çizelgede parantez içinde verilen ürünlere ait değerler, yapılan örneklemelerden elde edilen standart sapma değerleridir. * $\phi = \sqrt[3]{(a.b.c)/a}$ ** $D_p = \sqrt[3]{(a.b.c)}$ olarak hesaplanmıştır.

Denemelerde tek dane ekim makinaları için performans göstergesi olan sıra üzeri tohum aralıklarının ölçümünde bilgisayar destekli lazerli otomatik mesafe ölçüm sistemi kullanılmıştır. Sistem yazılımı; verilerin toplanarak bilgisayara aktarılması ve toplanan verilerin analizi üzere iki aşamadan meydana gelmektedir. Verilerin toplanmasında, Visual Basic’de geliştirilen ve basit bir kullanıcı ara yüzü ile verileri Microsoft Excel’e aktaran Project1.exe yazılımı, verilerin istatistiksel analizinde ise Microsoft Excel içerisinde VB Macros kullanılarak hazırlanan yazılım kullanılmaktadır (Önal ve Önal, 2009). Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelerde her bir ürüne ait, boşluk oranı, ikizlenme ve kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) oranına ait hesaplamalar bu yazılım ile anlık olarak gerçekleştirilmiştir.

Pamuk tohumlarının ekiminde aday olan her bir delik çapı performans modeli oluşturulmasında Microsoft Excel ve Minitab Windows Release 13.20 versiyonu kullanılmıştır.

Çalışmada Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü’nde mevcut Sony marka HDR-XR105 (4.0 Mega-pixel, 25 fps) video kamera kullanılmıştır.

Yöntem

Tepki Yüzeyleri Metodolojisi (TYM) teorisi bölümünde verildiği üzere TYM’de genelde kuadratik formda bir fonksiyon olarak elde edilir. Teorik formdaki bu fonksiyon aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_0 \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

\hat{y} : Tepki Değeri (Bağımlı değişken)

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

x_i, x_j : Kodlu bağımsız değişken değerleri

ε_0 : Hata

Yukarıdaki eşitlikte verilen x_i kodlu değerleri, bağımsız değişkenlere bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilen bir dönüşümle elde edilir.

$$x_i = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i0}}{S_i} \quad (2)$$

Bu eşitlikte ε_i =orijinal birimdeki bağımsız değişken değeri; ε_{i0} = ortalama değer ve S_i =adım değeridir. Denemelerde kullanılan Tepki Yüzeyleri Metodolojisi (TYM) deneme dizaynlarından Merkez Esaslı Kompozit Dizayn (Central Composite Design-CCD) deneme deseni Çizelge 2’de verilmiştir (Box and Draper, 1987).

Çizelge 2. İki bağımsız değişkenli ve beş seviyeli merkez esaslı kompozit dizayn (Central Composite Design-CCD) deneme deseni.

Table 2. Central Composite Design (CCD) using two independent variables with five levels

Deney No	X ₁	X ₂	Y
1	1	-1	Y ₁
2	-1	-1	Y ₂
3	-1	1	Y ₃
4	1.414	0	Y ₄
5	0	-1.414	Y ₅
6	1	1	Y ₆
7	0	1,414	Y ₇
8	-1.414	0	Y ₈
9	0	0	Y ₉
10	0	0	Y ₁₀
11	0	0	Y ₁₁
12	0	0	Y ₁₂
13	0	0	Y ₁₃

X₁: kodlu disk çevre hızı; X₂: kodlu vakum; Y: tek dane yakalama; ikizlenme veya boşluk oranı

İki bağımsız değişkenin kodlu forma dönüştürülmesinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$X_1 = \frac{\varepsilon_1 - 0.12}{0.04} \quad (3)$$

$$X_2 = \frac{\varepsilon_3 - 60}{20} \quad (4)$$

Pamuk tohumlarının tek dane ekiminde vakum diski çevre hızı merkez değeri eşitlik 3’den görüleceği üzere 0.12 ms⁻¹ (makina ilerleme hızı 1.2 ms⁻¹) ve adım değeri ise 0.04 ms⁻¹ olarak kabullenilmiştir. Vakum miktarının merkez değeri 60 mbar ve adım değeri ise 20 mbar olarak seçilmiştir. Eşitlik 3 ve 4 kullanılarak çizelge 3’de verilen deneme desenine esas olan plaka çevre hızı ve vakum değerlerinin kodlu ve kodsuz değerleri çizelge 3 ve 4’de hesaplandığı gibidir.

Çizelge 3. Pamuk tohumları ile Tepki Yüzeyleri Metodoloji'sine uygun olarak çalışmada öngörülen adım değerine bağlı olarak hesaplanmış plaka çevre hızlarının (X_1) kodlu ve kodsuz (gerçek) değerleri

Table 3. Coded and uncoded values of peripheral speed of the disk as calculated based on the assumed step value and Response Surface Methodology

	Kodlu ve kodsuz plaka çevre hızları (ms^{-1}); X_1					
	Adım (ms^{-1})	-1.414	-1	0	1	1.414
Pamuk	0.04	0.063	0.08	0.12	0.16	0.1765

Çizelge 4. Pamuk tohumları ile Tepki Yüzeyleri Metodoloji'sine uygun olarak çalışmada öngörülen adım değerlerinde hesaplanmış vakum basınçlarının (X_2) kodlu ve kodsuz (gerçek) değerleri

Table 4. Coded and uncoded values of the amount of vacuum as calculated based on the assumed step value and Response Surface Methodology

Materyal	Adım (ms^{-1})	Kodlu ve kodsuz vakum değerleri (mbar); X_2				
		-1.414	-1	0	1	1.414
Pamuk	20	31.7	40	60	80	88.3

Pamuk tohumları ile çalışmada ise maksimum 4.5 mm çapına kadar olan 9 farklı delik çapından elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Tohumların delik içerisinden geçmemesi gerektiği düşüncesinden hareketle, çapı 4.5 mm'den büyük olan delikler denemeler esnasında kapatılmıştır. Tepki Yüzeyleri Metodolojisi (TYM) uyarınca gerçekleştirilen toplam 13 denemenin her birinde vakum diskinin en az 20 turunu içerecek şekilde video kamera ile elde edilecek görüntüler sonradan yavaş modda izlenmiş (danelerin duruş biçimleri dikkate alınarak) ve dane yakalama oranları (boşluk ve ikizlenmeler) saptanmıştır. Dane yakalama oranı çalışma rejimine girmiş bir vakum diskinde ve her bir delik çapı için ayrı ayrı olacak şekilde tek tohuma sahip toplam delik adedi/tur sayısı şeklinde belirlenmiştir. Denemeler sırasında birden fazla tohumun delik üzerinde tutunmasını engelleyici hiç bir tekleme oranı kullanılmamıştır. Böylelikle tekleme düzeni kullanımından arındırılmış bir sistemde bir tohumun bir delik üzerinde tutunmasını sağlayıcı uygun vakum, delik çapı ve vakum diski çevre hızının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Belirlenen dane yakalama oranları (ayrı çaplardaki her bir aday delik için), boşluk ve ikizlenme değerlerini tahminleme için teorik formda tam kuadratik olarak tanımlanan değişkenler Minitab istatistiksel analiz programında stepwise regresyon analizine tabi tutulmuştur. Polinomial formda geliştirilen ve stepwise regresyon analizi sonucu tüm modellerde yer alan değişkenlerin seçimi %95 önem

düzeyinde olup yine tüm modellerdeki değişkenler kodlanmış formdadır. Geliştirilen modellerden yapılacak tahminlemelerde; tek tohum, boşluk veya ikizlenme oranı tahminlemelerinin 100 değerini geçmesini engelleyici şekilde aşağıda verilen transformasyon uygulanmıştır.

$$Y' = \arcsin\left(\sqrt{\frac{Y}{100}}\right) \quad (5)$$

Söz konusu bu transformasyonda Y değeri; yüzde olarak tek dane yakalama oranı, ikizlenme veya boşluk değeridir. Sıra üzeri tek dane ekimde performansı maksimum kılacak olan durumda yapışkan bant üzerinde sına denemeleri yapılarak böylece dane yakalama oranının yapışkan bant denemeleri ile ne denli uyum gösterdiği belirlenmiştir. Bu sına denemelerinin yanı sıra diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile benzer tohum/küresel materyaller için kıyaslamalar yapılmıştır.

Bant performans denemelerinde değerlendirme esasları; elde edilen tohum aralıkları bilgisayar ortamında istatistik programlarına aktarılarak anma ekim aralığı (Z) referans alınarak (söz konusu bu çalışma için $Z=11.8 \text{ cm}$) $\leq 0.5 Z$ değeri; $0.5 Z$ değerinden büyük; ancak $1.5 Z$ değerinden küçük mesafeler ile $\geq 1.5 Z$ değerinden büyük aralıklardaki tohumlar için adet ve yüzde olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu üç bölge oransal olarak ifade edildiğinde sırasıyla; İkizlenme (Multiple Index),

Kabul Edilebilir Tohum Aralığı (Quality of Feed Index) ve Boşluk Oranı (Miss Index) olarak tanımlanmaktadır (Kachman and Smith, 1995).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Pamuk tohumlarıyla yapılan denemelerde akıllı diskin çevre hızı ve vakum basıncına göre her bir delik çapının tek dane yakalama yüzdeleri Şekil 2 ve 3'de gösterildiği gibidir.

Şekil 2'den görüleceği üzere 0.5 mm'lik delik çapının pamuk tohumlarını yakalama oranı Deney No 4'de ($X_1=0.17 \text{ ms}^{-1}$ ve $X_2=60 \text{ mbar}$) ve Deney No 7'de ($X_1=0.12 \text{ ms}^{-1}$, $X_2=88.3 \text{ mbar}$) %50'ye ulaşmış olup diğer deney no'larda hiçbir pamuk tohumunu yakalayamamıştır. 1 mm'lik delik çapının, tek tohum yüzdesinin en fazla olduğu orana (%60) Deney No 7'de ($X_1=0.12 \text{ ms}^{-1}$ ve $X_2=88.3 \text{ mbar}$) ulaştığı görülmektedir. 1.5 mm'lik delik çapının tüm deneylerde tek tohum yakaladığı, Deney No 3 ile ($X_1=0.08 \text{ ms}^{-1}$ ve $X_2=80 \text{ mbar}$) Deney No 9 ve sonrasında da %90 civarında tek tohum yüzdesine sahip olduğu; 2 mm'lik delik çapının ise Deney No 2'de ($X_1=0.08 \text{ ms}^{-1}$ ve $X_2=40 \text{ mbar}$) %100'lük tek tohum yüzdesine ulaştığı gözlemlenmiştir.

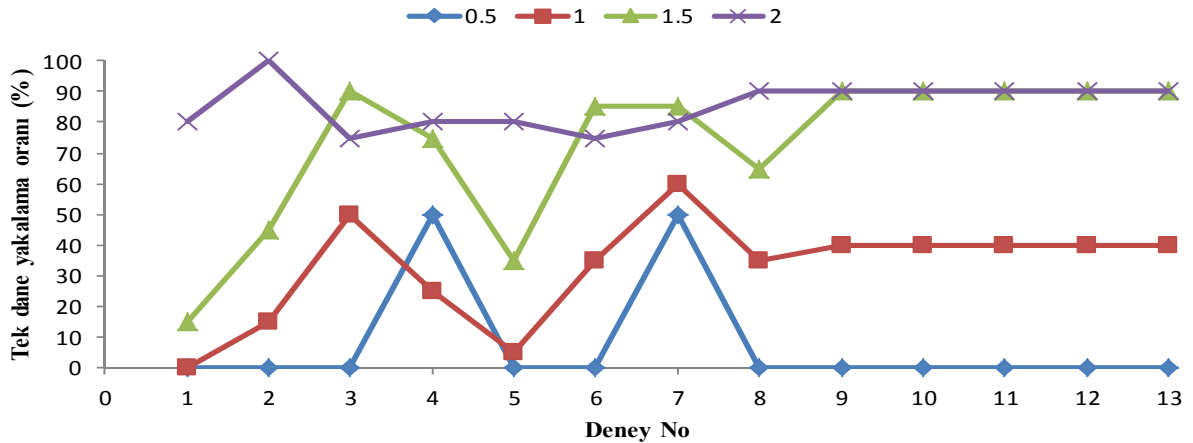
Şekil 3 incelendiğinde; 2.5 mm'lik delik çapı Deney No 5'de ($X_1=0.12 \text{ ms}^{-1}$ ve $X_2=31.7 \text{ mbar}$)

%100 tek dane yakalama yüzdesine ulaşmış iken, 3 mm delik çapı Deney No 1'de ($X_1=0.16 \text{ ms}^{-1}$ ve $X_2=40 \text{ mbar}$) ve Deney No 6'da ($X_1=0.16 \text{ ms}^{-1}$ ve $X_2=80 \text{ mbar}$) %75 civarında tek dane yakalama oranına sahiptir. 3.5 mm'lik delik çapı Deney No 9 ve sonraki deneylerde ($X_1=0.12 \text{ ms}^{-1}$ ve $X_2=60 \text{ mbar}$) %75 civarında tek dane yakalama oranına sahipken; 4 mm'lik delik çapı ise Deney No 4'de ($X_1=0.17 \text{ ms}^{-1}$ ve $X_2=60 \text{ mbar}$) %55'lik tek dane yakalama yüzdesine sahiptir. Pamuk tohumu için en az tek dane yakalama oranı 4.5 mm delik çapında %10 oran ile Deney No 7'de gerçekleşmiştir.

Pamuk tohumları ile çalışmada ikizlenme oranına ait veriler Şekil 4 ve 5'de, boşluk oranlarına ilişkin değerlere ait grafikler Şekil 6 ve 7'de verildiği gibidir.

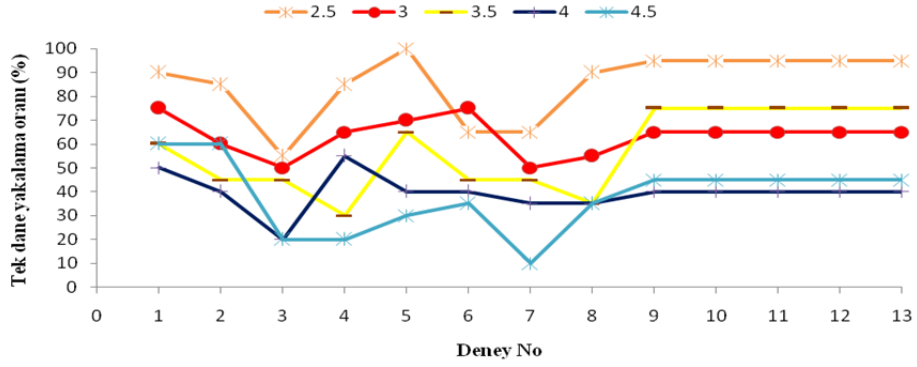
Şekil 4 ve 5 incelendiğinde, ikizlenme değerlerinin delik çapı arttıkça genel olarak artma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu bulgunun aksine boşluk oranlarındeki değerler delik çapı arttıkça azalma göstermektedir (Şekil 6 ve 7).

Matematiksel modelleme yolunda her bir delik çapı için geliştirilen eşitlikler tek dane yakalama oranı için Çizelge 5'de, ikizlenme ve boşluk oranı modelleri ise sırasıyla Çizelge 6 ve 7'de verilmiştir.



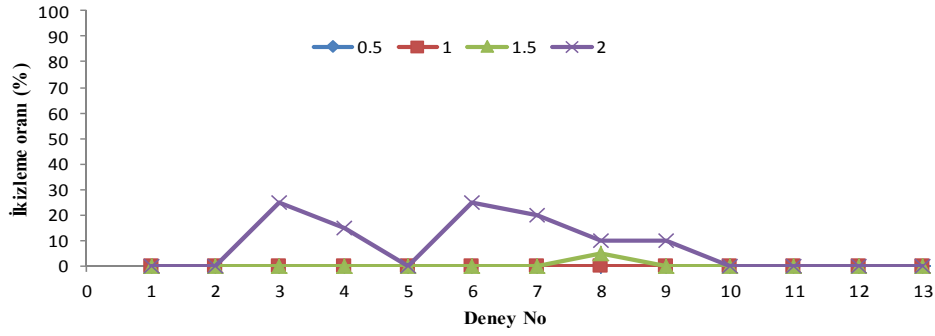
Şekil 2. Pamuk tohumları ile çalışmada farklı disk çevre hızı ve vakum basıncı değerlerinde (Çizelge 2'de verilen deneme deseni uyarınca) 0.5, 1, 1.5 ve 2 mm delik çaplarının tek dane yakalama oranları (%)

Figure 2. Seed holding ratios (%) of holes in the diameter of 0.1, 1.,1.5 and 2 mm as a function of peripheral speed of the vacuum disk and amount of vacuum (based on the experiment design tabulated in table 2) for cotton seeds



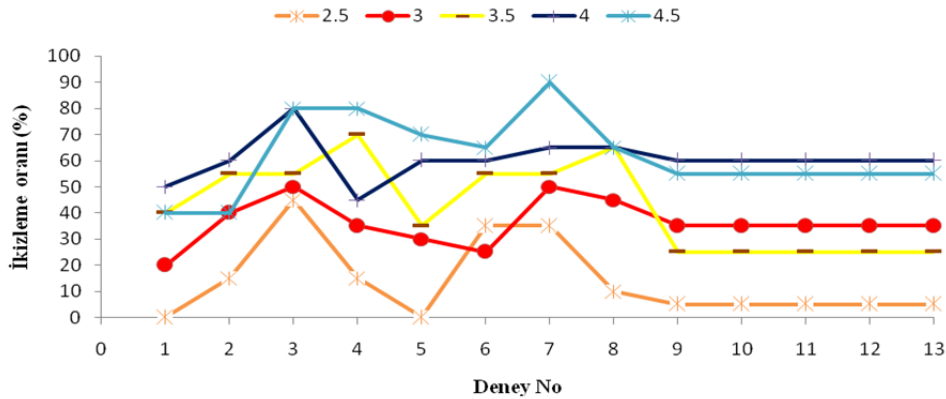
Şekil 3. Pamuk tohumları ile çalışmada farklı disk çevre hızı ve vakum basıncı değerlerinde (Çizelge 2’de verilen deneme deseni uyarınca) 2.5, 3, 3.5, 4 ve 4.5 mm delik çaplarının tek dane yakalama oranları (%)

Figure 3. Seed holding ratios (%) of holes in the diameter of 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 and 4.5 mm as a function of peripheral speed of the vacuum disk and amount of vacuum (based on the experiment design tabulated in table 2) for cotton seeds



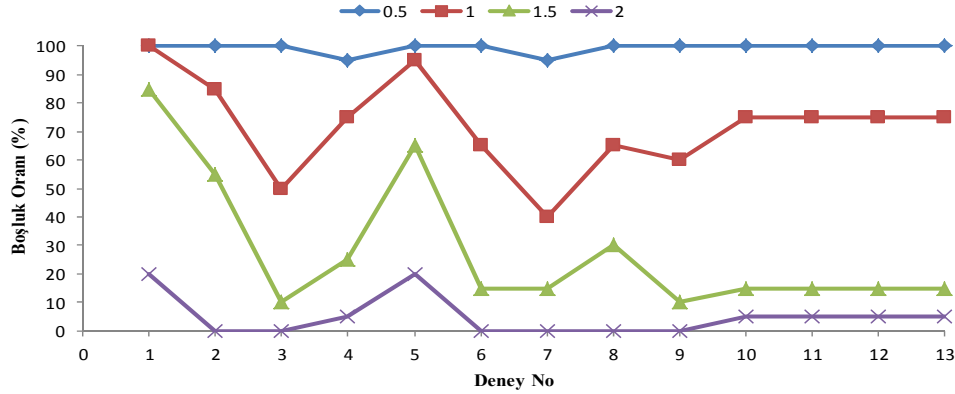
Şekil 4. Pamuk tohumları ile çalışmada farklı disk çevre hızı ve vakum basıncı değerlerinde (Çizelge 2’de verilen deneme deseni uyarınca) 0.5, 1, 1.5 ve 2 mm delik çaplarının ikizlenme oranları (%)

Figure 4. Multiple index values (%) of holes in the diameter of 0.5, 1, 1.5 and 2 mm as a function of peripheral speed of the vacuum disk and amount of vacuum (based on the experiment design tabulated in table 2) for cotton seeds



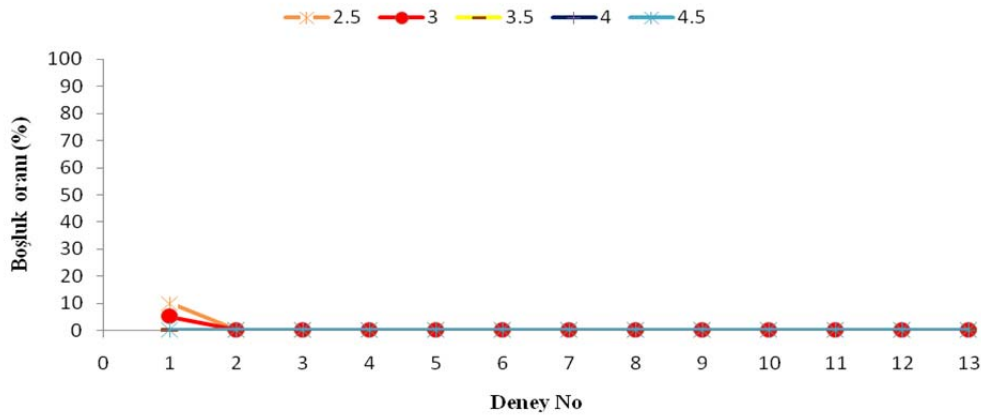
Şekil 5. Pamuk tohumları ile çalışmada farklı disk çevre hızı ve vakum basıncı değerlerinde (Çizelge 2’de verilen deneme deseni uyarınca) 2.5, 3, 3.5, 4 ve 4.5 mm delik çaplarının ikizlenme oranları (%)

Figure 5 Multiple index values (%) of holes in the diameter of 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 and 4.5 mm as a function of peripheral speed of the vacuum disk and amount of vacuum (based on the experiment design tabulated in table 2) for cotton seeds



Şekil 6. Pamuk tohumları ile çalışmada farklı disk çevre hızı ve vakum basıncı değerlerinde (Çizelge 2’de verilen deneme deseni uyarınca) 0.5, 1, 1.5 ve 2 mm delik çaplarının boşluk oranları (%)

Figure 6. Miss index values (%) of holes in the diameter of 0.1, 1.,1.5 and 2 mm as a function of perihheral speed of the vacuum disk and amount of vacuum (based on the experiment design tabulated in table 2) for cotton seeds



Şekil 7. Pamuk tohumları ile çalışmada farklı disk çevre hızı ve vakum basıncı değerlerinde (Çizelge 2’de verilen deneme deseni uyarınca) 2.5, 3, 3.5, 4 ve 4.5 mm delik çaplarının boşluk oranları (%)

Figure 7. Miss index values (%) of holes in the diameter of 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 and 4.5 mm as a function of perihheral speed of the vacuum disk and amount of vacuum (based on the experiment design tabulated in table 2) for cotton seeds

Çizelge 5. Pamuk tohumu için tek dane yakalama (y_{pt}) oranı modelleri ve tahminleme katsayıları (R^2)

Table 5. Seed holding ratio models and coefficient of determination values (R^2) for cotton seeds

Delik Çapı (mm)	Matematiksel Model	R^2
0.5	na	
1	$Y'_{pt1} = 0.5775 + 0.244X_2$	68.76
1.5	$Y'_{pt1.5} = 1.249 + 0.257X_2 - 0.188X_2^2 - 0.143X_1^2$	89.04
2	na	
2.5	$Y'_{pt2.5} = 1.345 - 0.193X_2 - 0.113X_1^2 - 0.091X_2^2$	83.27
3	na	
3.5	$Y'_{p3.5} = 1.0472 - 0.208X_1^2 - 0.092X_2^2 - 0.055X_2$	94.54
4	$Y'_{pt4} = 0.6347 + 0.076X_1 - 0.049X_2 + 0.040X_1^2$	83.61
4.5	$Y'_{pt4.5} = 0.6572 - 0.130X_2$	41.00

na: model elde edilememiştir.

Çizelge 6. Pamuk tohumu için ikizlenme (Y_{pi}) oranı modelleri ve tahminleme katsayıları (R^2)

Table 6. Multiple index models and coefficient of determination values (R^2) for cotton seeds

Delik Çapı (mm)	Matematiksel Model	R^2
0.5	na	
1.0	na	
1.5	na	
2	$Y'_{pi2} = 0.1167 + 0.213X_2 + 0.129X_1^2$	76.65
2.5	$Y'_{pi2.5} = 0.3796 + 0.233X_2$	76.05
3	$Y'_{pi3} = 0.6622 - 0.078X_1$	31.55
3.5	$Y'_{pi3.5} = 0.6720 + 0.139X_1^2 + 0.055X_2$	77.59
4	$Y'_{pi4} = 0.8957 - 0.076X_1 + 0.049X_2$	74.19
4.5	$Y'_{pi4.5} = 0.9136 + 0.130X_2$	41.00

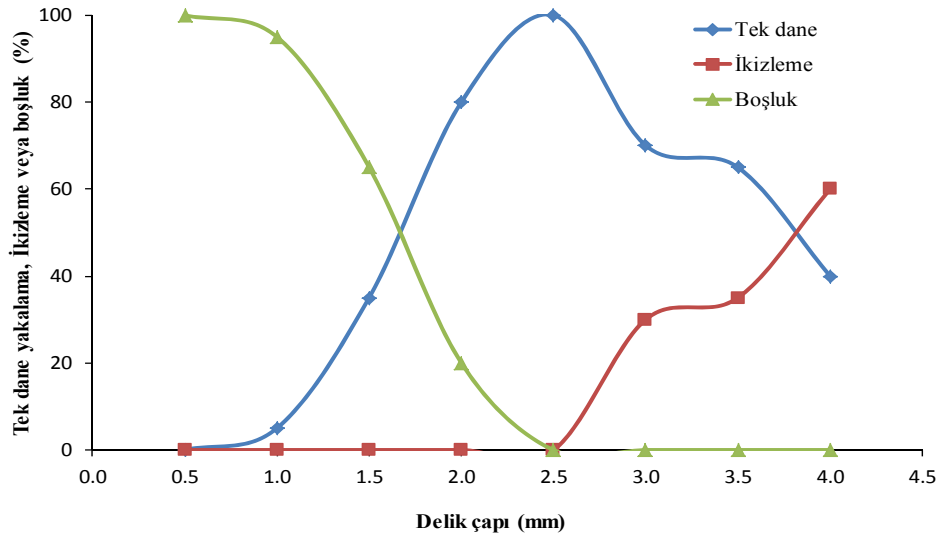
na: model elde edilememiştir.

Çizelge 7. Pamuk tohumu için boşluk (y_{pb}) oranı modelleri ve tahminleme katsayıları (R^2)

Table 7. Miss index models and coefficient of determination values (R^2) for cotton seeds

Delik Çapı (mm)	Matematiksel Model	R^2
0.5	na	
1	$Y'_{pb1} = 1.043 - 0.244X_2 + 0.088X_1$	85.90
1.5	$Y'_{pb1.5} = 0.3825 - 0.257X_2 + 0.161X_2^2 + 0.103X_1^2$	87.16
2	$Y'_{pb2} = 0.1581 - 0.140X_2 + 0.098X_1 - 0.116X_1X_2$	79.83
2.5	na	
3	na	
3.5	na	
4	na	
4.5	na	

na: model elde edilememiştir.



Şekil 8. Pamuk tohumları ile çalışmada 0.12 ms^{-1} disk çevre hızı ve 31.7 mbar vakumda (Deney No:5) delik çaplarına göre tek dane yakalama, boşluk ve ikizlenme oranı değerlerinin değişimi

Figure 8. Variation in seed holding, multiple and miss index values at 0.12 ms^{-1} peripheral speed and 31.7 mbar vacuum (Experiment No: 5) for cotton seeds

Çizelge 5, 6 ve 7'de verilen ve deneysel veriler kullanılarak geliştirilen polinomial formdaki bazı modellerden söz konusu delik çapı için geçerli olacak optimum çevre hızı ve vakum değerini hesaplamak mümkün gözükmeyle birlikte hesaplanacak bu değerlerde elde edilecek tek dane yakalama oranı, boşluk ve ikizlenme değerlerinin istenilen düzeylerde olmayacağı açıktır.

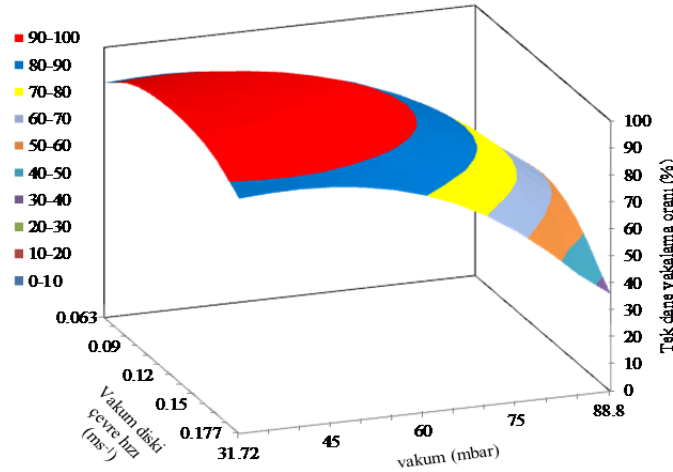
Pamuk tohumları ile çalışmada uygun delik çapının seçiminde en pratik ve kısa yol, yapılan deneme sonuçlarından elde edilen verilerin incelenmesidir. Bu açıdan bakıldığında 2 ve 2.5 mm çapındaki deliklerin uygun olduğunu söylemek mümkündür. Şekil 8'de farklı delik çapları ile çalışmada 0.12 ms^{-1} disk çevre hızı ve 31.7 mbar vakum basıncında (Deney No:5) elde edilen performans değerleri gösterilmiştir.

Pamuk tohumları ile çalışmada 2.5 mm delik çapına sahip delikte disk çevre hızı ve vakuma bağlı olarak ve polinomial formdaki model kullanılarak tek dane yakalama oranı performansının değişimi Şekil 9'da gösterildiği gibidir.

Tek dane yakalama, ikizlenme ve boşluk oranı değerlerine ilişkin olarak yapılan denemelerden elde edilen veriler ışığında yapışkan bant üzerinde sinama denemeleri yapılmıştır. Uygulamada böylesi bir diskin kullanımı ve ürüne özgü delik çapı ve disk çevre hızı (veya ilerleme hızı) ve vakum miktarının

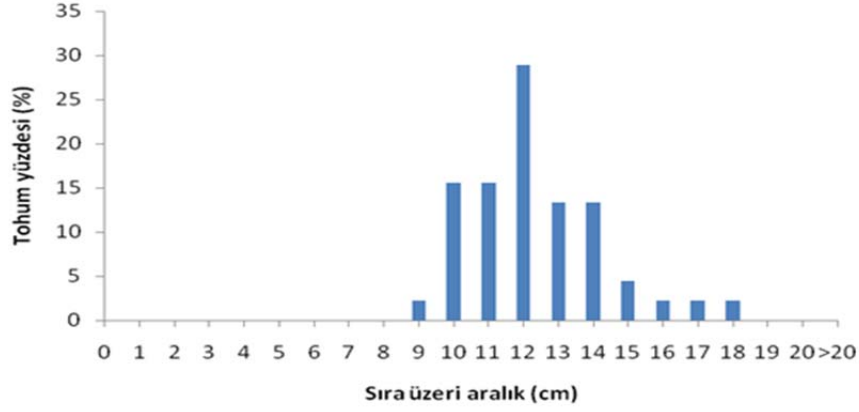
seçiminin matematiksel modeller geliştirilerek değil de pratik ve hızlı yoldan çözüme ulaşılması önemli bir husustur. Bu bağlamda tek dane yakalama oranı değerinin maksimum olduğu deneysel koşullar gözetilerek yapışkan bant üzerinde ilave denemeler gerçekleştirilmiştir. Yapışkan bant üzerinde yapılan bu sinama denemelerinin asıl hedefi ise dane yakalama, ikizlenme veya boşluk oranı değerinin sıra üzeri tohum dağılımının bir göstergesi olup olmadığı belirlenmesidir. Sıra üzeri dağılımın ve performansın yapışkan bant denemeleriyle belirlenmesinde delik çapının 2.5 mm, vakum basıncının 31.7 mbar ve disk çevre hızının 0.12 ms^{-1} olduğu durumda yapılan deneme sonucunda tohumlar arası genel ortalama mesafe 11.8 cm ve Kabul Edilebilir Tohum Aralığı (KETA) %100 elde edilmiştir. Bu şartlarda yapışkan bantta yapılan denemeden elde edilen tohum mesafelerine ilişkin histogram Şekil 10'da gösterilmiştir.

Yapışkan bant denemelerinde yapılan bir diğer sinama denemesinde pamuk tohumu için delik çapının 2.5 mm, vakum basıncının 38.8 mbar ve disk çevre hızının 0.085 ms^{-1} olduğu durumda gerçekleştirilmiş ve genel ortalama mesafe 10.7 cm ve Kabul Edilebilir Tohum Aralığı (KETA) %96.23 elde edilmiştir. Bu şartlarda yapışkan bantta yapılan deneme sonuçları Şekil 11'de verildiği gibidir.



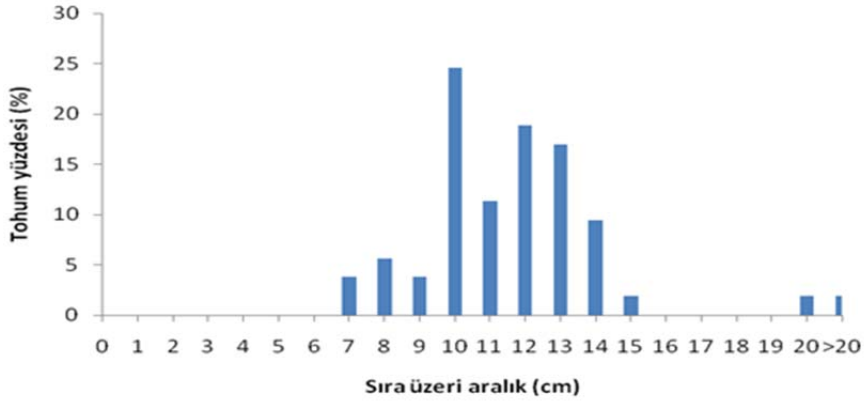
Şekil 9. Pamuk tohumları ile çalışmada 2.5 mm delik çapına sahip delikte disk çevre hızı ve vakuma bağlı tek dane yakalama oranı performansının değişimi

Figure 9. Seed holding ratios as a function of peripheral speed and vacuum as obtained by the use of hole in the diameter of 2.5 mm for cotton seeds



Şekil 10. Pamuk tohumuna ait sınama deneme sonuçları (0.12 ms⁻¹ disk çevre hızı ve 31.7 mbar vakumda)

Figure 10. Verification test results for cotton seeds (0.12 ms⁻¹ peripheral speed and 31.7 mbar vacuum)



Şekil 11. Pamuk tohumuna ait sınama deneme sonuçları (0.085 ms⁻¹ disk çevre hızı ve 38.8 mbar vakumda)

Figure 11. Verification test results for cotton seeds (0.085 ms⁻¹ peripheral speed and 38.8 mbar vacuum)

TARTIŞMA ve SONUÇ

Tepki Yüzeyleri Metodolojisi uyarınca pamuk tohumları kullanılarak gerçekleştirilen denemeler sonucu elde edilen genel sonuçlar aşağıda verildiği gibidir.

Vakum diski çevre hızı, uygulanan vakum miktarı ve delik çapı dane yakalama oranı performansı üzerinde tekil olarak etkili ve önemli değişkenlerdir. Aynı vakum değeri ve disk çevre hızında delik çapının değişimi dane yakalama oranı performansında değişime neden olurken, aynı delik çapı ve vakum değerinde disk çevre hızının değişimi yine dane yakalama oranı performansında değişime neden olmaktadır.

Aynı vakum diski çevre hızı ve vakum değerinde delik çapının 0.5 mm değerinden başlayarak dane

yakalama oranı değerinin giderek arttığı ve sonra optimum bir delik çapı değerinden sonra ise azaldığı belirlenmiştir.

Optimum delik çapının altındaki delik çaplarında tümüyle boşluk ve optimum delik çapı üzerindeki değerlerde ikizlenme oranlarında artış elde edilmiştir.

Tek dane yakalama oranı sıra üzeri dağılım düzgünlüğünün bir göstergesi olup dane yakalama oranının maksimum olduğu uygun delik çapı, vakum ve disk çevre hızında tek dane ekim işleminin gerçekleştirilmesi mümkündür.

Genelde elde edilen matematiksel modellerin optimum vakum ve disk çevre hızını elde etme yönünde yüksek tahminleme katsayısı değerlerine

ulaşmadığı, ulaştığı durumlarda da elde edilen optimum değişken değerlerinde istenilen tek dane yakalama oranı değerlerini sağlayamayacağı saptanmıştır.

Elde edilen ham veri sonuçlarına dayalı olarak belirlenecek uygun delik çapı, vakum ve disk çevre hızında ekimin gerçekleştirilebilecek olması söz konusu bu çalışmanın pratiğe yönelik uygulanmasını daha da anlamlı hale getirdiğini söylemek mümkündür.

Bu çalışmada elde edilen bilgiler ışığında akıllı vakum diskinin diğer tek dane ekimi yapılan ürünler için kullanımının mümkün olduğu söylemek mümkündür. Yapışkan bant deneme düzeninin

olmadığı durumlarda akıllı vakum diski yaklaşımının hem pratik hem de hızlı çözümler sağlayacağı açıktır.

Tekleme düzeni olmaksızın bu çalışma çerçevesinden yapılan denemelerden elde edilen bilgiler, her bir ürün için optimum delik çapından daha büyük çaplardaki vakum diski ile çalışılması durumunda ikizlenmenin elimine edilebilmesi için uygun bir tekleme düzeni kullanımını gerektirdiğine işaret etmektedir. Ancak optimum delik çapında çalışma durumunda tekleme düzeni olmadan çalışan bir ekici düzen ile bile maksimum performansı sağlamanın mümkün olduğu bu çalışmada elde edilen önemli bulgulardan birisi durumundadır.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Box, G. E.P., N. Draper. 1987. Empirical Model-Building and Response Surfaces. John Wiley & Sons, New York. 669 p.
- Barut, Z.B., A. Özmerzi. 2004. Effects of Different Operating Parameters on Seed Holding in The Single Seed Metering Unit of a Pneumatic Planter, Turkish J. Agric For 28(2004):435-441.
- Hoff, D. J., and J. H. Mederski. 1960. Effect of Equidistant Corn Plant Spacing on Yield. Agron. J. 52(5): 295-297.
- Kachman, S.D., J. A. Smith. 1995. Alternative Measures of Accuracy in Plant Spacing for Planters Using Single Seed Metering, Transactions of the ASAE, 379-387p.
- Moody, F.H., J. H. Hancock, J. B. Wilkerson, J.B. 2003. Evaluating Planter Performance-Cotton Seed Placement Accuracy, American Society of Agricultural Engineering (ASAE) Paper, 031146, 13 p.
- Önal, İ. 1987. Vakum Prensibiyle Çalışan Bir Pnömatik Hassas Ekici Düzenin Ayçiçeği, Mısır ve Pamuk Tohumu Ekim Başarısı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Cilt:24, Sayı:2
- Önal, O., İ. Önal. 2009. Development of a Computerized Measurement System For In-Row Seed Spacing Accuracy, TÜBİTAK Turk J Agric For 33 (2009): 99-109.
- Singh, R.C., G. Singh, D.C. Saraswat. 2005. Optimizing of Design and Operational Parameters of Pneumatic Seed Metering Device for Planting Cottonseeds, Biosystem Engineering, 92 (4), 429-438.
- Staggenborg, S. A., R. K Taylor, and L. D. Maddux. 2004. Effect of Planter Speed and Seed Firmers on Corn Stand Establishment. Applied Eng. in Agric. 20(5): 573-580.