



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



KİŞNİŞ (*Coriandrum sativum* L.) TOHUMLARININ NORMAL SIRAVARI VE TEK DANE OLARAK EKİMİNDE EKİCİ ÜNİTE PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Hürkan Tayfun VAROL

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2023

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**KİŞNİŞ (*Coriandrum sativum* L.) TOHUMLARININ
NORMAL SIRAVARI VE TEK DANE OLARAK
EKİMİNDE EKİCİ ÜNİTE PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİ**

Hürkan Tayfun VAROL

Danışman: Prof. Dr. Adnan DEĞİRMENCİOĞLU

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2023

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kişniş (*Coriandrum sativum* L.) Tohumlarının Normal Sıravari ve Tek Dane Olarak Ekiminde Ekici Ünite Performanslarının Belirlenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

22 / 05 / 2023

Hürkan Tayfun VAROL



ÖZET

KİŞNİŞ (*Coriandrum sativum* L.) TOHUMLARININ NORMAL SIRA VARI VE TEK DANE OLARAK EKİMİNDE EKİCİ ÜNİTE PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

VAROL, Hürkan Tayfun

Yüksek Lisans Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan DEĞİRMENCİOĞLU

Haziran 2023, 63 sayfa

Bu tezin amacı, kişniş tohumlarının ekiminde oluklu makaralara sahip normal sıravari ve tek dane (vakum prensibine göre çalışan) ekici ünite performanslarının belirlenmesidir. Çalışmanın bir diğer amacı ise tek dane ekimde tam faktöriyel olarak gerçekleştirilecek denemeler ile tepki yüzeyleri metodolojisine (TYM) uygun deneme desenleri arasındaki ilişkinin belirlenmesidir.

Bu amaca yönelik olarak, denemelerde normal sıravari ve tek dane ekimi yapılabilen kişniş tohumları ve bu tohumun normal sıravari ekimini sağlamak üzere yaygın olarak kullanılan oluklu makara ve tek dane ekim için ise ekim plakası kullanılmıştır. Oluklu makara 50 mm çapında olup, yarım daire şeklinde toplam 12 adet oluktan oluşmaktadır ve sert plastik malzemeden imal edilmiştir. Ekim plakası ise yetmiş iki deliğe sahip olup 1, 1.6 ve 2.2 mm çaplarına sahip plakalar kullanılmıştır. Denemelere başlamadan önce kişniş tohumlarının fiziksel özellikleri belirlenmiş ve bu değerlere bağlı olarak delik çapları seçilmiştir.

Normal sıravari ekim için 150 akış verisi (g min^{-1}) elde edilmiş ve yapışkan bant üzerinde dokuz farklı akış dağılım düzgünlüğüne bakılmıştır. Yapılan denemelerde varyasyon katsayısı (VK), iyilik faktörü (λ), şeritteki ortalama tohum sayısı (μ) ve varyasyon faktörü (V_f) değerleri bulunmuştur. Akış düzgünlüğünü değerlendirebilmek için varyasyon katsayısı her bir deneme için ilintilendirilmiştir.

Elde edilen veriler ile oluklu makara için makara devri ve aktif makara uzunluğunun fonksiyonu olarak matematiksel model geliştirilmiştir.

Tek dane ekimde ise 81 tam faktöriyel deneme, 12 sınama denemesi ve optimum noktalarda denemeler gerçekleştirilmiştir. Üç bağımsız değişken olarak ilerleme hızı, delik çapı ve vakum değerleri üç seviyede denenmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler, ekimdeki düzgünlüğü ifade eden beş farklı performans kriteri açısından değerlendirilmiştir. Bu performans kriterleri kabul edilebilir tohum aralığı (KETA), ikizlenme ve boşluk oranı, hassasiyet ve 3 cm'lik hassasiyet katsayısı (CP3) olarak seçilmiştir. Bu denemelerde elde edilen veriler doğrultusunda Tepki Yüzeyleri Metodolojisi kullanılarak Box-Behnken tasarımı ile optimum çalışma koşulları bulunmuştur.

Elde edilen veriler sonucunda en uygun çalışma parametreleri belirlenmiş olup normal sınavari ekim için 35 ve 40 min⁻¹ devirlerde yapılan denemelerde VK değeri en düşük düzeyde bulunmuştur. Fakat genel olarak devrin artışı ile VK değerinin düştüğü bir trend gözlemlenmemiştir. Yapılacak çalışmalarda 35 ve 40 min⁻¹ devirlerde çalışma yapılması önerilmektedir. Denemenin ikinci kısmında, tohum dağılımları üç ekim normunda (15, 20 ve 25 kg ha⁻¹) ve üç ilerleme hızında (1, 1.5 ve 2 m s⁻¹) elde edilmiştir. Sıra üzeri tohum dağılım tekdüzeliği, yapışkan bant deneme düzeninden elde edilen veriler kullanılarak iki performans kriterine göre değerlendirilmiştir. Bunlardan biri varyasyon faktörü (V_f), diğeri ise iyilik kriteridir (λ). Akış düzgünlüğünün VK (%) değerlerinin % 0.28 ile % 1.05 arasında değiştiği belirlenmiştir. Öte yandan, varyasyon faktörü (V_f) değerlerinin 0.65 ile 0.83 arasında değiştiği bulunmuş olup, bu değerler ekimin üç ekim normu ve üç ilerleme hız kombinasyonlarının tümünde tek dane ekim olarak nitelendirilebileceğini göstermiştir. İyilik kriteri (λ) değerleri % 69 ile % 77.3 arasında değişmektedir. İyilik kriterinin (λ) değerlendirme aralığına göre, 15 kg ha⁻¹ ekim normu için 1 m s⁻¹ ilerleme hızında; 20 ve 25 kg ha⁻¹ ekim normu için 1 ve 1.5

m s⁻¹ ilerleme hızlarında dağılım “çok iyi” olarak sınıflandırılmıştır. Geri kalan dört ekim normu ve ilerleme hızı kombinasyonlarında, iyilik kriterine (λ) göre dağılım “iyi” kalite olarak değerlendirilmiştir.

Tek dane ekimde ise denemeler sonunda Box-Behnken dizaynında en yüksek KETA değeri % 95.2 olarak elde edilmiş olup, merkez noktasında bulunmuştur. Yapılan modeller sonucunda uyum eksikliği (lack of fit) gözlenmeyen ve kabul edilebilir tahminleme katsayısına sahip kübik model olmaktadır ($R^2 = 95.33$). Modele en çok katkısı vakum plakası üzerindeki delik çapı (D ve D²) vermektedir. Veriler sonucunda faktörler için optimum noktalar belirlenmiş olup, kodlu değerlerde; çap (D) için 0.216, ilerleme hızı (V) için -0.01 ve vakum basıncı (P) için -0.115 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin gerçek (kodsuz) değerlerde karşılığı ise sırasıyla 1.8 mm, 1.5 m s⁻¹ ve 48 mbar olarak hesaplanmıştır. Optimum değerlerde yapılan hesaplamalar sonucunda, kabul edilebilir tohum oranı (KETA) % 94.7 olarak hesaplanmıştır. Değişkenlerin optimum değerlerinde yapışkan bant üzerinde yapılan denemelerinde üç tekrür ortalaması olarak % 97.3 değeri elde edilmiştir.

Sonuç olarak, kişniş ve kişniş benzeri küçük boyutlu tohumların ekiminde, bu çalışma koşullarında hem normal sıravari hem de tek dane ekim yöntemi ile ekim yüksek performansla yapılabilmektedir.

Anahtar sözcükler: Optimizasyon, hassas ekim, ekim kalitesi, tepki yüzeyleri metodolojisi, matematiksel modelleme

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE PERFORMANCES OF A SEED DRILL AND A PRECISION PLANTER METERING UNITS FOR PLANTING CORIANDER (*Coriandrum sativum* L.) SEEDS

VAROL, Hürkan Tayfun

MSc in the Department of Agricultural Engineering and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Adnan DEGIRMENCIOGLU

June 2023, 63 pages

The objective of this study was to determine the performance of both, metering unit equipped with fluted roll for drilling, and a vacuum type precision seeder for seeding of coriander seeds.

For this purpose, fluted roll and vacuum plate were used as a metering unit on seed drill and precision seeding, respectively. The fluted roll had 50 mm of diameter and 12 semicircular grooves, and it was made of hard plastic material. The seeding plate had seventy-two holes. The diameter of the holes was determined based on the physical properties of coriander seeds.

For drilling, 150 flow data (g min^{-1}) were obtained and nine different flow distribution uniformities were examined on the sticky belt, and coefficient of variation (CV), goodness criterion (λ), average number of seeds on segment (μ) and variation factor (V_f) values were found in these trials. The coefficient of variation was correlated for each trial to find out the flow uniformity. The data obtained used to develop a for the fluted roll as a function of roll speed and active roll length. In precision seeding, eighty-one full factorial trials, twelve testing trials (evaluating the model) and optimum points performed. Feed rate, hole diameter and vacuum values as three independent variables were tested at three levels. The data obtained used to find out the performance and for this purpose five different performance criteria used to express the evenness of quality at seed distance. These performance

criteria were chosen as acceptable seed spacing (I_{qf}), multiplication and missing ratio, sensitivity, and coefficient of precision (CP3). In these trials, optimum working conditions were found with Box-Behnken design by using the Response Surface Methodology in line with the data obtained.

The most suitable working parameters were determined, and it was found that the coefficient of variation (CV) values obtained at 35 and 40 min^{-1} were the most appropriate values for drilling. However, in general, no trend was observed such as CV value decrease with the increase in the speed of roll. It is recommended working at 35 and 40 min^{-1} revolutions in the next studies. In the second part of the experiment, seed distributions at 15, 20 and 25 kg ha^{-1} seeding rate were obtained at forward speeds of 1, 1.5 and 2 m s^{-1} . Two performance criteria were used to evaluate the in-row seed distribution accuracy. The variation factor (V_f) along with the goodness criterion (λ) were found from the experiments conducted. The CV (%) values of the flow evenness varied between 0.28 % and 1.05 % while the variation factor (V_f) values were between 0.65 and 0.83, and these values showed that the sowing could be qualified as precision seeding in all combinations of three forward speeds and three seeding rates. The goodness criterion (λ) values varied between 69.0 % and 77.3 %. According to the evaluation range of the goodness criterion (λ), at the combination of 15 kg ha^{-1} seeding rate and 1 m s^{-1} forward speed; and combinations of 20 and 25 kg ha^{-1} seeding rates at 1 and 1.5 m s^{-1} forward speeds were classified as “very good”. The rest of four seeding combinations, the goodness criterion (λ) was evaluated as “good” quality.

In precision seeding, the highest I_{qf} value was obtained as 95.2 % in the Box-Behnken at the center points. As a result of the models, it is a cubic model with an acceptable determination coefficient and no lack of fit ($r^2 = 95.33\%$). Hole diameters on the vacuum plate (D and D^2) contribute the most to the model. Optimum points were found 0.216, -0.01 and -0.115 as coded values for the hole diameter on vacuum

plate (D), forward speed (V) and vacuum pressure (P), respectively. The equivalents of these coded values in uncoded form were determined as 1.8 mm, 1.5 ms⁻¹ and 48 mbar, respectively. The value of I_{qf} was calculated as 94.7 % at the optimum values mentioned above, and an average of 97.3 % was obtained in the verification tests made at these optimums.

As a result of this study, in seeding of small-sized seeds such as coriander and similar to coriander, planting of seeds can be achieved with high performance, both by drilling and precision seeding.

Keywords: Optimization, precision metering, flow evenness, mathematical modeling, response surface methodology

ÖNSÖZ

Alternatif tıp olarak kullanılan yöntemlere bakıldığında çeşitli hastalıkların tedavisinde ve yaralanmalarda tıbbi ve aromatik bitkiler kullanılmıştır. Kişniş, tıp, kozmetik ve gıda sektörlerinde kullanımı yaygın bir bitkidir. Ülkemiz koşullarında Kişniş tohumu ekimi, Mart-Nisan döneminde, 30 cm sıra aralığı ile, ağırlıklı olarak normal sıraya ekim yapan düzeneklerle gerçekleştirilmektedir

Ekim, bitkisel üretimde en önemli aşamalardan biridir ve doğru yapılması büyük önem arz etmektedir. Ekim makinesinin ayarlarının düzgün yapılmadığı durumlarda başarı düzeyi düşük sonuçlar elde edilebilir. İş başarısının düşük olduğu, sarfiyatların fazla olduğu, düşük verim ve kalitede ürün elde edildiği sonuçlar karşımıza çıkabilmektedir. İyi tohumluk kullanımı, doğru yöntem ve makine tercihi ile çalışma ayarlarının bilime uygun ve düzgün seçildiği durumlarda, ürüne yönelik çıktıların maksimize edilmesi mümkün olabilmektedir. Yüksek tarla filiz çıkış derecesi ile doğru bitki sıklığına ulaşmak ve yüksek verim elde edebilmek için ekim aşamasının ürüne yönelik optimizasyonu önem arz etmektedir

Bu yöntem ve çalışma şartlarının kişniş tohumlarında belirlenebilmesi amacıyla farklı ekim normu, ilerleme hızı, delik çapı ve basınç değerlerinde iki farklı ekim makinesinde denemeler yapıp, ekimin ideal olduğu noktaların saptanması ve optimum çalışma şartlarının belirlenmesi hem normal sıravari ekim makinesinde hem de tek dane ekim makinesinde kişniş tohumunun bu iki ekim yöntemi ile ekiminin uygunluğunun incelenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, sadece kişniş tohumu için değil, benzer tohum ölçülerindeki ürünlerin tohumları için de optimum ekici ünite çalışma koşulları hakkında fikir sahibi olunabildiği söylenebilir.

İZMİR

01/05/2023

Hürkan Tayfun VAROL

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vii
ÖNSÖZ	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	7
2.1 Normal Sıravari Ekimin Matematik- İstatistik Esasları	7
2.1.1 Normal Sıraya Ekim Makinelerinde Ekici Düzen	10
2.1.2 Oluklu makaralı ekici düzen	11
2.1.3 Oluklu makaralarda akışın teorisi	12
2.1.4 Oluklu makaralarda dolma katsayısı	13
2.2 Tek Dane Ekimin Matematik-İstatistik Esasları	13
2.2.1 Tek dane ekici düzen	15
2.2.2 Tepki yüzeyleri metodolojisi ve optimizasyon	16
3. GEREÇ VE YÖNTEM	22
3.1 Gereç	22
3.1.1 Tohumluk materyali	22
3.1.2 Tohumların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi	22
3.1.3 Ekici düzenler	24

3.1.3.1 Normal sıravari ekici düzen.....	24
3.1.3.2 Tek dane ekici düzen	26
3.1.4. Yapışkan bant düzeni	28
3.2 Yöntem.....	30
3.2.1 Normal sıravari ekim yöntemi.....	30
3.2.1.1 Akış denemeleri	30
3.2.1.2 Oluklu makara akışının matematiksel modellemesi	31
3.2.1.3 Yapışkan bant denemeleri.....	31
3.2.2 Tek dane ekim yöntemi	32
3.2.2.1 Yapışkan bant denemeleri.....	33
3.2.2.2 Tek dane ekimin matematiksel modellemesi.....	34
3.2.2.3 Tek dane modelinin sınanması	36
4. BULGULAR.....	38
4.1 Normal Sıravari Ekime İlişkin Bulgular	38
4.1.1 Akış miktarı.....	38
4.1.2 Akış miktarının hassasiyet analizi	39
4.1.3 Dolma katsayısı	40
4.1.4 Akış düzgünlüğü.....	40
4.2 Tek Dane Ekime İlişkin Bulgular	45
4.2.1 Model denemeleri.....	45
4.2.2 Box-Behnken modeli.....	46
4.2.3 Box Behnkene dayalı performans (KETA) modeli ve Modelin hassasiyet analizi	47
4.2.4. Box-Behnken modelinin analiz sonuçları	48

4.2.5 Değişkenlerin optimum değerlerinin belirlenmesi	50
5. TARTIŞMA	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	58
TEŞEKKÜR	62
ÖZGEÇMİŞ	63
EKLER	



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Türkiye kişniş üretimi (TÜİK 2023)	2
Şekil 2.1 Poisson dağılımı (Weber,1967)	7
Şekil 2. 2. Normal sıravari ekimde, farklı μ değerlerinde, şeritlerdeki tohum sayıları	10
Şekil 2. 3. Aktif alanı değişen oluklu ekici makara	11
Şekil 2. 4. Oluklu ekici makaranın etki şekli	12
Şekil 2. 5. Tohum aralığı kalite indeksi	14
Şekil 2. 6. Tek dane ekici düzenin şematik görünümü	15
Şekil 2. 7. Tam faktöriyel dizayn (A), Box-Behnken dizaynı (B) ve yüz merkezli kompozit dizayn (C)	17
Şekil 2. 8. Tam faktöriyel, Box-Behnken ve yüz merkezli kompozit dizayn tipi deneme desenlerinde tek dane ekimde kalite açısından beklenen tepki yüzeyleri	21
Şekil 3. 1. Tohumluk materyali	22
Şekil 3. 2. Sartorius TE3102S hassas terazi	23
Şekil 3. 3. Hektolitre ölçüm aleti ve parçaları	23
Şekil 3. 4. Normal sıravari ekici düzenin görünümü	25
Şekil 3. 5. Oluklu makara ölçüleri	25
Şekil 3. 6. Universal Gcode Sender arayüzü	26
Şekil 3. 7. Tek dane ekim makinesi	26
Şekil 3. 8. Testo 521 model vakummetre	27
Şekil 3. 9. Vakum sağlamada kullanılan frekans konvertörü ve elektrik motoru..	27
Şekil 3. 10. Ekim plakası	28
Şekil 3. 11. Yapışkan bant düzeni	29
Şekil 3. 12. Yapışkan bant frekans konvertörü	29
Şekil 3. 13. Akış anındaki deneme düzeni	30
Şekil 3. 14. Belirlenen şeritlerdeki tohumların sayımı	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 3. 15. Tek dane ekimde akış sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğü denemesi	34
Şekil 4. 1. Oluklu makara akış miktarı	38
Şekil 4. 2. Teorik ve ölçülen akış miktarının kıyaslaması	39
Şekil 4. 3. Oluklu makara dolma katsayıları	40
Şekil 4. 4. Oluklu makara varyasyon katsayıları	41
Şekil 4. 5. Ölçülen ve tahmin edilen KETA değerlerinin kıyaslanması	48
Şekil 4. 6. Kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) değerlerinin ilerleme hızı ve delik çapına bağlı olarak değişimi ($p = -0.115$ kodlu değerinde sabit tutulmuştur).	51
Şekil 4. 7. Kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) değerlerinin vakum ve delik çapına ilerleme hızı ve delik çapına bağlı olarak değişimi ($v = -0.01$ kodlu değerinde sabit tutulmuştur).	51
Şekil 4. 8. Kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) değerlerinin ilerleme hızı ve vakum değerine bağlı olarak değişimi ($d = 0.261$ kodlu değerinde sabit tutulmuştur).	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Normal sıraya ekimde, değişik μ değerlerinde, şeritlerdeki tohum sayıları.....	10
Çizelge 2. 2. Tam faktöriyel deneme deseni.....	16
Çizelge 2.3 Box-Behnken deneme deseni	20
Çizelge 2.4 Yüz merkezli kompozit dizayn deneme deseni	20
Çizelge 3. 1 Çalışmada kullanılan kişniş tohumlarının fiziksel özellikleri	24
Çizelge 3. 2 Normal sıravari ekim yöntemi için deneme deseni	30
Çizelge 3.3 Tohum akışındaki düzgünlük (Önal, 2017).....	31
Çizelge 3.4. Tek dane ekim yöntemi için deneme planı.....	33
Çizelge 3. 5 Tek dane ekimde sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğünün değerlendirilmesinde kullanılan kalite kriterleri (Önal,2017)	33
Çizelge 3. 6 KETA değerini tahminleme için geliştirilen matematiksel model formları	34
Çizelge 3. 7. Model sınaama deneme noktaları.....	36
Çizelge 4. 1. Tohum akış düzgünlüğü ve akışın oluklu makara uzunluğu ve devrinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmesi	42
Çizelge 4. 2. İyilik kriteri (λ ; %) ve değerlendirilmesi açısından oluklu makara ekici ünitenin performansı.....	43
Çizelge 4. 3. Varyasyon faktörü (V_f) ve tohumlama karakterizasyonu açısından oluklu makara ekim ünitesinin performansı	44
Çizelge 4. 4. Geliştirilen matematiksel modellerin karşılaştırması	45
Çizelge 4. 5. Box-Behnken tasarımına dayalı deneylerden elde edilen KETA, boşluk ve ikizlenme performans değerleri	46
Çizelge 4. 6. Box-Behnken dizaynına göre yapılan denemelerden elde edilen CV_m ve CP3 performans değerleri	47
Çizelge 4. 7. KETA verilerinin Stepwise analiz sonuçları	49

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge 4. 8. KETA modelinden elde edilen optimumları sınama testlerine ilişkin sonuçlar.....	50
Çizelge 4. 9. Farklı seviyelerdeki bağımsız değişken değerlerinde gerçekleştirilen KETA model sınamaları	52



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	Açıklama
η	Oluklu makara dolma katsayısı
Q	Tohum akış miktarı (g min^{-1})
$Q_{\text{ölç}}$	Ölçülen akış miktarı (g min^{-1})
Q_{teo}	Teorik akış miktarı (g min^{-1})
γ	Hacim ağırlığı (kg m^{-3} veya g cm^{-3})
m_{1000}	Tohum bin dane ağırlığı (g),
l	Tohum uzunluğu (mm)
w	Tohum genişliği (mm)
t	Tohum kalınlığı (mm)
ϕ	Tohum küreselliği
n	Oluklu makara devri (min^{-1})
r	Korelasyon katsayısı
ERMS	Hata kareleri toplamı (Error Root Mean Square)
X^2	Ki-kare testi
S	Standart sapma
r^2	Belirleme katsayısı (Coefficient of Determination)
$a, b, c, \dots, k$	Model sabitleri (Parametreler)
μ	Şeritlerdeki ortalama tohum sayısı
λ	Belirli şeritlerdeki tohum sayılarının yüzdesi
VK	Varyasyon katsayısı
S^2	Varyans
$\bar{Z}$	Ortalama tohum aralığı
$L_{\text{ş}}$	ekim yapılan şeridin uzunluğu
r_t	$L_{\text{ş}}$ uzunluğundaki şeritlerdeki tohum sayısı,

$f(r_t)$	Her birinde r_t adet tohum bulunan şeritlerin nispi miktarı (ondalık cinsinden).
N	Ekim normu (kg ha^{-1})
Q_{teo}	Teorik akış (g min^{-1})
Q_{tahmin}	Tahminlenen akış miktarı (g min^{-1})
A	Oluklu makaranın kesit alanı (mm^2)
L	Oluklu makaranın uzunluğu (mm)
N_G	Gözlem sayısı
MR_{tahmin}	Tahmin edilen değer
$MR_{\text{ölçülen}}$	Ölçülen değer
β_i	Teorik modeldeki parametre
n_s	Model sabitlerin sayısı
Z_m	Ana tohum dağılımının ortalama tohum aralığı
Z_t	Teorik sıra üzeri mesafe
CV_m	Varyasyon katsayısı
ξ_i	Kodlu değişken değeri
ε_i	Kodlu değer normal değeri
ε_{i0}	Kodlu değer çalışılan aralıktaki kodsuz merkez değeri
s	Adım değeri
D	Delik çapı
V	İlerleme hızı
P	Vakum basıncı

Kısaltmalar

min	dakika
g	gram
kg	kilogram
mbar	milibar

mm	milimetre
s	saniye
m	metre
BB	Box-Behnken
YMKD	Yüz merkezli kompozit dizayn



1. GİRİŞ

Tıbbi ve aromatik bitkiler dünyada önemli bir yere sahip olduğu gibi ülkemizde de özellikle son yıllarda artan bir üretime sahiptir. Ülkemizde yetiştirilen tıbbi ve aromatik bitkiler aşağıda verildiği gibidir.

Acı Bakla, Ada Çayı, Adaçayı, Anason, Biberiye, Çemen, Çörekotu, Çöven, Defne, Dere Otu, Eğrelti Otu, Gül (yağlık), Haşhaş, Ihlamur, Isırgan Otu, Kapari, Kekik, Kenevir, Ketan, Kırmızı Biber, Kimyon, Kişniş, Lavanta, Mahlep, Meyan Kökü, Nane, Oğul Otu, Papatya, Rezene, Safran, Siyah Çay, Sumak, Süpürge Otu, Şerbetçi Otu, Üzerlik, Zencefil.

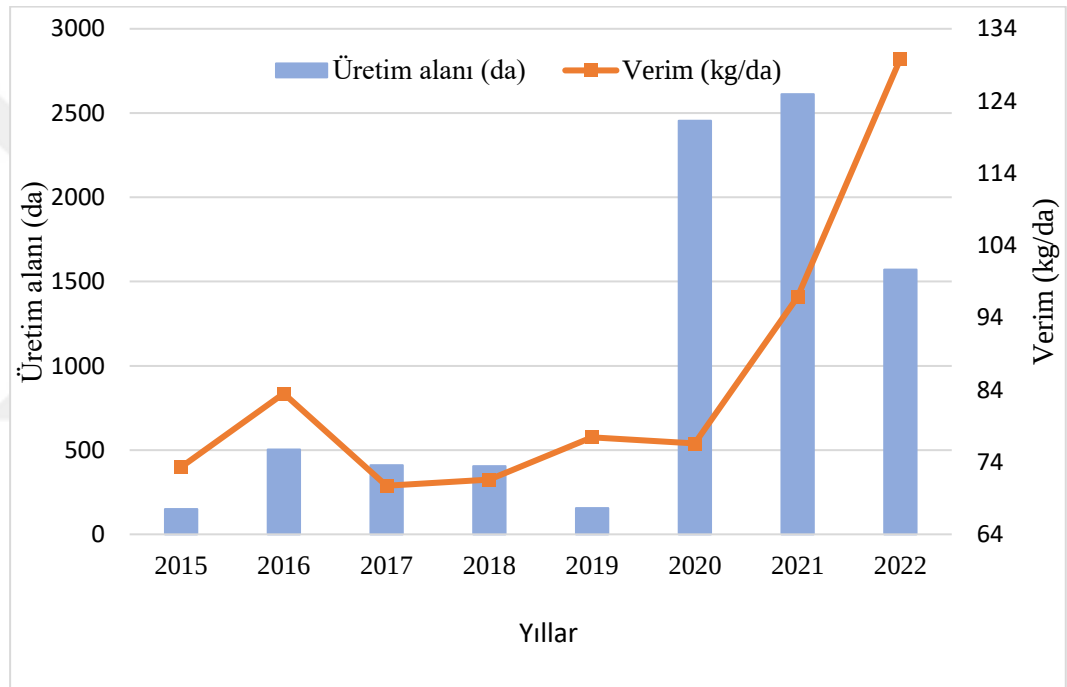
Tıbbi ve aromatik bitkiler (TAB), farklı sağlık sorunlarını çözmek, sağlığı korumak ve hastalıkları önlemek için ilaç veya takviye gıda olarak kullanılan bitkilerdir. Parfümeri ve kozmetik endüstrisinde de kullanılan bu bitkiler tüm dünya için önem arz etmekte olup, özel bir ticari değere sahiptirler. Bu bitkiler içerisinde kişnişin, MÖ 5000'ye kadar uzanan uzun bir geçmişi vardır. Yunanistan'da MÖ 2000'den beri tarımının yapıldığı bilinmektedir (Ulutaş Deniz vd. 2018).

Yerel ve küresel ilgi nedeniyle TAB'lere olan talep önemli ölçüde artmıştır. Bu nedenle, TAB pazarı dünyada büyümektedir. Dünyada 2001 yılında TAB'ler ve ürünlerinin ihracat değeri 48.7 milyar dolar iken bu değer günümüzde 207.5 milyar dolara yükselmiştir. Bu artış trendi ithalat değeri için de geçerlidir. Dünyada ihracat ve ithalattaki artış Türkiye'nin dış ticaretinde de gözlenmiştir.

Tıbbi aromatik bitkilerin ihracat potansiyeli 143.6 milyon dolarken (2001) 18 yıllık sürede 7 katına çıkarak 1.02 milyar dolara ulaşmıştır (2018). Tıbbi aromatik bitkiler ithalat açısından bakıldığında, 2001 yılından (282.7 milyon Dolar) itibaren, artan bir eğilimle, 2019 yılında 1.36 milyar dolara ulaştığı görülmektedir (Boztaş vd., 2021). Bu değerler göz önüne alındığında aradaki farkın oransal olarak azaldığı görülse bile, gerçekleştirilen ithalat daha fazladır. Bu durum ülkede bu açığın giderilmesi için daha fazla üretim yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Tüm dünyada pazarın büyümesinin nedeni, TAB'lerin sentetik olarak elde edilen maddelere göre yan etkilerinin olmamasına karşın çok yönlü etkilere sahip olmalarına bağlanabilir (Anonim, 2020).

Dünyadaki başlıca üretim bölgeleri Afrika, Çin, Hindistan, Kuzey Amerika ve Güney Amerika'dır (<https://www.intracen.org/itc/sectors/medicinal-plants/>). Türkiye'de ise en çok Ankara, Antalya, Burdur, Eskişehir ve Konya'da yetiştirilir. Şekil 1.1'de gösterildiği gibi Türkiye'de kişniş üretim alanı son yıllarda artışta olup, aynı şekilde verim önemli derecede artış göstermiştir.



Şekil 1. 1. Türkiye kişniş üretimi (TÜİK 2023)

Ülkemizde kişniş üretim alanı 2019 yılında 155 dekardan 2021'de 2612 dekara önemli ölçüde yükselmiş olup 2022 yılında üretim alanının düşmesine karşın verimde önemli derecede artış görülerek 130 kg da^{-1} seviyelerine gelmiştir (TÜİK, 2023).

Kişniş tohumları elle veya mekanik yollarla toprağa ekilebilirler. Ekimde kullanılabilecek mekanik araçlar ise normal sıravari ekim makinesi ve tek dane ekim makinesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Mibzer kullanırken belli bir ekim

normunda (kg ha^{-1}) belirli şeritlerde atılan tohum önemli iken, tek dane ekim makinesinde belirli bir sıra üzeri mesafede tohum teker teker bırakılmalıdır.

Tek dane ekim makinelerinin kullanılmasındaki temel amaç, eşit tohum aralığı ile sıra üzerinde boşluk veya ikizlenme olmadan tekdüze bir ekim sağlanabilmesi sayesinde, topraktan elde edilecek nem ve besin maddesi için bitki rekabetini azaltarak yüksek verim elde etmek, bakım gereksinimini azaltmak ve tohum tasarrufu sağlamaktır.

Kışniş tohumlarında sıra arası 20-40 cm, ekim normu ise $15\text{-}25 \text{ kg ha}^{-1}$ arasında değişebilmektedir. Tek dane ekim makinesi ile ekim işlemi yapılacak ise tohum arası mesafe 10 ile 15 cm arasında değişmektedir (Anonim, 2021).

Ekici düzenler genellikle TAB tohumlarının yanı sıra birçok ürün tohumunun ekilmesi için kullanılır. Mibzerlerin ekici ünitesi genellikle oluklu veya dişli makaralarla donatılır ve bu tip makaralar ile farklı tohumların akış hızı ve akış özellikleri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır.

Oluk şekli ve boyutları, olukların hacmi, oluk sayısı, olukların helisel açısı gibi oluklu makaraların yapım özellikleri, akış hızına ve akış düzgünlüğüne etkide bulunur. Bunlara ek olarak, tohumların fizikomekanik özellikleri de literatürde bulunan tohum boyutları, küresellik, hacim ağırlığı, tohumun tohum üzerindeki sürtünme katsayısı ve oluklu makara malzemesi üzerindeki sürtünme katsayısı, akışı etkileyen faktörlerdir (Ertuğrul, 2022; Ertuğrul vd. 2022).

Güler (2005), oluklu makaralarda susam tohumlarının akış hızı ve akış düzgünlüğünü incelemiştir. Çalışmada dikkate alınan değişkenler, oluk çapı, aktif makara uzunluğu ve devir sayısıdır. Altı farklı makara uzunluğunda 4, 6 ve 8 mm oluk çapı kullanılmıştır. VK değerleri genellikle üstel olarak elde edilmiştir ve % 1.87 ile % 32.38 arasında değişmektedir. Güler, $20\text{-}40 \text{ min}^{-1}$ makara devrinde 6 ve 8 mm oluk çapı ve 15 ve 25 mm makara uzunluğunun kullanılmasını önermiştir.

Altuntaş vd. (2007) laboratuvarında buğday ve fiğ tohumları ile bazı denemeler yapmış ve tohum dağılımları değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, arzulanan performansın elde edilmesi için makara hızının ve ekim normunun belirli bir seviyeden daha fazla yükseltilmemesi gerektiğini göstermiştir. Ayrıca tohum dağılım performansının iyileştirilmesinin yalnızca ekici düzene değil aynı zamanda ilerleme hızına ve ekim hızına da bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Ertuğrul (2010) hazırladığı doktora çalışmasında, kaplı ve kapsız kanola tohumları ile normal sıraya ekici düzenler olarak, sık kullanılan boyutlarda (yaklaşık 50 mm çaplı) oluklu makaralı, küçük oluklu makaralı (yaklaşık 25 mm), üzerine hacim düşürücü bilezikler yerleştirilen dişli makaralı ve özel şekilli yuvalara sahip makaralı ekici düzenleri, tek dane ekici düzenler olarak kaşıkçıklı ve vakumlu delikli plakalı ekici düzenleri denemiş, tohum akış düzgünlüğü ve sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğü bakımından değerlendirmeler yaparak tohum akış modelleri geliştirmiştir. Tohum akış düzgünlüğü bakımından varyasyon katsayısı değerlerini incelerken, sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğünü değerlendirirken varyasyon faktörü ve iyilik kriteri faktörlerini göz önünde bulundurmıştır. Küçük tohumların ekiminde yeterince sızdırmazlık sağlandığı takdirde, 1, 1.5 ve 2 m s⁻¹ ilerleme hızlarında normal sıraya ekici üniteler ile ekim yapılabileceği, tek dane ekici düzeneklerin ise yapısal olarak hali hazırda başarılı ekim sağlamaya uygun tasarlandığı sonucuna varmıştır.

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda Yazgı vd. (2017), bir ekim makinesinin tohum karışımında akış özelliklerini incelemiştir. Sırasıyla tohum ve gübre ünitelerinde fiğ ve arpa tohumlarının ölçümü için dişli ve oluklu ekici düzenler kullanılmıştır. Ekim makinesinin performansı farklı fiğ ve arpa karışımları için test edilmiştir. Yapışkan bant sonuçlarındaki akış düzgünlüğü ve tohum dağılımı, varyasyon faktörü (V_f) ve iyilik kriteri (λ) temelinde değerlendirilmiştir. Karışımların akış düzgünlüğü ve tohum akış düzgünlüğü (VK) değerleri sırasıyla %

0.8 ile % 3.7 ve % 1.1 ile % 8.9 arasında değişirken, iyilik kriteri % 47.2 ile % 78.4 arasında değişmektedir.

Ekim mibzerlerinin ve tek dane ekim makinelerinin ekici ünitesinin performansı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Dünyada kullanılan en yaygın ekici düzenler oluklu ve dişli makaralara sahip olanlardır. Öte yandan dünyada kullanılan en yaygın tek dane ekim makinesi ise vakumlu tip ekim makineleridir ve bu tip ekim makinelerinin performansına birçok değişken katkı sağlamaktadır. Tek dane ekim makinesinin ilerleme hızı (vakum plakasının çevresel hızı ile doğrusal olarak ilişkilendirildiği gibi), ekim plakası üzerindeki deliklerin çapı ve sayısı, tohum borusu geometrisi, tohumların fiziksel özellikleri, tohum geometrisi, çizi açıcı ekim makinelerinde boru vb. faktörler ekim performansını etkilemektedir. Bu nedenle, tek dane ekim makinelerinin bu kadar karmaşık bir performans olgusunu birçok faktörü göz önünde bulundurarak incelemek etkili bir metodoloji gerektirir. Tepki Yüzeyleri Metodolojisi (TYM), deney sayısını önemli ölçüde azaltan matematik ve istatistiği içeren metodolojidir. Temelde tam faktöriyel deneme yapmaya gerek kalmadan istenilen sonuçların belirlenmesinde katkı sağlayan bir yöntemdir. Sonuç olarak, daha az emek ve zaman harcanır.

Ferreira vd. (2007), farklı TYM tasarımlarını incelemiş ve karşılaştırmış ve Box-Behnken tasarımının avantajlarını ve sınırlamalarını ortaya çıkarmıştır. Box-Behnken tasarımının ve Doehlert matrisinin, merkezi kompozit tasarımdan biraz daha verimli, ancak üç seviyeli tam faktöriyel ve üzerindeki tasarımlarda çok daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır. Bu nedenle bu çalışmada Box-Behnken tasarımı kullanılmıştır.

Tek dane ekim konusunda Tepki Yüzeyleri Metodolojisini (TYM) kullanan ilk çalışma Yazgı ve Değirmencioğlu (2007) tarafından yapılmıştır. Vakumlu tip tek dane ekim makinesinin performansını incelemek için pamuk tohumları kullanılmıştır. Bu çalışmaya benzer şekilde Yazgı (2010), farklı ürün tohumlarının

(mısır, nohut, ayçiçeği, soya fasulyesi, şeker pancarı ve kanola) yanı sıra 4, 6, 8 ve 10 mm çapında küresel materyallerin ekim aralığı doğruluğunu optimize etmiştir. Genel optimizasyon sonucunda tohum için belirlenecek olan delik çapı için R^2 değeri %92.69 olan bir model geliştirilmiştir. Bu modelin %83.08 ve %9.61'lik kısmını açıklayan iki değişken sırasıyla tohumun ortalama anma çapı ve küresellik değeri olarak bulunmuştur.

Son zamanlarda yapılan bir çalışmada, Ahmad vd. (2021), çeşitli tohum yatağı hazırlama seviyelerinde ve ekim ilerleme hızlarında yatak tipi pnömatik ekicinin ekimine odaklanmıştır. Yaptığı bu çalışmada 4 farklı ilerleme hızında ikizlenme, boşluk, hassasiyet ve kabul edilebilir tohum aralığı değerlerine göre karşılaştırma yapmıştır. Hızın artmasıyla boşlukların arttığı, hızın azalması ile ise ikizlenmelerin arttığı gözlenmiş olup 4 hız değerinde KETA değerlerine bakıldığında kayda değer bir fark olmadığı görülmüştür.

Tekdüzelik indekslerinin (eksik, çoklu, kaliteli yem ve hassasiyet indeksi) toprak işleme seviyelerinden ve ekicinin ilerleme hızından istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilendiğini bulmuşlardır. Tek dane makinelerinin performansı ile ilgili yukarıda bahsedildiği gibi farklı bitki tohumları ile yapılan önemli sayıda çalışma vardır ancak literatürde TAB'lerin ekimi ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır.

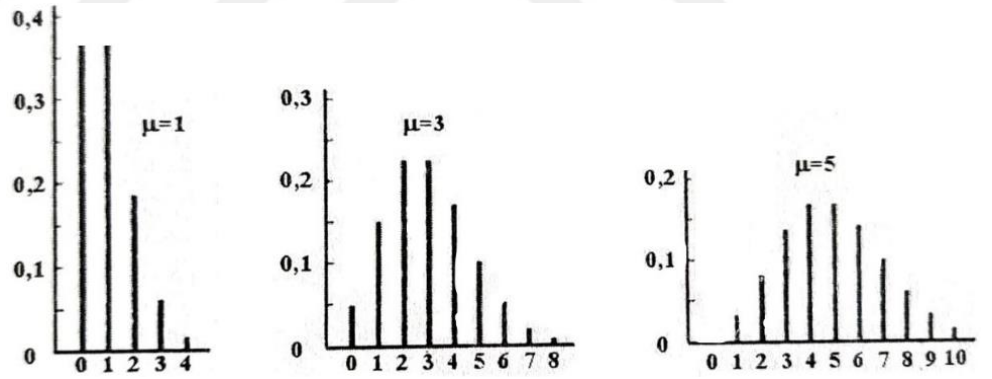
Bu sebeple bu çalışma yürütülmüştür ve bu çalışmanın amacı, kişniş tohumlarının (*Coriandrum sativum* L.) ekilebilmesi için oluklu makara ve tek dane ekici düzende dağılım performansını belirlemektir. Çalışmanın bir diğer amacı ise tek dane ekimde tam faktöriyel olarak gerçekleştirilecek denemeler ile TYM'ne uygun deneme desenleri arasındaki ilişkinin belirlenmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Normal Sıravari Ekimin Matematik- İstatistik Esasları

Bitkinin gelişmesi ve verime etkisi sıra üzeri tohum dağılımına bağlı olarak değişim gösterir. Ekim esnasında olabildiğince homojen dağılım düzgünlüğü arzu edilir. Laboratuvar koşullarında tohum dağılım düzgünlüğünün simülasyonu yapışkan bant deneme düzeni üzerinde gerçekleştirilir. Normal sıravari ekimde tohumların çizideki dağılımı, Poisson dağılımı (Şekil 2.1) karakterindedir.

Tohumlar, aktif alanı değiştirilerek hacim ayarı yapılabilen, dolayısıyla da toprağa bırakılacak tohum miktarını bu hacme bağlı olarak artırıp azaltabilen oluklu makaralar ile depodan alınarak önce tohum borularına ardından da gömücü ayaklar tarafından açılan çiziye bırakılmaktadır.



Şekil 2.1 Poisson dağılımı (Weber,1967)

Varyasyon katsayısı (VK, %) tohum dağılımının tekdüzelik ölçüsünü ifade etmektedir. VK değeri ne kadar küçükse dağılımın o kadar sapma yapmaksızın gerçekleştiği, tekdüze ve başarılı bir tohum dağılımı elde edildiği sonucuna varılmaktadır (Önal ve Ertuğrul, 2011).

$$VK = \frac{S}{\bar{Z}} * 100 \quad (2.1)$$

Burada;

S, standart sapma (S^2 , varyans); $\bar{Z}$, ortalama tohum aralığıdır.

Normal sıravari ekim yönteminde, “L” genişliğinde belirlenen ve sıra üzeri şeritlerdeki tohum sayılarının dağılımı, Poisson dağılım denklemi ile tanımlanabilir (Önal, 2017).

$$f(r_t) = x = \frac{\mu^{r_t}}{r_t!} * e^{-\mu} \quad (2.2)$$

Formülde:

r_t - L uzunluğundaki şeritlerdeki tohum sayısı,

μ : Şeritlerdeki toplam tohum adedinin, toplam şerit sayısına bölünmesi ile bulunan Poisson popülasyon ortalama değeri)

e: Doğal logaritmanın tabanı,

$f(r_t)$ – Her birinde r_t adet tohum bulunan şeritlerin nispi miktarı (ondalık cinsinden).

Normal sıraya ekim makineleriyle yapışkan bant üzerine yapılan ekimlerden elde edilen sıra üzeri tohum dağılımının, Poisson dağılımına uygunluğu, varyasyon faktörü ile kontrol edilir (Griepentrog, 1991).

Bu amaçla, gerçek tohum dağılımının varyasyon faktörü (V_f) hesaplanır:

Varyasyon faktörü

Elde edilen verilerin dağılım karakterine bakıldığında Poisson dağılımına uyup uymadığını belirlemek amacıyla yapılan bir testtir. Bu, gerçek dağılımın Poisson dağılımından sapmasını belirler. Test değişkeni, aşağıda varyasyon faktörü V_f olarak adlandırılmaktadır.

$$V_f = \frac{\text{Örneğin varyansı}}{\text{Poisson popülasyon ortalaması}} = \frac{S^2}{\mu} \quad (2.3)$$

$$S^2 = \frac{\sum Xi^2 * fi - (\sum Xi * fi)^2 / n}{n-1} \quad (2.4)$$

Formülü ile hesaplanır. Burada;

X_i – Beklenen değer,

f_i – Nispi değer,

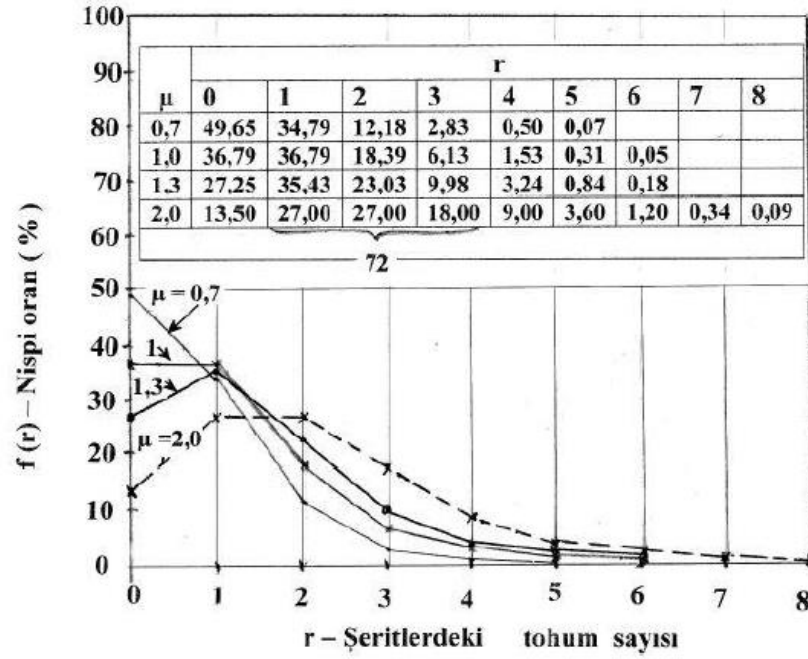
n – Toplam ölçüm sayısıdır.

Gerçek bir dağılım için, aşağıdaki değerlendirmeler verilebilir:

$V_f > 1.1$: Negatif Binomiyal dağılım. Sıra üzerindeki tohum dağılımında boşlukların ve kümelenmelerin olduğu durumdur bitkiler olması gerektiğinden seyrek filizlenir veya aynı alanda çok bitki çıkar iki durumda da verim düşüklüğüne sebep olur.

$0.9 < V_f < 1.1$: Poisson Dağılımı. Normal sıravari ekimde bu aralık değeri içerisinde olmalıdır zira sıra üzerinde tohum dağılımında boşluk ve kümelenmeler normaldir.

$V_f < 0.9$: Binomiyal dağılım. Boşluk ve dane kümelenmeleri oranında sıra üzeri dağılım normal sıravari ekimden tek dane ekime dönüşüm gösterir.



Şekil 2.2. Normal sıravari ekimde, farklı μ değerlerinde, şeritlerdeki tohum sayıları

Şekil 2.2’de gösterilen tohum sayılarının $\mu=0.7$, 1.0, 1.3 ve 2.0 değerlerine göre değişimi görülmektedir. Şekil 2.2’de teorik Poisson dağılımında $\mu=2$ olarak alındığında, tohum sayısının 1, 2 ve 3 olduğu şeritlerin toplam değeri %72 olmaktadır (Önal, 2017; Ertuğrul, 2010). Çizelge 2.1’de bu Poisson dağılımının şeritlerdeki tohum oranı dağılımına göre değerlendirme kriterleri görülmektedir.

Çizelge 2.1 Normal sıraya ekimde, değişik μ değerlerinde, şeritlerdeki tohum sayıları

Ayarlanan şerit genişliklerinde hesaplanan ortalama tohum sayısının ($\mu = 2$ için) alt ve üst sınıfı içeren (1,2 ve 3 tohumlu) üç sınıfın % oranları toplamı (λ , %)	
İyilik Kriteri (λ)	Değerlendirme
>72	Çok iyi
>65-72	İyi
>55-65	Orta
<55	Yetersiz

2.1.1 Normal Sıraya Ekim Makinelerinde Ekici Düzen

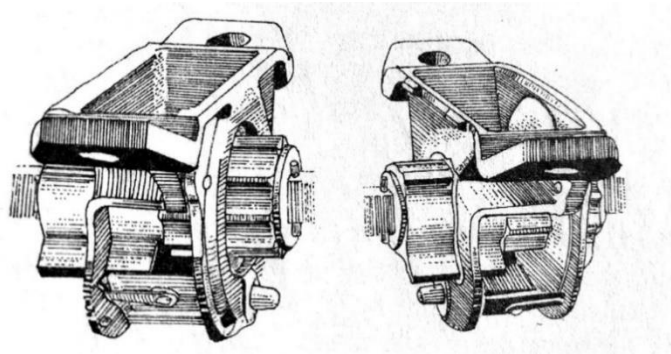
Gübrelerin ve tohumların istenilen ortama bırakılmasında sıkça kullanılan ekim makinesi organlarının önemli bir parçası ekici düzenlerdir. Ekici düzenlerde

çimlenecek olan tohumun verimi yaşam alanındaki düzgünlük doğrudan tohum dağılım karakteristiği ile ilişkilidir. Bu sebeple çalışmalarda optimum noktaların seçilmesi sadece makine performansı için değil sonrasında ürün açısından da büyük öneme sahiptir.

Geçmişten günümüze kadar çok farklı ekim yöntemleri ve ekici düzenler kullanılmıştır. Ülkemizde ve dünyada normal sıravari ekim makinesi özellikle düşük maliyetinden ve basit konstrüktif yapısı nedeniyle hem üretim hem tüketim noktasında çokça tercih edilen tiptedir. Bu çalışmada, normal sıraya ekici düzen olarak oluklu makara kullanılmıştır ve aktif alanı değiştirilebilir tiptedir.

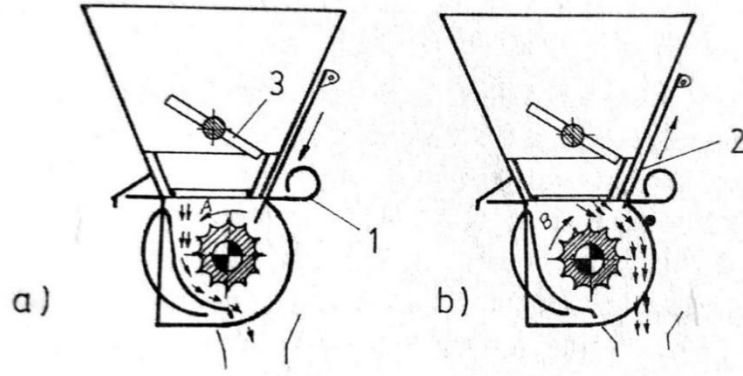
2.1.2 Oluklu makaralı ekici düzen

Oluklu makaralar günümüzde sıkça kullanılmakta olan ekici düzen tiplerinden biridir. Üzerinde çalışılacak ürüne göre farklı oluk sayıları, oluk çapları ve makara uzunlukları olabilmektedir. Makaralar çoğunlukla tohum deposu altına yerleştirilir. Aktif alanı değiştirilebilen ve değiştirilemeyen olmak üzere iki farklı tipi mevcuttur. Çalışmada kolay bir şekilde hacim değişikliğine olanak verdiği için aktif alanı değiştirilebilen makara tercih edilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Aktif alanı değişen oluklu ekici makara

Akış şekline göre ise alttan ve üstten akış olmak üzere iki farklı akış tipi mevcuttur. Alttan akışlı tipte yer çekimi etkisiyle tohum kaçakları (fazla tohum atımı) olabilme ihtimali bulunmaktadır. Bu kaçakları minimize edebilmek için üstten akış tercih edilmiştir. Alttan ve üstten akış şekil 2.4'teki gibidir (Önal, 2017).



Şekil 2. 4. Oluklu ekici makaranın etki şekli

a) Alttan akışlı b) Üstten akışlı 1) Yatay klape 2) Eğik klape 3) Tohum karıştırıcı

Aktif alanı değişebilen oluklu makaranın ayarı bir kol yardımı ile yapılmaktadır. Genellikle normal sıravari ekim makinelerinde makaraların hepsi veya yarısı tek kol üzerinden hareket ettirilir bu sayede her makarada eşit aktif alan elde edilir. Tohumlar sadece bu aktif alanın olduğu kısımdan hareket eder ve bu alana göre ekim normu ayarı yapılabilir. Aktif alanı değişmeyen tipte ise genellikle norm ayarı, tahrik tekerleğinin yaptığı dönü hareketinin transmisyon sistemi yardımı ile ekici mile aktarılması ile sağlanır. Oluklu makaralarda sabit hacme sahip tiplerde farklı boyutlardaki tohumlar ile çalışmada sorunlar meydana gelebilmektedir (Önal, 2017). Oluklu makaralar dönü hareketini tahrik tekerleğinden aldığından ilerleme hızındaki değişimlerden etkilenmeden istenilen norm değeri sabit tutulmuş olunur.

2.1.3 Oluklu makaralarda akışın teorisi

Oluklu makaralarda akışın formülü aşağıdaki gibidir. Her bir faktörün değerinin artması akışı pozitif yönde arttırmaktadır (Önal, 2017).

$$Q_{teo} = \gamma \cdot A \cdot L \cdot n \quad (2.5)$$

Q_{teo} : Teorik akış (g min⁻¹)

γ : Tohumun veya gübrenin hacim ağırlığı (g mm⁻³)

A: Oluklu makaranın kesit alanı (mm²)

L: Oluklu makaranın uzunluğu (mm)

n: Makaranın dönü sayısı (min⁻¹)

Yapılan çalışmada tek bir ürün ile çalışma sırasında makara kesit alanı ve materyalin hacim ağırlığı değişmediğinden dolayı teorik akış, makara devri ve uzunluğunun fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

$$Q = f(n, L) \quad (2.6)$$

Q= Tohum akış miktarı (g min⁻¹)

n: Oluklu makara devri (min⁻¹)

L= Oluklu makaranın uzunluğu (mm)

2.1.4 Oluklu makarlarda dolma katsayısı

Dolma katsayısı oluk hacminin ne kadarlık bir kısmının tohumla dolu olduğunu gösteren bir değerdir. Bu değer akış miktarını etkileyen faktörlerdendir.

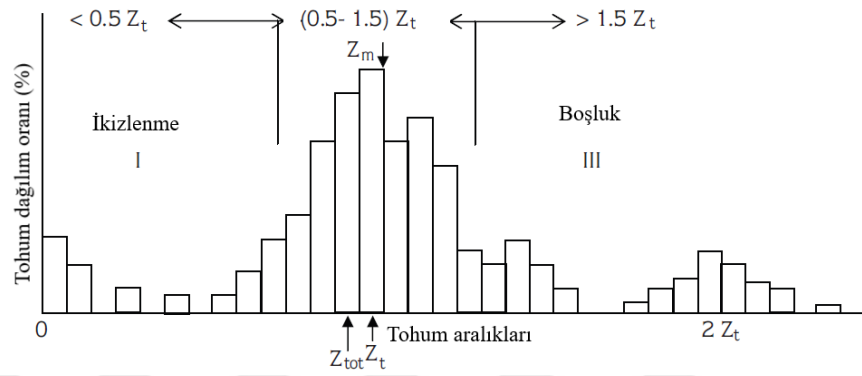
$$\text{Dolma katsayısı} = \frac{\text{Gerçek akış miktarı}}{\text{Teorik akış miktarı}} \text{ olarak yazılabilir.}$$

2.2 Tek Dane Ekimin Matematik-İstatistik Esasları

Düzenli bir bitki dağılımı sağlayabilmenin yolu ekim işleminin başarılı yapılmasından geçer. Başarılı bir ekim içinse ekici düzen tarafından tohumların

mümkün olabildiğince boşluk ve ikizlenme olmadan bırakılması gerekmektedir. İş başarısının yüksek olması için, yüksek ilerleme hızı da istenilen bir durumdur.

Tohumların ikizlenme ve boşluk olmadan bırakılması hem işin kalitesinin artması hem de gereksiz kullanımların önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. İkizlenme, kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) ve boşluk kalite indeksi şekilde gösterilmiştir (Şekil 2.5). Tek dane ekimde tohum aralığı değerlerine göre üç farklı indekste değerlendirme yapılmaktadır (Önal ,2017).



Şekil 2. 5. Tohum aralığı kalite indeksi

I. İkizlenme indeksi (0 - 0.5 Zt)

II. Kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) (>0.5 Zt – 1.5 Zt)

III. Boşluk indeksi (>1.5 Zt)

Bu dağılıma bağlı olarak II. Kategori olan ve KETA adı verilen kısım ekimin başarılı olarak kabul edildiği bölgeyi ifade etmektedir. Bu kısımdaki tohum aralığının düzgünlüğü ise “hassasiyet değeri” olarak, varyasyon katsayısı değerinden yararlanılır.

$$CV_m = S/Z_m * 100 \quad (2.8)$$

CV_m = Varyasyon katsayısı

S = Ana tohum dağılımının standart sapma değeri

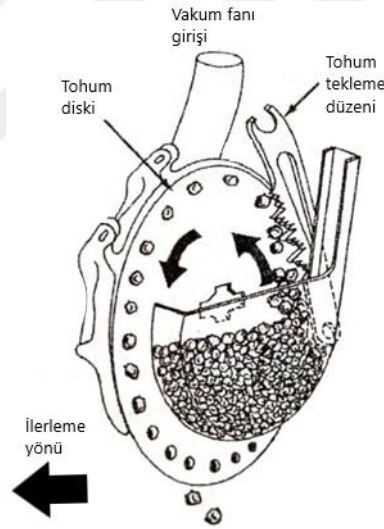
Z_m = Ana tohum dağılımının ortalama tohum aralığı

Z_t = İstenilen tohum aralığı değeri

Kachman ve Smith (1995) ve Önal (2017) Hassasiyet değerin (CV_m) %29-30 değerinden az olmasını önermektedirler.

2.2.1 Tek dane ekici düzen

Vakumlu tip tek dane ekim makinesinde ekici düzen olarak üzerinde delikler bulunan plakalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada üç farklı delik çapına sahip plakalar kullanılmıştır. Tek dane ekici düzenin şematik görünümü Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6. Tek dane ekici düzenin şematik görünümü

Pnömatik ekim makinesi kuyruk milinden aldığı hareket vasıtasıyla makine üzerindeki fanı döndürerek makine içerisinde bir vakum etkisi yaratır ve fan ile ekici düzen arasındaki hortumlar yardımıyla vakum, ekici üniteye iletilir. İletilen bu vakum, ekim diskinin deliklerinden geçerken tohumları yakalayarak tohumların disk ile beraber dönmesini sağlamak ve vakum diskinin toprağa bakan yüzeye

geldiğinde vakum kesilerek yerçekimi etkisi ile serbest düşme yapmakta ve açılan çizi içerisinde bırakılmaktadır.

2.2.2 Tepki yüzeyleri metodolojisi ve optimizasyon

Tam faktöriyel olarak yürütülecek denemelerde üç değişken ele alınacaktır. Bu değişkenler vakum diski üzerindeki deliklerin çapı, ilerleme hızı (vakum diski çevre hızı) ve vakumdur. Denemeler 10 cm sıra üzeri mesafe esas alınarak üç tekerrürlü olarak yürütülmüş olup toplam 81 deneme gerçekleştirilmiştir. Tam faktöriyel deneme deseni Çizelge 2.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 2. 2. Tam faktöriyel deneme deseni

Deneme no	D – mm (X ₁)	V- m s ⁻¹ (X ₂)	P- mbar (X ₃)
1	1	1	50
2	2.2	1	50
3	1	2	50
4	2.2	2	50
5	1	1.5	30
6	2.2	1.5	30
7	1	1.5	70
8	2.2	1.5	70
9	1.6	1	30
10	1.6	2	30
11	1.6	1	70
12	1.6	2	70
13	1	1	30
14	2.2	1	30
15	1	2	30
16	2.2	2	30
17	1	1	70
18	2.2	1	70
19	1	2	70
20	2.2	2	70
21	1	1.5	50
22	2.2	1.5	50
23	1.6	1	50
24	1.6	2	50
25	1.6	1.5	30
26	1.6	1.5	70
27 (MD)	1.6	1.5	50

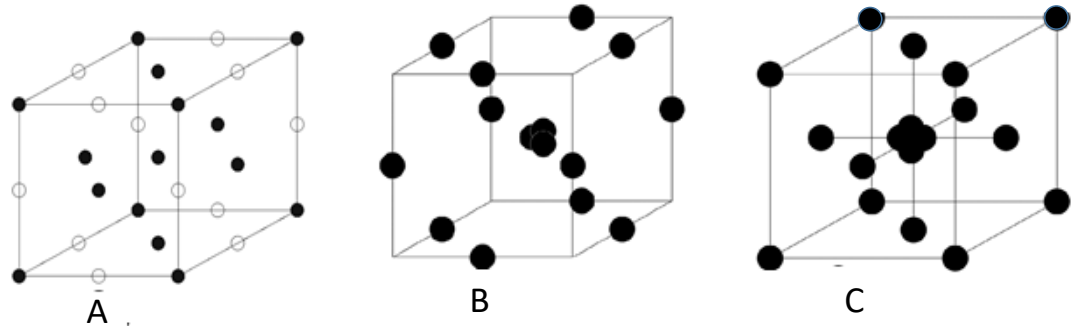
MD: Merkez deneme

Tek dane ekim makinesinde 72 delikli vakum diski kullanılmış olup 3 farklı delik çapında (1, 1.6, 2.2 mm), üç farklı vakum basıncında (30, 50, 70 mbar) ve normal sıravari ekim yönteminde olduğu gibi 1, 1.5, ve 2 m s⁻¹ ilerleme hızlarında çalıştırılmıştır.

İkincil amaca yönelik olarak gerçekleştirilecek optimizasyon çalışmasında tam faktöriyel deneme deseni ile Tepki Yüzeyleri Metodolojisi 'ne (TYM) dayalı denemeler kıyaslanacaktır. Denemelerde kullanılacak modeller iki başlık altında olup dört tiptedir. (Box & Draper,1987).

- Box-Wilson Merkez Esaslı Kompozit Dizayn
 - İlgi Alanını Dıştan Çevreleyen Dizayn
 - İlgi Alanını İçten Çevreleyen Dizayn
 - Yüz Merkezli Kompozit Dizayn (YMKD)
- Box-Behnken Dizayn (BB)

Çalışma çerçevesinde üç farklı dizayn kullanılacaktır. Denemelerin planlanmasında kullanılan tam faktöriyel deneme dizaynı ana kaynak olarak kullanılacak olup Box-Behnken ve yüz merkezli kompozit dizayn ise bu tam faktöriyel dizaynın içinden verileri barındıracaktır. Kullanılacak olan dizaynların şematik görünümü Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Tam faktöriyel dizayn (A), Box-Behnken dizaynı (B) ve yüz merkezli kompozit dizayn (C)

Şematik görünümünden de anlaşılacağı üzere tam faktöriyel deneme deseni tüm noktadaki denemeleri kapsamakta olup küp formunda ifade edilmektedir. Bu küp formu üzerine bakıldığında beyaz ve siyah renkler ile gösterilmiş olan deneme noktaları görülmektedir. Bu deneme noktaları diğer deneme dizaynlarını kapsamaktadır. Beyaz renk ile gösterilen denemeler Box-Behnken dizaynını ifade etmekte olup deneme içerisinde köşe noktalardan yani 3 seviyeli faktörde -1, 0 ve +1 olarak seviyeler ifade edilirse düşük ve yüksek olan seviyelerden uzak durmaktadır ve merkezde ise az yoğunlukta denemenin olduğu görülmektedir. Diğer yandan siyah renk ile gösterilen deneme noktaları ise yüz merkezli kompozit dizaynı göstermektedir. Bu dizaynda ise köşe noktalarda denemelerin yapıldığı ve BB dizaynına göre daha fazla merkezde yoğunluğun olduğu görülmektedir. Buradaki amaç tam faktöriyel deneme desenini kullanarak gerçekleştirilen denemelerle BB ve YMKD desenlerinin kullanıldığı durumda performansın maksimum noktaya getirilmesi olup zaman ve maliyet tasarrufu yapmak hedefi taşımaktadır.

Yapılacak model desenlerinde kullanılan değerlerin kodlu değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Tepki yüzeyi metodolojisinde kodlu değerler modellerin test edilip optimum çalışma noktalarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bağımsız değişkenlerin sayısal değerleri, kodlu değerlere dönüştürülüp modellerde kullanılacak olduğundan kodlu değişkenlere döndürülmesi gerekmektedir. Verilerin aralık değerine göre normal değerler, kodlu değerlere Eşitlik 2.9 yardımıyla dönüştürülmektedir:

$$Xi = \frac{\epsilon_i - \epsilon_{i0}}{s} \quad (2.9)$$

Burada;

X_i : kodlu değişken değeri (-1, 0 ve 1 gibi)

ε_i : Kodlu değerin normal (kodsuz) değeri

ε_{i0} : Kodlu değerin çalışılan aralıktaki kodsuz merkez değeri

s : Her bir aralık arasındaki değer

Delik çapı (D), makine ilerleme hızı (V) ve vakum (P) aşağıdaki eşitlikler uyarınca kodlanmıştır (Eşitlik 2.10 - 2.12).

$$X_1 = \frac{D-1.6}{0.6} \quad (2.10)$$

$$X_2 = \frac{V-1.5}{0.5} \quad (2.11)$$

$$X_3 = \frac{P-50}{20} \quad (2.12)$$

Değişkenlerin kodlanmış formları üzerinden kuadratik ya da kübik formda fonksiyonlar geliştirilmesi hedeflenmiştir. Kuadratik bir formda üç değişkenli modele örnek eşitlik 2.13 'de verildiği gibidir.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3 + \beta_7 X_1^2 + \beta_8 X_2^2 + \beta_9 X_3^2 \quad (2.13)$$

Box-Behnken ve yüz merkezli kompozit dizayn deneme desenleri Çizelge 2.4 ve 2.5'te verildiği gibidir. Çizelge 2.4'te görüleceği üzere Box-Behnken deneme deseni tam faktöriyel deneme desenin ilk 12 denemesinden ve ilave merkez denemelerden oluşmaktadır. Öte yandan yüz merkezli kompozit dizayn deneme deseni (Çizelge 2.5) ise tam faktöriyel deneme deseninin 13-26 numaralı denemelerinden ve ilave merkez denemeleri içermektedir. Bu deneme desenlerinden de anlaşılacağı üzere tam faktöriyel deneme deseni TYM'nin her iki desenini de içerecek yapıdadır. Tam faktöriyel deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak toplam 81 deneme dışında yüz merkezli kompozit dizayn için merkezde ilave 5 deneme (3 tekerrürlü olarak toplam 15 deneme) gerçekleştirilecektir. Yüz

merkezli kompozit dizayn için yapılan ilave 5 denemeden 3 tanesi (9 tekrerr) Box-Behnken deneme deseninde kullanılacaktır.

Çizelge 2.3 Box-Behnken deneme deseni

Deneme no	D – mm (X_1)	V- m s ⁻¹ (X_2)	P- mbar (X_3)
1 ^Ψ	1 (-1)	1 (-1)	50 (0)
2 ^Ψ	2.2 (+1)	1 (-1)	50 (0)
3 ^Ψ	1(-1)	2 (+1)	50 (0)
4 ^Ψ	2.2 (+1)	2 (+1)	50 (0)
5 ^Ψ	1 (-1)	1.5 (0)	30 (-1)
6 ^Ψ	2.2 (+1)	1.5 (0)	30 (-1)
7 ^Ψ	1 (-1)	1.5 (0)	70 (+1)
8 ^Ψ	2.2 (+1)	1.5 (0)	70 (+1)
9 ^Ψ	1.6 (0)	1 (-1)	30 (-1)
10 ^Ψ	1.6 (0)	2 (+1)	30 (-1)
11 ^Ψ	1.6 (0)	1 (-1)	70 (+1)
12 ^Ψ	1.6 (0)	2 (+1)	70 (+1)
13 (MD)	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)
14 (MD)	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)
15 (MD)	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)

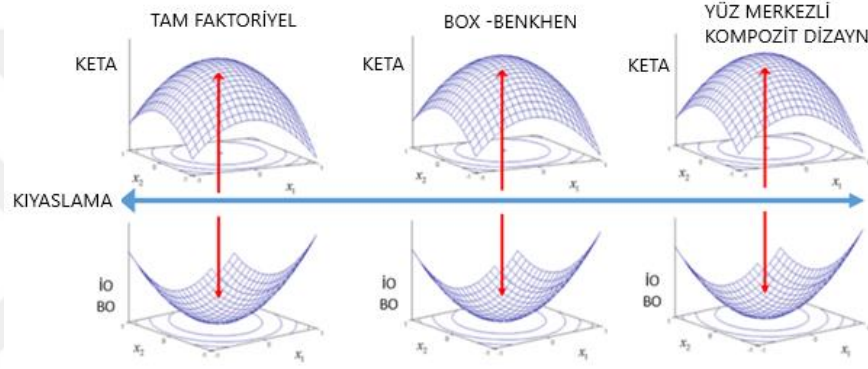
Ψ: Tam faktöriyel deneme numarası 1-12; MD: Merkez deneme; Parantez içindeki değerler kodlu değerlerdir.

Çizelge 2.4 Yüz merkezli kompozit dizayn deneme deseni

Deneme no	D– mm (X_1)	V- m s ⁻¹ (X_2)	P- mbar (X_3)
1 [13]	1 (-1)	1 (-1)	30 (-1)
2 [14]	2.2 (+1)	1 (-1)	30 (-1)
3 [15]	1 (-1)	2 (+1)	30 (-1)
4 [16]	2.2 (+1)	2 (+1)	30 (-1)
5 [17]	1 (-1)	1 (-1)	70 (+1)
6 [18]	2.2 (+1)	1 (-1)	70 (+1)
7 [19]	1 (-1)	2 (+1)	70 (+1)
8 [20]	2.2 (+1)	2 (+1)	70 (+1)
9 [21]	1 (-1)	1.5 (0)	50 (0)
10 [22]	2.2 (+1)	1.5 (0)	50 (0)
11 [23]	1.6 (0)	1 (-1)	50 (0)
12 [24]	1.6 (0)	2 (+1)	50 (0)
13 [25]	1.6 (0)	1.5 (0)	30 (-1)
14 [26]	1.6 (0)	1.5 (0)	70 (+1)
15 (MD)	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)
16 (MD)	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)
17 (MD)	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)
18 (MD)	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)
19 (MD)	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)
20 (MD)	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)

MD:Merkez deneme; Köşeli parantez içindeki sayılar tam faktöriyel deneme deseni içindeki deneme numarasıdır.

Her bir deneme deseni için ayrı ayrı yapılacak analizlerle üç değişkenin (delik çapı, hız ve vakum) optimum değerlerinin bulunması ve TYM dizaynları ile tam faktöriyel deneme deseninin kıyaslanması hedeflenmiştir (Şekil 2.8). Bu deneme desenlerinde Kabul Edilebilir Tohum Aralığı oranı (KETA; %) maksimize edilmesi, İkizlenme Oranı (İO; %) ve Boşluk Oranı (BO; %) minimize edilmesi amaçlanmıştır. Her bir deneme deseninden elde edilen değişkenlerin optimum değerlerinin sıranması ayrı ayrı yapılarak ve desenlerin performansları belirlenerek kıyaslamaları gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 2.8 Tam faktöriyel, Box-Behnken ve yüz merkezli kompozit dizayn tipi deneme desenlerinde tek dane ekimde kalite açısından beklenen tepki yüzeyleri

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Gereç

3.1.1 Tohumluk materyali

Denemelerde normal sıravari ekim yönteminde ve tek dane ekim yönteminde kişniş tohumluk materyali kullanılmıştır.



Şekil 3. 1 Tohumluk materyali

3.1.2 Tohumların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Denemelerde kullanılan kişniş tohumlarının ağırlığını ölçmek amacıyla, hassasiyeti ± 0.01 g hassasiyette ölçüm yapabilen terazi kullanılmıştır (Şekil 3.2). Tohumun bin dane ağırlığının ölçülmesinde tohum poşetinin içinden rastgele alınan bin adet tohum ağırlığı ölçülmüştür ve bin dane ağırlığı bulunmuştur.



Şekil 3. 2 Sartorius TE3102S hassas terazi

Materyalin hacim ağırlığını bulmak amacıyla Hektolitre cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.3). Ölçümler üç tekrarlı olarak yapılmış olup ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3. 3 Hektolitre ölçüm aleti ve parçaları

Tohum boyutları dijital kumpas ile ölçülmüştür. Ölçümlerde, yüz adet tohumluk materyalin kalınlık, genişlik ve uzunluk değerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Tohumların kalınlık, genişlik ve uzunluk değerleri ölçüldükten sonra küresellik değeri Eşitlik 3.1 yardımı ile hesaplanmıştır (Mohsenin, 1986).

$$\phi = \frac{3\sqrt{L.w.t}}{l} \quad (3.1)$$

ϕ = tohum küreselliği

l = tohum uzunluğu (mm)

w = tohum genişliği (mm)

t =tohum kalınlığı (mm)

Tohumların belirtilen ölçüm aletleri ve yöntemleri ile fiziksel özellikleri saptanmıştır. Çalışmada kullanılan kişniş tohumlarının fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verildiği gibidir.

Çizelge 3. 1 Çalışmada kullanılan kişniş tohumlarının fiziksel özellikleri

Materyal		m_{1000}	γ	t	w	l	ϕ
		g	kg m^{-3}	mm	mm	mm	-
Kişniş	Ortalama	9.68	278.99	3.24	3.43	3.90	90.17
	S	0.088	0.026	0.313	0.311	0.346	2.976

S: standart sapma; γ : Materyalin hacim ağırlığı (kg m^{-3}); m_{1000} : Tohumun bin dane ağırlığı (g)

3.1.3 Ekici düzenler

Normal sıravari ve tek dane olmak üzere iki farklı makinenin ekici düzenlerinde denemeler gerçekleştirilmiştir.

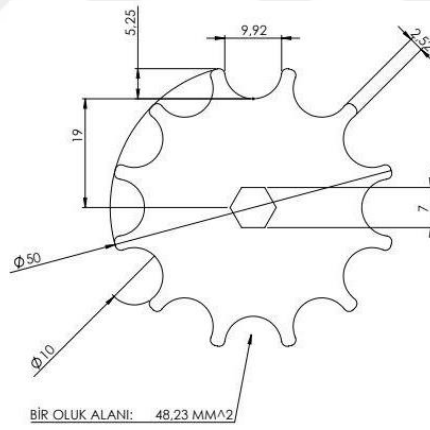
3.1.3.1 Normal sıravari ekici düzen

Normal sıravari yöntem için kullanılan ekici düzen yarım daire oluklu ve üstten akışlı ekici düzen kullanılmıştır (Şekil 3.4). Kullanılan ekici düzen hareketini step motordan almaktadır ve bu step motor Arduino kartı ve bilgisayar yazılımı ile kullanılmakta olup, 0.1 min^{-1} devirde hassasiyetle ayarlanabilmektedir. Bu ekici düzeni Özdemir (2019), normal sıravari ekimi laboratuvar koşullarda simüle etmek

amacıyla geliştirmiştir. Ekici düzende 50 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda aktif alanı değiştirilebilen oluklu makara kullanılmıştır (şekil 3.5).

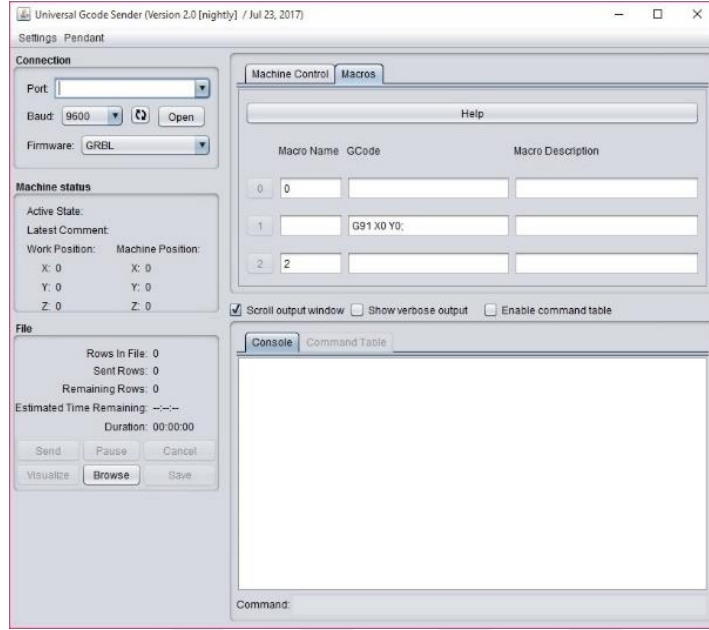


şekil 3. 4. Normal sıravari ekici düzenin görünümü



şekil 3. 5. Oluklu makara  l  leri

Oluklu makara hareketini makara miline bağlanan step motordan almaktadır. Step motor kontrolünü “Universal Gcode Sender” programı ile sağlamaktadır (şekil 3.6).



Şekil 3. 6. Universal Gcode Sender arayüzü

3.1.3.2 Tek dane ekici düzen



Şekil 3. 7. Tek dane ekim makinesi

Tek dane ekim denemelerinde piyasada kullanılmakta olan vakumlu tip bir tek dane ekim makinesinin ekici düzeni kullanılmıştır (Şekil 3.7). Makine üzerindeki vakumu yaratacak fan, hareketini üzerinde devir göstergesi olan harici bir elektrik motorundan almaktadır. İstenilen vakum değerini elde edebilmek için farklı devirler denenmiş ve devir-basınç değerleri elde edilmiştir. Denemeler sırasında vakum değeri tohum borusunun ekici düzene bağlandığı noktada

ölçülmüştür. Vakum değeri “Testo 512” Marka vakummetre ile yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3. 8. Testo 521 model vakummetre

Makineye vakum sağlamak üzere kardan miline hareket veren “ABB” Marka “ACS550-01-0223A-4” Model, 0-500 Hertz (Hz) arasında çalışan ve 7.5-11 kW güç verebilen frekans konvertörü kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3. 9. Vakum sağlamada kullanılan frekans konvertörü ve elektrik motoru

Ekici düzende vakumlu tek dane ekime uygun delikli ekim plakası kullanılmıştır. Ekim plakaları 72 delikli ve 1 mm kalınlıkta olup, denemelerde 1, 1.6 ve 2.2 mm delik çapına sahip diskler kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3. 10. Ekim plakası

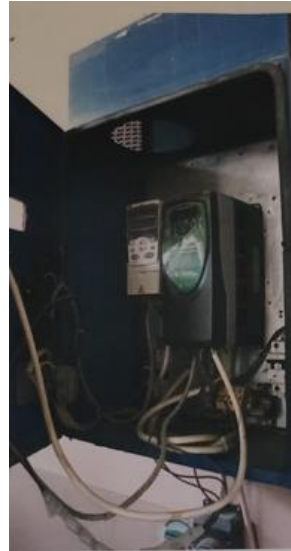
3.1.4. Yapışkan bant düzeni

İki ekim yönteminde de tohum dağılım düzgünlüğü performansını belirlemek üzere yapışkan bant deneme düzeni kullanılmıştır (Şekil 3.11). Yapışkan bant düzeni 10 metre uzunluğunda olup hareketini pano üzerinden dönü sayısı değiştirilerek ilerleme hızı ayarlanabilen bir elektrik motoru ile almaktadır. Yapışkan bant düzeninin hareketi bir döner kasnak ve bir tahrik kasnağı olmak üzere iki kasnak yardımı ile sağlanmaktadır. Bant boyunca yerçekimi etkisi ile bandın sehim yapmaması için belirli mesafelere yardımcı rulmanlı döner elemanlar bulunmaktadır.



Şekil 3. 11. Yapışkan bant düzeni

Yapışkan banda ve ekici mile hareketi veren elektrik motoruna bir pano üzerindeki bir frekans konvektörü hareket vermektedir. “ABB” Marka “Control techniques/Emerson” model konvertör, 4 kW’a kadar olan motorların hız kontrolünü üzerinde bulunan analog sistem ile ayarlayarak bant ilerleme hızını 0.1 m s^{-1} hassasiyette ayarlayabilmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12. Yapışkan bant frekans konvertörü

3.2 Yöntem

3.2.1 Normal sıravari ekim yöntemi

3.2.1.1 Akış denemeleri

Akış denemeleri beş farklı makara uzunluğunda on farklı makara devrinde üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler bir dakika süre ile yapılmıştır. Deneme gerçekleştirildikten sonra hassas terazi ile akıştan elde edilen tohumlar tartılmış ve her bir kombinasyon için akış verileri (g min^{-1}) elde edilmiştir. Akış denemesinden bir görünüm Şekil 3.13’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. 13. Akış anındaki deneme düzeni

Farklı makara uzunlukları ve devirlerde elde edilen akış değerleri Çizelge 3.2’deki gibidir.

Çizelge 3. 2 Normal sıravari ekim yöntemi için deneme deseni

Makara uzunluğu	Makara devri	Tekerrür sayısı	Toplam Deneme sayısı
12	10,15,20,25,30,35,40,45,50,60	3	30
14	10,15,20,25,30,35,40,45,50,60	3	30
16	10,15,20,25,30,35,40,45,50,60	3	30
18	10,15,20,25,30,35,40,45,50,60	3	30
20	10,15,20,25,30,35,40,45,50,60	3	30
Toplam			150

Denemeler sonrasında akış düzgünlüğünün belirlenmesinde kullanılan varyasyon katsayısı (VK%) değerleri ve bu değerlere bağlı olarak değerlendirmesi Çizelge 3.3'te verildiği gibidir.

Çizelge 3.3 Tohum akışındaki düzgünlük (Önal, 2017)

VK (%)	Değerlendirme
<1	Çok iyi
1-2	İyi
2-3	Orta
3-4	Yeterli
>4	Yetersiz

3.2.1.2 Oluklu makara akışının matematiksel modellemesi

Farklı makara uzunluğu ve makara devrinde gerçekleştirilen denemelerden matematiksel modelin oluşturulması amacıyla Minitab paket programında %95 önem düzeyinde Stepwise regresyon analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen matematiksel modelin teorik formu aşağıdaki gibidir.

$$Q = f(n, L) \quad (3.2)$$

Q = Akış miktarı (g min^{-1})

n = Makara devri (min^{-1})

L = Makara uzunluğu (mm)

3.2.1.3 Yapışkan bant denemeleri

Normal sıravari ekinde 3 farklı normda ($15, 20$ ve 25 kg ha^{-1}) çalışılmıştır. Gerekli normları sağlamak için akış miktarlarının hangi devir ve makara uzunluğunda çalışılacağı akış denemeleri sonunda elde edilen model denklemi kullanılarak belirlenmiştir.

Makara uzunluğu ve makara devrinin seçiminde, akış düzgünlüğünün (VK, %) en iyi olduğu durum göz önüne alınmıştır. Farklı ilerleme hızı ve ekim

normlarında akışın değerlendirilebilmesi için şerit genişlikleri eşitlik yardımı ile belirlenmiştir (Önal, 2017).

$$a = \frac{10 * \mu * \gamma_t}{b * N} \quad (3.3)$$

Formülde:

a: Şerit uzunluğu (cm)

γ_t : Tohumun bin dane ağırlığı (g)

b: Sıra aralığı (cm)

N: Ekim normu (kg da^{-1})

Elde edilen model ile istenilen norm ve ilerleme hızları için akış miktarı belirlenmiştir ve yapışkan bant üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Bant üzerinde Eşitlik 3.3 yardımı ile belirlenen şerit uzunlukları uyarınca bu şeritlerde yeralan tohum sayıları aşağıdaki örnekte olduğu gibi elde edilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3. 14. Belirlenen şeritlerdeki tohumların sayımı

Eşitlik yardımıyla bulunan şerit genişliklerinde tohum sayıları ölçülerek VK, λ , μ , V_f değerleri belirlenmiştir.

3.2.2 Tek dane ekim yöntemi

Tek dane ekim yönteminde ilerleme hızı, delik çapı ve vakum basıncı olmak üzere üç farklı değişken ile üç tekerrürlü toplam 81 dağılım düzgünlüğü denemesi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Tek dane ekim yöntemi için deneme planı

Değişken	İlerleme hızı	Delik çapı	Vakum basıncı	Tekerrür	Deneme sayısı
Birimi	m s ⁻¹	mm	mbar	-	-
Değerler	1, 1.5, 2	1, 1.6, 2.2	30, 50, 70	3	81

Bu denemelerde değerlendirme kriteri olarak boşluk, ikizlenme ve KETA değerleri kullanılmıştır. Kullanılan değerler aşağıdaki çizelgede verilmiş olup performans sınıflandırılması gösterilmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3. 5 Tek dane ekimde sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğünün değerlendirilmesinde kullanılan kalite kriterleri (Önal,2017)

Performans kriterleri	Performans sınırları, %	Sınıflandırma	Ana tohum dağılımının hassasiyet değeri (CV _m)
KETA (0.5-1.5) Zt	>98.76 >94.60≤ 98.76 >90.50≤94.60 <90.50	Çok iyi İyi Orta Yetersiz	12.8≤20 >20≤25 >25≤30 >30
İkizlenme ve boşluk endeksi	>0.62 >0.62≤ 2.92 >2.92≤4.75 <4.75	Çok iyi İyi Orta Yetersiz	
KETA, Kabul edilebilir tohum aralığı ; Zt, teorik (anma tohum aralığı)			

3.2.2.1 Yapışkan bant denemeleri

Tek dane ekimde tam faktöriyel olarak gerçekleştirilecek denemelerde normal sınavari ekimde olduğu gibi yapışkan bant düzeninde denemeler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15.). Ekici düzen tohumları 10 cm olarak belirlenen sıra üzeri mesafelere bırakacak şekilde ayarlanmıştır. Tohum dağılım ölçümleri Önal'ın (2009) geliştirdiği bilgisayarlı ölçüm düzeni ile yapılmıştır. Bu sistemde optik fare ve lazer işaretleyici kullanılmaktadır. Buradan alınan veriler daha sonrasında

istatistiksel analizlerde kullanılmak üzere Microsoft Excel programına kaydedilmektedir.



Şekil 3. 15. Tek dane ekimde akış sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğü denemesi

3.2.2.2 Tek dane ekimin matematiksel modellemesi

Yapışkan bant düzeninden elde edilen tohum dağılım verileri kullanılarak geliştirilen matematiksel model formları Çizelge 3.6’ da verildiği gibidir. KETA değerinin tahminlenmesinde kullanılacak matematiksel formlarda aşağıda verilen teorik ilişki esas alınmıştır.

$KETA = f(D, V, P)$ D = Delik çapı, V= Makine ilerleme hızı, P= Vakum basıncı

Çizelge 3. 6 KETA değerini tahminleme için geliştirilen matematiksel model formları

Dizayn no	Model no	Model adı	Teorik model formu
Box-Behnken	I	KETA transforme edilmiş Doğrusal model-I	$\text{Arcsin } \sqrt{KETA} = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 V + \beta_3 P$
	II	KETA transforme edilmiş Doğrusal model-II	$\text{Log} \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right) = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 V + \beta_3 P$
	III	KETA transforme edilmiş Kuadratik model-I	$\text{Arcsin } \sqrt{KETA} = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_9 P^2$
	IV	KETA transforme edilmiş Kuadratik model-II	$\text{Log} \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right) = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_9 P^2$
	V	KETA transforme edilmiş Kübik model-I	$\text{Arcsin } \sqrt{KETA} = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_{18} P^3$
	VI	KETA transforme edilmiş Kübik model-II	$\text{Log} \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right) = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_{18} P^3$
YMKD	I	KETA transforme edilmiş Doğrusal model-I	$\text{Arcsin } \sqrt{KETA} = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 V + \beta_3 P$
	II	KETA transforme edilmiş Doğrusal model-II	$\text{Log} \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right) = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 V + \beta_3 P$
	III	KETA transforme edilmiş Kuadratik model-I	$\text{Arcsin } \sqrt{KETA} = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_9 P^2$
	IV	KETA transforme edilmiş Kuadratik model-II	$\text{Log} \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right) = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_9 P^2$
	V	KETA transforme edilmiş Kübik model-I	$\text{Arcsin } \sqrt{KETA} = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_{18} P^3$

	VI	KETA transforme edilmiş Kübik model-II	$Log \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right) = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_{18} P^3$
--	----	--	---

Yukarıda verilmiş olan modellerde tepki yüzeyleri metodolojisi gereği kodlu değerler ile analiz yapılmıştır. Görüldüğü üzere $\sqrt{KETA}$ ve $Log \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right)$ transformasyonları yapılmıştır. Bu transformasyonları yapmaktaki amaç model tahminlerini 0-1 (0-100%) arasında sınırlamaktır.

Analizler neticesinde matematiksel modellerin kıyaslanması ve hangi modelin en iyi uyum gösterdiğinin belirlenmesi adına model uyum analizleri yapılmıştır. Model kıyaslamalarında genel olarak kullanılan kriter olan korelasyon katsayısı (r) dışında E_{RMS} ve Ki kare (X^2) gibi model değerlendirme kriterleri de test edilmiştir.

$$E_{RMS} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_{R_{tahmin,i}} - M_{R_{ölçülen,i}})^2 \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{tahmin,i}} - M_{R_{ölçülen,i}})^2}{N - n_s} \quad (3.5)$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

X^2 : Ki kare değeri

N: Gözlem sayısı

$M_{R_{tahmin}}$: Tahmin edilen değer

$M_{R_{ölçülen}}$: Ölçülen değer

n_s : Modelde bulunan sabitlerin sayısı

Verilen bu model kıyaslama kriterlerinde, Korelasyon katsayısının olabildiğince yüksek yani pozitif korelasyonda +1 negatif korelasyonda ise -1 durumuna yakın olması istenmektedir. Regresyon denklemi içerisinde her bir değişkenin katsayısı pozitif ve negatif olabilmektedir. Korelasyon katsayısının

sıfıra yaklaşması ile iki değişken arasındaki ilişkinin azaldığı ve sıfır olması durumunda ise iki değişken arasında hiçbir ilişki olmadığı anlamına gelmektedir.

Modelleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan ve yaygın bir geçerliliğe sahip olan E_{RMS} kriterinde ise değerin sıfıra yakın olması istenmektedir. Sıfıra yaklaştıkça model tahminlemesinin gerçek değerlere yaklaştığı anlamına gelmektedir.

Ki-Kare (X^2) olarak adlandırılan kriterde de yine E_{RMS} değerinde olduğu gibi sıfıra yakın olması modelin düzgün olduğu anlamına gelmektedir.

3.2.2.3 Tek dane modelinin sınanması

Yapışkan bant denemelerinin ardından, tahminlenen değerlerin gerçek değerlerle uyumunun gözlenmesi amacıyla sınama denemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemelerin sonucunda geliştirilen modeller optimize edilerek deneme deseninde yer almayan noktalarda sınama denemeleri yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda belirlenen delik çapı, merkez değer olan 0 (1.6 mm) değerinde sabit tutulmak kaydıyla ilerleme hızı ve vakum değerinin -0.5 ve +0.5 kodlu değerlerinde denemeler yapılmıştır. +0.5 ve -0.5 kodlu değerlerinde eşitlik 2.10-2.12 (bkz. Genel Bilgiler) uyarınca ilerleme hızının -0.5 kodlu değerindeki karşılığı 1.25 m s^{-1} ve +0.5 kodlu değerinde ise 1.75 m s^{-1} olarak hesaplanmaktadır. Vakum değeri ise aynı şekilde +0.5 ve -0.5 kodlu değerlerde sırasıyla 40 ve 60 mbar değerlerinde hesaplanmıştır. Sınama denemeleri Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 7. Model sınama deneme noktaları

Sınama deneme no	D – mm (X_1)	V- ms^{-1} (X_2)	P- mbar (X_3)
1	1.6 (0)	1.25 (-0.5)	40 (-0.5)
2	1.6 (0)	1.75 (+0.5)	40 (-0.5)
3	1.6 (0)	1.25 (-0.5)	60 (+0.5)
4	1.6 (0)	1.75 (+0.5)	60 (+0.5)



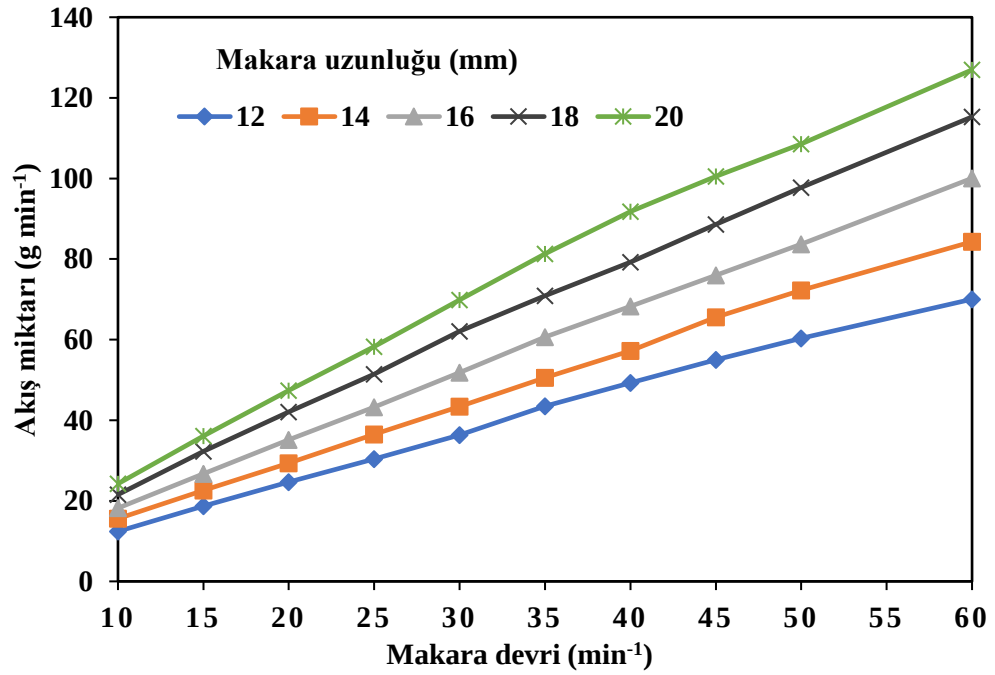
4. BULGULAR

Yapılan çalışmalarda normal sıravari ve tek dane ekici düzenler kullanılmıştır.

4.1 Normal Sıravari Ekime İlişkin Bulgular

4.1.1 Akış miktarı

Yapılan denemeler sonucunda elde edilen akış miktarlarına (g min^{-1}) ilişkin veriler, makara devrinin (min^{-1}) ve makara uzunluğunun (mm) bir fonksiyonu olarak Şekil 4.1 'te gösterildiği gibidir.



Şekil 4. 1. Oluklu makara akış miktarı

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi, makara devri ve uzunluğundaki artış, akış miktarını arttırmaktadır. Akış miktarını tahmin etmek için regresyon analizi, Minitab paket programında üç tekerrür (150 veri) ile tüm makara devri ve uzunluk kombinasyonları kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. Eşitlik 2.6'da teorik

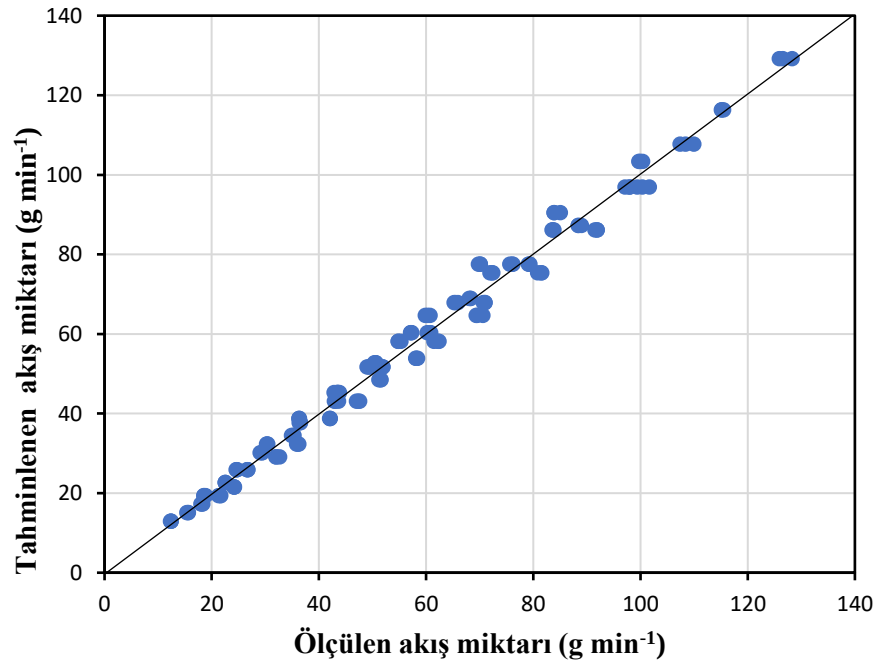
ilişki uyarınca model geliştirilmiş ve tahminleme katsayısı (r^2) 0.997 olarak aşağıda verilen için aşağıdaki tahminleme modeli (Q_{tahmin}) elde edilmiştir.

$$Q_{\text{tahmin}} = 0.107 L \cdot n \quad (4.1)$$

Şekil 4.1'den görüleceği üzere makara uzunluğu ve devir arttıkça akış miktarı da artmaktadır ve bu artış tüm makara uzunlukları ve devirleri için doğrusal karakterdedir.

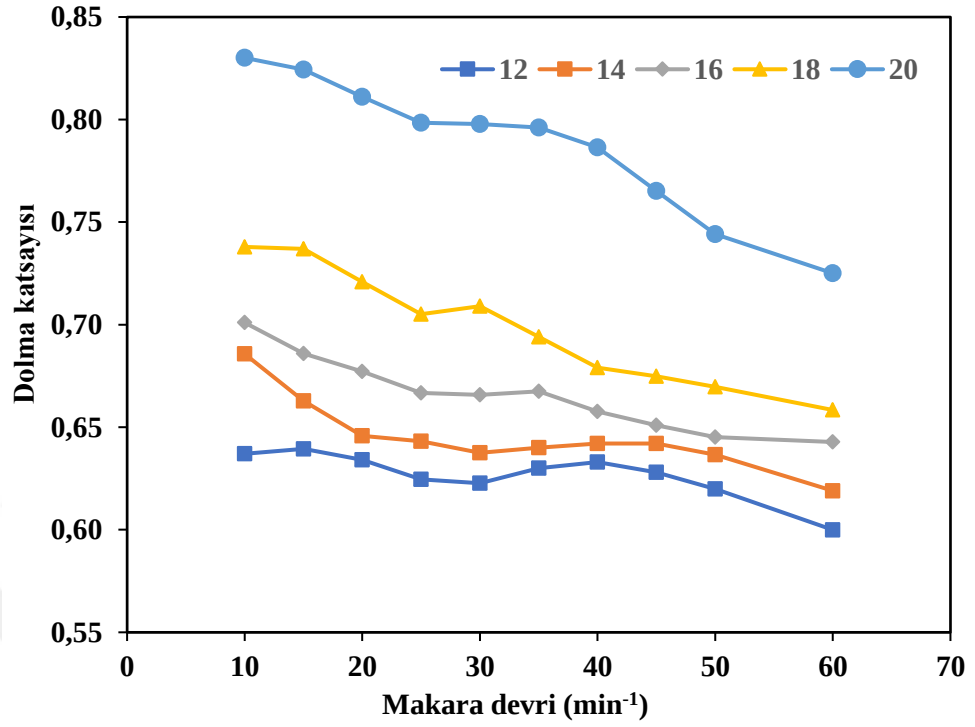
4.1.2 Akış miktarının hassasiyet analizi

Ölçülen ve tahmin edilen akış miktarının (Eşitlik 4.1 yardımıyla hesaplanan) karşılaştırması Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, ölçülen ve tahmin edilen akış miktarı arasında iyi bir korelasyon ($r=0.99$) vardır. Şekildeki diyagonal olarak çizilen doğru, uyumun ideal olduğu $r^2=1$ durumu gösterir ve verilerin bu doğru üzerinde ve etrafında yer alması beklenir. Yine şekilden görüleceği üzere teorik akış ile gerçekleşen akış arasında mükemmel yakın bir uyum söz konusudur.



Şekil 4. 2. Teorik ve ölçülen akış miktarının kıyaslaması

4.1.3 Dolma katsayısı

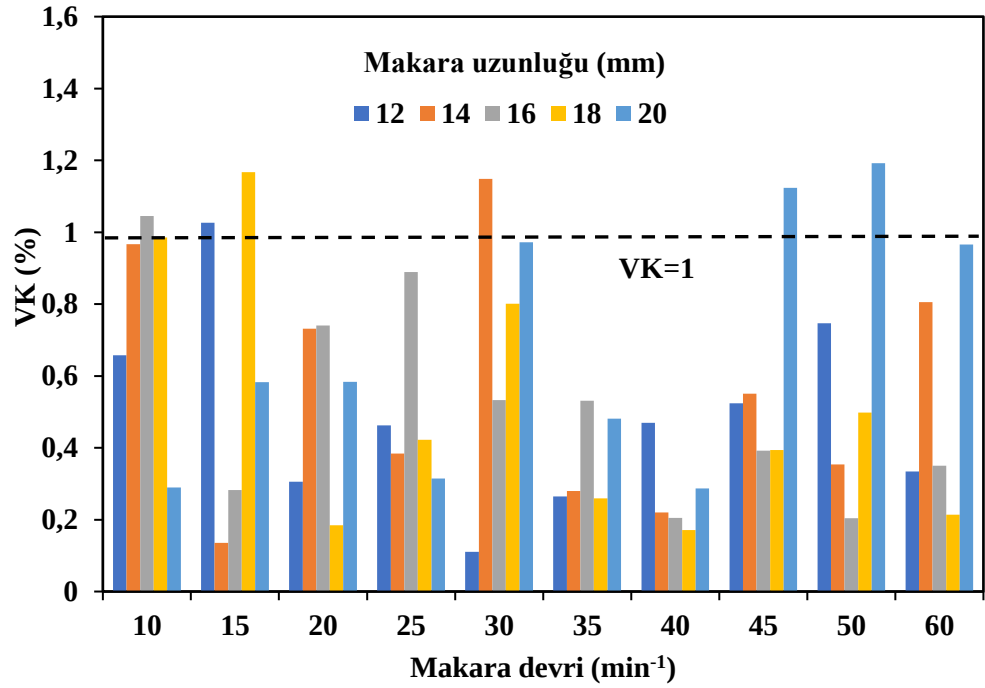


Şekil 4. 3. Oluklu makara dolma katsayıları

Farklı makara uzunlukları ve devirlerde yapılan denemeler sonucunda dolma katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Dolma katsayısı gerçek kapasitenin teorik kapasiteye bölünmesiyle hesaplanmış olup kişniş tohumlarının kullanıldığı bu çalışmada dolma katsayısı yaklaşık 0.6 ve 0.84 arasında değişim göstermektedir. Şekil 4.3'te görüldüğü üzere, makara uzunluğunun artması ile dolma katsayısının arttığı, makara devrinin artmasıyla genel olarak dolma katsayısının azaldığı bulunmuştur.

4.1.4 Akış düzgünlüğü

Akış denemelerinden elde edilen akış verilerinden hesaplanan (3 tekerrürden) varyasyon katsayısı değerleri (% VK) makara uzunluğu ve makara dönü sayısının fonksiyonu olarak şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4. 4. Oluklu makara varyasyon katsayıları

Şekilden de görüldüğü gibi VK (%) değerleri altı durum hariç %1'in altındadır % 1'in altında olan değerler çok iyi olarak tanımlanmaktadır (Önal, 2017). Genel olarak VK değerleri % 0.11 ile % 1.19 arasında değişmektedir. Ancak, 35 ve 40 min⁻¹ devirdeki VK değerlerinin, diğer devirlerdeki akış düzgünlüğü değerleriyle karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak belirli bir makara uzunluğunda dönü hızı arttıkça VK değerlerinin düşmesi gibi genel bir eğilimden söz edilemez. Kara vd. (2010), Güler (2005), Yıldırım ve Turgut (2007); artan devir (min⁻¹) ile akış düzgünlüğünde (VK, %) üstel kuvvetinde bir azalma bulmuşlardır. Üç farklı ekim normu (15, 20 ve 25 kg ha⁻¹) ve üç farklı ilerleme hızında dağılım kalitesini bulmak için yapışkan bant testleri için teorik akış miktarları ve doğrulama değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Örneğin, 1 m s⁻¹ ilerleme hızında, 15 kg ha⁻¹ ekim normunu sağlayıcı makara uzunluğu 16 mm ve makara devri 10 min⁻¹ olarak

belirlenmiş ve akış miktarı 18 g olarak hesaplanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada ise 18.18 g elde edilmiştir. Diğer ekim normlarında da değerler birbirine çok yakın olup yapışkan bant denemelerinde Çizelge 4.1. de gösterilen makara uzunlukları ve devirlerde çalışılmıştır.

Çizelge 4. 1. Tohum akış düzgünlüğü ve akışın oluklu makara uzunluğu ve devrinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmesi

Ekim normu (kg ha ⁻¹)	İlerle me hızı (m s ⁻¹)	Makara uzunluğu (mm)	Makara devri (min ⁻¹)	Teorik akış miktarı (g min ⁻¹) ^Ψ	Ortalama deneysel akış miktarı (g min ⁻¹) [×]	Tohum akış düzgünlüğü VK (%)	Değerlendir me
15	1	16	10	18	18.18	1.05	İyi
	1.5	16	15	27	26.69	0.28	Çok iyi
	2	16	20	36	35.13	0.74	Çok iyi
20	1	15 [¥]	15 [¥]	24	26.52	0.85	Çok iyi
	1.5	15 [¥]	22.5 [¥]	36	37.11	0.93	Çok iyi
	2	15 [¥]	30 [¥]	48	49.75	0.13	Çok iyi
25	1	12	25	30	30.38	0.46	Çok iyi
	1.5	12 [£]	37.5 [£]	45	46.23	1.04	İyi
	2	12	50	60	60.29	0.75	Çok iyi

^Ψ: 20 cm sıra aralığında istenilen ekim normu için hesaplanan akış değerleridir.

[¥]: İstenilen ekim oranı için akış modelinden (Eşitlik 4.1.) hesaplanmıştır.

[£]: Faktöriyel dizayn ölçümlerinde bulunamadığından deneysel olarak test edilmiştir.

[×]: Üç tekerrürün ortalamasıdır

Çoğu durumda tohum akış düzgünlüğü çok iyi olarak sınıflandırılırken, iki durumda (1 m s⁻¹ ilerleme hızında, 15 kg ha⁻¹ normda ve 1.5 m s⁻¹ ilerleme hızında, 25 kg ha⁻¹ normda) akış düzgünlüğünün iyi kalitede olduğu bulunmuştur.

İyilik kriterine (λ) göre yapılan değerlendirmeler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere iyilik kriteri (λ) değerleri % 69.0 ile % 77.3 arasında değişmektedir. İyilik kriterinin (λ) değerlendirme aralığına göre, 15 kg ha⁻¹ ekim normunda ve 1 m s⁻¹ ilerleme hızında ve 20 ve 25 kg ha⁻¹ ekim normlarında 1 m s⁻¹ ve 1.5 m s⁻¹ ilerleme hızında ekim kalitesi “çok iyi” olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 4. 2. İyilik kriteri (λ ; %) ve değerlendirilmesi açısından oluklu makara ekici ünitenin performansı

Ekim normu (kg ha ⁻¹)	Şerit uzunluğu (cm) ^χ	İlerleme hızı (ms ⁻¹)	Makara uzunluğu (mm)	Makara devri (min ⁻¹)	Banta bırakılan tohum sayısı	Şeride bırakılan ortalama tohum sayısı, μ	İyilik kriteri λ (%)	Sınıflandırma kalitesi
15	6.45	1	16	10	600	2.00	72.2	Çok iyi
		1.5	16	15	581	1.93	70.0	İyi
		2	16	20	544	1.81	71.7	İyi
20	4.84	1	15	15	625	2.08	72.3	Çok iyi
		1.5	15	22.5	574	1.91	72.0	Çok iyi
		2	15	30	591	1.97	69.0	İyi
25	3.87	1	12	25	645	2.15	77.3	Çok iyi
		1.5	12	37.5	550	1.83	74.7	Çok iyi
		2	12	50	524	1.74	70.3	İyi

χ : $\mu=2$ kabul edilerek eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanmıştır

Tarlada yüksek iş başarısı (ha h⁻¹) elde etmek için 20 ve 25 kg ha⁻¹ ekim normunda 1.5 m s⁻¹ ilerleme hızı, 15 kg ekim normunda uygun ilerleme hızı olarak 1 ms⁻¹ önerilmektedir. Bununla birlikte μ değerlerine bakılarak şeritte istenilen ortalama tohum sayısının “2” olarak elde edildiği deneme noktasında (15 kg ha⁻¹ norm ve 1 m s⁻¹ ilerleme hızında) ekim uygun olarak yapılabilir. Tohumluk kalitesinin iyi olarak sınıflandırılmasını sağlayan iyilik kriteri (λ) değerlerinin çizelge 4.2’de görüldüğü gibi % 72’ye çok yakın olduğu görülmektedir. Örneğin, 15 kg ha⁻¹ ekim normunda 1.5 ve 2 m s⁻¹ ilerleme hızları için iyilik kriteri sırasıyla % 70.0 ve % 71.7’dir. Benzer şekilde, 20 ve 25 kg ha⁻¹ ekim normlarında ve 2 ms⁻¹ ilerleme hızında, iyilik kriteri % 69.0 ve % 70.3’tür. Bu çalışmada bulunan sonuçların Yazgı ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında, Özdemir (2019) tarafından tasarlanıp üretilen prototip ünitenin kişniş u gibi küçük tohumlarda (bin tohum ağırlığı 9.68 g) dahi iyi performans gösterdiği ifade edilebilir. Yazgı vd. (2017), oluklu makarada arpa için üç ilerleme hızında tohum akış düzgünlüğüne ilişkin VK’nın % 1.4 ile % 2.6 arasında değiştiğini ve iyi veya orta olarak sınıflandırıldığını bulmuşlardır. Fiğ tohumları için akış düzgünlüğüne ilişkin VK değerleri % 1.1 ile % 2.3 arasında değişmiş ve bu sonuçlarla sınıflandırma tıpkı arpa gibi ya iyi ya da orta düzeyde bulunmuştur. 100 kg ha⁻¹ ekim normunda 1, 1.5 ve 2 m s⁻¹ ilerleme hızlarda iyilik kriteri (λ , %) sırasıyla 63.6,

67.2 ve 71.2 olarak bulunmuştur. İyilik kriterine göre bu değerlere sahip dağılım orta ve iyi olarak sınıflandırılırken, varyasyon faktörüne göre tohum dağılımının karakteri Poisson dağılımı olarak nitelendirilmiştir.

Teorik hesaplamalarda ortalama tohum sayısı 2 olarak kabul edilse de segment başına düşen tohum sayısı 1.74 ile 2.15 arasında değişmektedir (Çizelge 4.2). Varyasyon faktörüne (V_f) dayalı değerlendirmeler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere V_f değerleri tüm durumlarda 0.9 dan küçük olduğu için tohum dağılım düzgünlüğü tüm ekim normları, ilerleme hızları ve segment uzunluklarında tek dane ekime uygun olarak karakterize edilmektedir. .

Çizelge 4. 3. Varyasyon faktörü (V_f) ve tohumlama karakterizasyonu açısından oluklu makara ekim ünitesinin performansı

Ekim normu (kg ha ⁻¹)	Şerit uzunluğu, a (cm)	İlerleme hızı (ms ⁻¹)	Makara uzunluğu (mm)	Makara devri (min ⁻¹)	Varyasyon faktörü, V_f	Ekim karakteristiği
15	6.45	1	16	10	0.77	Tek dane ekim
		1.5	16	15	0.78	Tek dane ekim
		2	16	20	0.68	Tek dane ekim
20	4.84	1	15	15	0.83	Tek dane ekim
		1.5	15	22.5	0.71	Tek dane ekim
		2	15	30	0.76	Tek dane ekim
25	3.87	1	12	25	0.82	Tek dane ekim
		1.5	12	37.5	0.66	Tek dane ekim
		2	12	50	0.65	Tek dane ekim

4.2 Tek Dane Ekime İlişkin Bulgular

4.2.1 Model denemeleri

Tek dane ekim için yapışkan bant denemelerinde tam faktöriyel olarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Tam faktöriyel deneme deseni Box-Behnken (BB) ve yüz merkezli kompozit dizayn (YMKD) olarak iki gruba ayrılmıştır. Bu iki Tepki Yüzeyleri verilerini kullanarak çeşitli modeller (lineer, kuadratik, kübik) geliştirilmiştir. Denemelerden elde edilen boşluk, ikizlenme, CV_m ve CP3 gibi performans indeksleri için analizler ayrı ayrı yapılmış ve polinomiyal fonksiyonlar geliştirilmeye çalışılmıştır. Ancak, yalnızca KETA verileri için kabul edilebilir bir tahminleme katsayısına (r^2) sahip ve uyum eksikliği olmayan yalnızca tek bir model geliştirilebilmiştir. Ancak Yüz Merkezli Kompozit dizayn için tahminleme katsayısı kabul edilebilir düzeyde bir model elde edilememiştir. Diğer performans parametreleri için Stepwise regresyon analizi sonucunda düşük belirleme katsayısı değerleri ve/veya uyum noksanlığı meydana gelmiştir. CV_m ve CP3 için polinomiyal fonksiyonlarının elde edilememesinin nedeninin sözkonusu bu bağımlı değişkenlerin (CV_m ve CP3) teorik tohum aralığından bağımsız olmalarına bağlanabilir. Geliştirilen modellerin karşılaştırması Çizelge 4.4'te verildiği gibidir.

Çizelge 4. 4. Geliştirilen matematiksel modellerin karşılaştırması

Dizayn	Model no*	Teorik model formu	R^2	ERMS	X^2	Lack of fit
Box-Behnken (BB)	I	$\text{Arcsin } \sqrt{KETA} = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 V + \beta_3 P$	0.2938	11.21	134.82	<0.001
	II	$\text{Log} \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right) = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 V + \beta_3 P$	0.2385	12.62	170.76	<0.001
	III	$\text{Arcsin } \sqrt{Keta} = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_9 P^2$	0.8503	4.83	27.70	<0.001
	IV	$\text{Log} \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right) = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_9 P^2$	0.8875	5.03	31.74	<0.001
	V ^x	$\text{Arcsin } \sqrt{Keta} = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_{18} P^3$	0.9704	2.18	6.12	0.740
	VI	$\text{Log} \left(\frac{KETA}{1-KETA} \right) = \beta_0 + \beta_1 D + \dots \beta_{18} P^3$	0.9532	2.16	6.36	0.547

* I ve II. Model KETA transforme edilmiş doğrusal model, III ve IV. Model KETA transforme edilmiş kuadratik model, V ve VI. Model KETA transforme edilmiş kübik modeli ifade etmektedir. x= Arcsin transformasyonlu modelde uyum noksanlığı olmamakla birlikte ERMS değerinin Loglu

modelde daha düşük çıkması ve tahminleme aralığının çalışılan değerlerin dışında çıkması nedeniyle kullanılamamaktadır.

4.2.2 Box-Behnken modeli

Box-Behnken tasarımına dayalı deneylerden elde edilen performans değerleri Çizelge 4.5 ve 4.6'da verildiği gibidir.

Çizelge 4. 5. Box-Behnken tasarımına dayalı deneylerden elde edilen KETA, boşluk ve ikizlenme performans değerleri

Deneme no	D – mm (X_1)	V- m s ⁻¹ (X_2)	P-mbar (X_3)	KETA (%)	Boşluk (%)	İkizlenme (%)
1	1 (-1)	1 (-1)	50 (0)	83.1 [2.72]	15.3 [2.70]	1.6 [0.06]
2	2.2 (+1)	1 (-1)	50 (0)	86.1 [1.65]	8.9 [1.78]	4.9 [3.41]
3	1 (-1)	2 (+1)	50 (0)	68.5 [2.55]	30.0 [3.14]	1.4 [1.23]
4	2.2 (+1)	2 (+1)	50 (0)	84.6 [1.95]	11.9 [1.89]	3.4 [0.06]
5	1 (-1)	1.5 (0)	30 (-1)	38.3 [6.29]	61.7 [6.29]	0 [0]
6	2.2 (+1)	1.5 (0)	30 (-1)	87.6 [2.75]	10.1 [2.35]	2.2 [0.85]
7	1 (-1)	1.5 (0)	70 (+1)	81.8 [3.81]	17.0 [4.64]	1.2 [1.05]
8	2.2 (+1)	1.5 (0)	70 (+1)	88.5 [1.43]	5.7 [3.76]	5.7 [5.16]
9	1.6 (0)	1 (-1)	30 (-1)	94.6 [1.65]	2.9 [1.46]	2.4 [0.8]
10	1.6 (0)	2 (+1)	30 (-1)	85.1 [1.88]	14.8 [1.88]	0 [0]
11	1.6 (0)	1 (-1)	70 (+1)	93.1 [0.95]	3.4 [1.72]	3.3 [0.77]
12	1.6 (0)	2 (+1)	70 (+1)	89.7 [3.10]	6.0 [1.27]	4.2 [4.35]
MD	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)	95.2 [0.04]	3.7 [0.9]	1.0 [0.92]
MD	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)	94.1 [0.93]	5.2 [0.74]	0.6 [0.94]
MD	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)	93.5 [0.06]	5.3 [1.83]	1.1 [1.86]

MD, merkez noktalarındaki deneydir; parantez içindeki sayılar değişkenlerin kodlanmış değerleridir, köşeli parantez içindeki sayılar standart sapmalardır

Çizelgeden de görüleceği gibi Box-Behnken için en yüksek KETA değeri merkez noktada 95.2 olmuştur (1.6 mm delik çapı, 1.5 ms⁻¹ ilerleme hızı ve 50 mbar vakum). On beş KETA değerinden ikisi hariç değerlerin (% 81.8 ve % 95.2) dar bir aralıkta değiştiği bulunmuştur. Tüm CV_m değerleri Kachman ve Smith (1995) ve Önal (2017)' in önerdiği gibi % 29'un altında bulunmuş olup % 13 ile % 22.7 arasında değişmektedir. Diğer yandan, CP3 değerlerinin çoğunlukla %40'ın üzerinde ve % 30.2 ile % 80 aralığında değişmektedir.

Çizelge 4. 6. Box-Behnken dizaynına göre yapılan denemelerden elde edilen CV_m ve CP3 performans değerleri

Deneme no	D – mm (X_1)	V- ms^{-1} (X_2)	P-mbar (X_3)	CV_m	CP3
1	1 (-1)	1 (-1)	50 (0)	13.9 [2.19]	72.2 [3.76]
2	2.2 (+1)	1 (-1)	50 (0)	22.7 [1.01]	48.0 [10.3]
3	1 (-1)	2 (+1)	50 (0)	15.5 [3.15]	37.0 [8.0]
4	2.2 (+1)	2 (+1)	50 (0)	18.9 [1.02]	47.1 [3.58]
5	1 (-1)	1.5 (0)	30 (-1)	15.5 [6.46]	30.2 [5.44]
6	2.2 (+1)	1.5 (0)	30 (-1)	16.6 [2.77]	66.3 [2.94]
7	1 (-1)	1.5 (0)	70 (+1)	16.6 [1.17]	59.5 [4.02]
8	2.2 (+1)	1.5 (0)	70 (+1)	20.8 [2.17]	55.9 [6.49]
9	1.6 (0)	1 (-1)	30 (-1)	13.0 [0.75]	83.0 [3.56]
10	1.6 (0)	2 (+1)	30 (-1)	15.3 [1.90]	55.4 [4.12]
11	1.6 (0)	1 (-1)	70 (+1)	15.6 [2.67]	74.2 [8.53]
12	1.6 (0)	2 (+1)	70 (+1)	18.0 [1.22]	55.1 [4.07]
MD	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)	15.6 [1.30]	70.7 [4.73]
MD	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)	15.7 [1.6]	59.9 [6.32]
MD	1.6 (0)	1.5 (0)	50 (0)	17.8 [4.88]	56.7 [11.2]

MD, merkez noktalarındaki deneydir; parantez içindeki sayılar değişkenlerin kodlanmış değerleridir, köşeli parantez içindeki sayılar standart sapmalardır

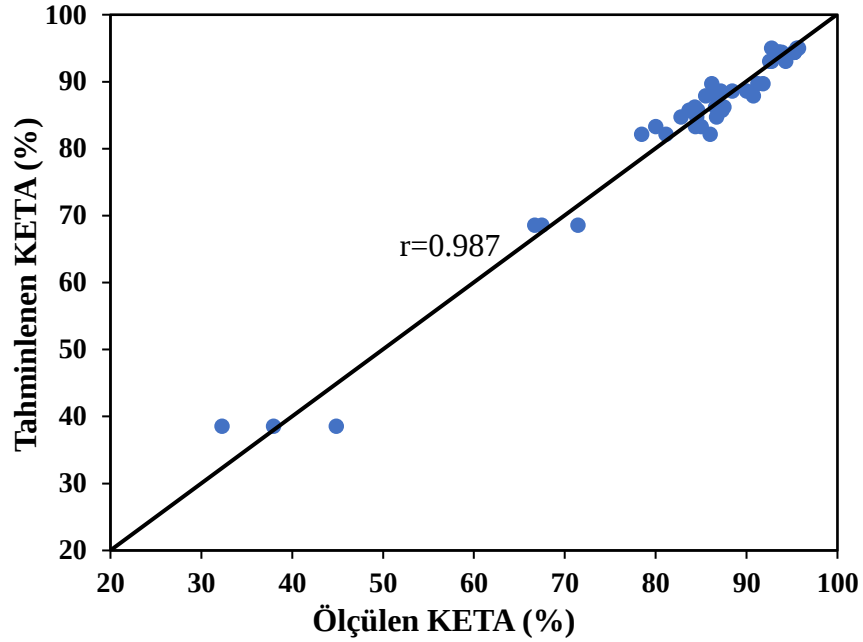
4.2.3 Box Behnkene dayalı performans (KETA) modeli ve Modelin hassasiyet analizi

Box-Behnken dizaynında tekerrürlü olarak elde edilen veriler (45 veri noktası) %95 olasılık düzeyinde Stepwise regresyon analizinden aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir:

$$\text{Log} \left(\frac{100}{100 - \text{Keta}} \right) = 1.25 + 0.224X_1 - 0.0792X_2 + 0.0574X_1X_2 - 0.127X_1X_3 + 0.0712X_2X_3 - 0.439X_1^2 - 0.0721X_2^2 - 0.106X_3^2 + 0.14X_1^2X_3 - 0.125X_1X_2^2 - 0.076X_2X_3^2 \quad (4.2)$$

Modelden de görüldüğü gibi orijinal KETA (%) değerlerine log dönüşümü (Rawlings, 1988) uygulanmıştır. Bu dönüşümün, KETA tahmin değerlerinin %100'den büyük olmasını engellediği için yapılmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen

KETA değerlerinin karşılaştırılması (hassasiyet analizi) Şekil 4.5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 4. 5. Ölçülen ve tahmin edilen KETA değerlerinin kıyaslanması

Şekilden görüldüğü gibi, ölçülen ve tahmin edilen KETA (%) değerleri iyi bir uyum içindedir (korelasyon katsayısı $r = 0.987$).

4.2.4. Box-Behnken modelinin analiz sonuçları

KETA modeli (Eşitlik 4.2) için varyans analizinin detayları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, Yukarıda verilen KETA denklemi büyük ölçüde, vakum plakası üzerindeki delik çapı (D) tarafından açıklanmaktadır çünkü iki terim, D^2 ve D, modele en yüksek katkıyı yapmış ve modeldeki değişimin sırasıyla % 50.75 ve % 15.62'sini açıklamıştır. Yazgı & Değirmencioğlu (2007) yaptıkları çalışmada tek dane ekim tek dane ekim makinesinde, ekim performansı etkileyen en önemli terimin delik çapı olduğu sonucuna varmışlardır.

Makinenin ilerleme hızı (V) bu iki değişkeni takip etmektedir. Vakum yalın olarak modele girememiştir ancak ilerleme hızı (V) ve delik çapı (D) ile ikili interaksiyon halinde modele %95 olasılık düzeyinde modele girmiştir. Buradaki en önemli konu uyum eksikliğinin önemsiz olmasıdır. Bu, modelin uygun olduğu anlamına gelir ve tahminleme amaçlı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Çizelge 4. 7. KETA verilerinin Stepwise analiz sonuçları

Değişken	Modele katkısı	P-Değerleri
Regresyon (R^2)	95.33%	<0.001
D	15.62%	<0.001
V	8.24%	<0.001
DV	0.98%	0.013
DP	4.84%	<0.001
VP	1.51%	0.003
D^2	50.75%	<0.001
V^2	1.13%	0.003
P^2	3.13%	<0.001
D^2P	5.90%	<0.001
DV^2	2.35%	<0.000
VP^2	0.87%	0.018
Hata	4.67%	
Uyum noksanlığı (Lack of fit)	0.05%	0.547
Saf hata	4.62%	
Total	100.00%	

Box-Behnken dizaynında kübik formda geliştirilen model aşağıdaki kısıt değerleri içerisinde geçerlidir. Sınır değerlerinin dışında da model tahminleme yapabilir fakat çalışma aralığının dışında yapılacak tahminlemelerde büyük sapmaların olabileceği düşünülmektedir. Geliştirilen KETA modeli için değişkenlerin kısıt değerleri aşağıda verildiği gibidir.

$$30 \leq P \leq 70 \text{ mbar}$$

$$1 \leq V \leq 2 \text{ m s}^{-1}$$

$$1.6 \leq D \leq 2.2 \text{ mm}$$

4.2.5 Değişkenlerin optimum değerlerinin belirlenmesi

Maple (2005) paket programı kullanılarak kodlu formdaki değişkenlerin optimum noktaları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$X_1 = 0.261 ; X_2 = -0.01 X_3 = -0.115$$

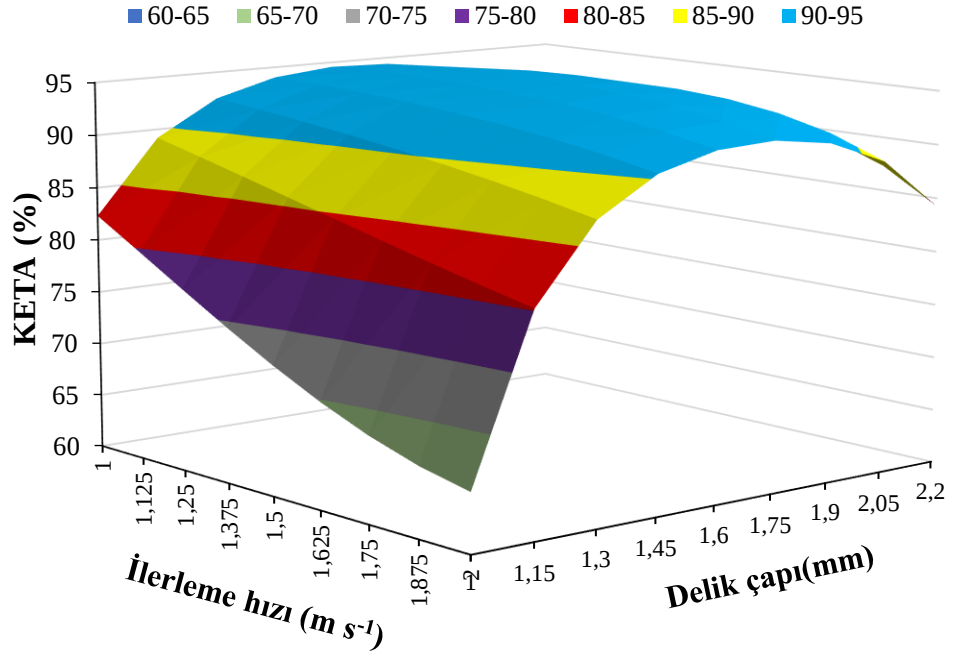
Bulunan bu noktalar 2.10'dan 2.12'ye kadar olan eşitlikler kullanılarak orijinal değerlere dönüştürüldüğünde, delik çapı (D), makine ilerleme hızı (V) ve vakum (P) için optimum değerlerin sırasıyla 1.75 mm, 1.5 m s⁻¹ ve 47.7 mbar olduğu bulunmuştur. Yukarıda kodlanmış formda verilen bu optimum noktalarda KETA değeri % 94.76 olarak hesaplanmıştır. Bu optimum noktaların sınanması amacıyla yapışkan bantta üç tekerrürlü denemeler yapılmıştır. Bu denemelerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Testler için, 1.75 mm'lik delik çapı ve 47.7 mbar'lık vakum seviyesi sırasıyla 1.8 mm ve 48 mbar'a yuvarlanmıştır.

Çizelge 4. 8. KETA modelinden elde edilen optimumları sınama testlerine ilişkin sonuçlar

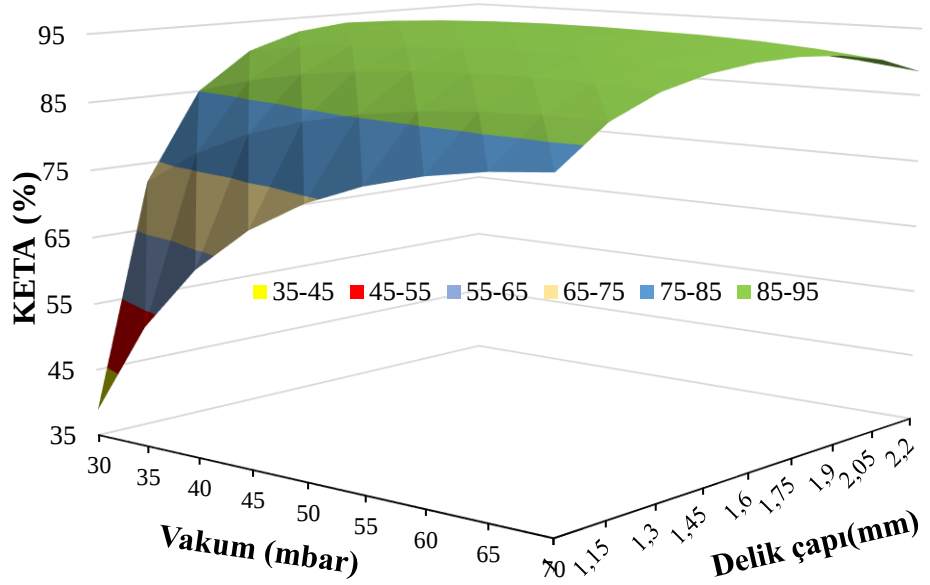
D – mm (X ₁)	V- ms ⁻¹ (X ₂)	P-mbar (X ₃)	Tekerrür no	KETA (%)	Boşluk (%)	İkizlenme (%)	CV _m	CP3
≅1.8* (0.261)	≅1.5 (-0.01)	≅48* (-0.115)	1	98.48	0	1.52	16.78	66.15
			2	96.78	1.61	1.61	15.91	73.77
			3	96.83	3.17	0	18.90	59.67

*Yuvarlanmış değerler

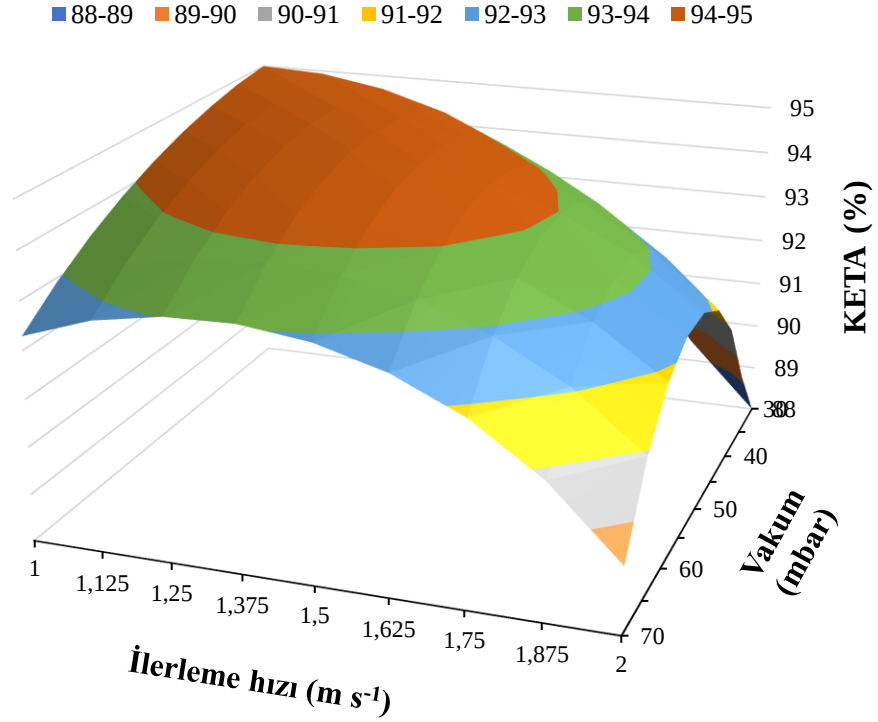
Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi bu doğrulama testlerinde elde edilen KETA değerleri, Çizelge 3.5'te verilen sınıflandırmaya göre iyi kaliteli olarak sınıflandırılmaktadır. Delik çapı, makine ilerleme hızı ve vakumun bir fonksiyonu olarak KETA'nın tepki yüzeyleri Şekil 4.6-4.8'de gösterilmektedir.



Şekil 4. 6. Kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) değerlerinin ilerleme hızı ve delik çapına bağlı olarak değişimi ($p = -0.115$ kodlu değerinde sabit tutulmuştur).



Şekil 4. 7. Kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) değerlerinin vakum ve delik çapına ilerleme hızı ve delik çapına bağlı olarak değişimi ($v = -0.01$ kodlu değerinde sabit tutulmuştur).



Şekil 4. 8. Kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) değerlerinin ilerleme hızı ve vakum değerine bağlı olarak değişimi ($d=0.261$ kodlu değerinde sabit tutulmuştur).

Box-Behnken dizaynından elde edilen KETA modelinin deneme deseninde yer almayan noktalarda sınama denemeleri yapılmıştır. Bu sayede sadece denemesi yapılmış noktalarla modeli sınırlandırmanın dışında farklı noktaları model yardımıyla tahminlenip ölçülen ve tahminlenen değerler karşılaştırılabilmektedir. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4. 9. Farklı seviyelerdeki bağımsız değişken değerlerinde gerçekleştirilen KETA model sinamaları

Sınama deneme no	D – mm (X_1)	V- ms^{-1} (X_2)	P- mbar (X_3)	Ölçülen KETA (%)	Tahminlenen KETA (%)
1	1.6 (0)	1.25 (-0.5)	40 (-0.5)	88.69 [1.55]	92.64
2	1.6 (0)	1.25 (-0.5)	60 (+0.5)	89.18 [0.92]	93.31
3	1.6 (0)	1.75 (+0.5)	40 (-0.5)	86.67 [2.87]	89.53
4	1.6 (0)	1.75 (+0.5)	60 (+0.5)	88.41 [1.52]	91.92

Parantez içindeki sayılar, ölçülen değişkenlerin kodlanmış değerleridir, KETA değerleri ise üç tekrarın ortalamasıdır; köşeli parantez içindeki sayılar standart sapma değerleridir.

Çizelgeden görüldüğü gibi, yapışkan bant üzerinde gerçekleştirilen sınaama testleri sonucunda ölçülen ve tahmin edilen KETA değerleri iyi bir uyum içindedir. Bu, KETA modelinin ne derecede düzgün bir model olduğunu göstermektedir.



5. TARTIŞMA

Oluklu makarada yapılan denemelerde makara uzunluğu ve devrinin artışına doğru orantılı olarak akış miktarının artışı arasındaki doğrusal ilişki ortaya konmuştur. Fakat makara uzunluğu veya makara devrinin artmasıyla akış düzgünlüğünün ilişkisi belirlenememiştir.

Oluklu makara ile yapılan çalışmalarda beş makara uzunluğu ve on makara devri kombinasyonunda akış düzgünlüğünün bir göstergesi olarak varyasyon katsayısı (VK; %) % 0.11 ile % 1.19 arasında değişmektedir. Bu çalışmada kişniş tohumları için elde edilen VK değerleri, farklı ürün tohumları için literatürdeki çalışmalardan önemli ölçüde düşüktür. İki performans değerlendirme kriterlerinden biri olan iyilik kriteri (λ) % 69.0 ile % 77.3 arasında bulunmuştur.

Varyasyon katsayısının bu derece düşük çıkması akışın stabil ve düzgün olduğu anlamına gelmektedir. VK değerine bağlı olarak sınıflandırma kriterlerine bakıldığında da akışın ne derece iyi olduğu görülmektedir. Akış düzgünlüğünün iyi olmasının serbest düşüşten kaynaklı kaçakların olmaması ve sistemin laboratuvar koşullarında titreşimsiz ve kesintisiz olarak step motordan sabit hızla hareket alabilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İyilik kriterinin (λ) değerlendirme aralığına göre, 15 kg ha⁻¹ ekim normunda ve 1.0 m s⁻¹ ilerleme hızında ve 20 ve 25 kg ha⁻¹ ekim normunda ilerleme hızında 1.0 ve 1.5 m s⁻¹ değerlerinde yapılan denemeler çok iyi olarak sınıflandırılmıştır. Normal sıravari ekim yönteminde tarlada yüksek tarla kapasitesi (ha h⁻¹) elde etmek için 20 ve 25 kg ha⁻¹ ekim normunda 1.5 m s⁻¹ ilerleme hızında, ekimin daha uygun yapılabilmesi için 15 kg ha⁻¹ ekim normunda 1 m s⁻¹ ilerleme hızı önerilmektedir.

Tek dane ekim makinesinde yapılan denemelerde tohum aralığı performansı için geliştirilen model KETA (%) modelidir ve değişkenlerin optimum seviyelerinin hesaplanmasına olanak sağlamıştır.

Box-Behnken deneme dizaynının tek dane ekici düzen performansının optimize edilmesinde kullanılabilecek etkili bir tasarım olduğu bulunmuştur. Kişniş tohumlarının tekdüzelik performansını etkileyen en önemli değişkenin delik çapı olduğu belirlenmiştir. Optimum delik çapı yaklaşık 1.8 mm olarak bulunmuştur. Ekim makinasının ilerleme hızı optimum 1.5 m s^{-1} olarak belirlenmiştir. 1.5 m s^{-1} den daha yüksek ilerleme hızı, ekim makinesinin performansında düşüşe neden olmuştur. Kişniş tohumlarının ekilmesi için vakum plakasında ihtiyaç duyulan optimum vakum basıncının yaklaşık 48 mbar olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda hem normal sıravari hem tek dane ekim yönteminde ekiminin yüksek performansta yapılabildiği görülmektedir. Bu çalışmadaki bulguların özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerin tek dane ekimine yönelik yapılacak başka çalışmalar için de yardımcı olacağı düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kişiş tohumlarının normal sıravari ve tek dane ekim yöntemleri ile ekiminde, ekici ünite performanslarının belirlenmesi ve matematiksel model geliştirmek için yapılan denemelerde normal sıravari ekimde, oluklu makara ile beş farklı makara uzunluğunda, on farklı devirde, üç tekerrürlü olacak şekilde, 150 akış denemesi yapılmıştır. Farklı ekim normu değerlerini karşılamak üzere yapışkan bant düzeninde 9 dağılım düzgünlüğü denemesi gerçekleştirilmiştir. Tek dane ekim için ise farklı ilerleme hızı, delik çapı ve vakum basıncı değerlerinde tohum dağılım düzgünlük kriterleri elde edilmiştir ve bunlardan en önemli kriter olan KETA değerlerinde çeşitli matematiksel modeller denenerek sistemin performansı ve optimum çalışma koşulları elde edilmiştir.. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar özet olarak aşağıda verildiği gibidir;

- Oluklu makarada tohumların akış miktarı, makara uzunluğu ve makara devir sayısına bağlı olarak artış göstermektedir. Ancak bu parametreler ile VK ilişkilendirilememiştir.
- Teorik ve deneysel olarak ölçülen akış arasında gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda yüksek bir tahminleme katsayısına sahip lineer bir matematiksel model geliştirilmiştir.
- Dolma katsayısı değerleri 0.60 ile 0.84 arasında değişim göstermektedir.
- Dolma katsayısının makara uzunluğu ile arttığı makara devir sayısının artışı ile azaldığı gözlenmiştir.
- Akış denemelerinde VK değerine bağlı olarak 144 denemede “çok iyi” 6 denemede ise “iyi” tohum dağılımı gözlemlenmiştir.
- Akış denemelerinde 35 ve 40 min⁻¹ devirlerde en düşük VK değerleri görülmektedir.
- Tek dane ekim yönteminde yapılan denemelerde merkez olarak belirlenen noktalardaki denemelerde KETA değerleri en yüksek olarak bulunmuştur.

- Yapılan denemelerde basıncın düşük ve yüksek olduğu noktalarda ekim dağılım düzgünlüğünün düştüğü görülürken merkez noktada düzgünlüğün arttığı görülmektedir.
- Aynı şekilde, delik çapının küçük ve büyük olduğu değerlerde dağılım düzgünlüğü düşmekte olup orta değerde dağılım iyileşmektedir.
- İlerleme hızında ise 1 ve 1.5 m s⁻¹ değerlerindeki denemelerde dağılımın iyi olmasıyla birlikte 2 m s⁻¹ hızda yapılan denemelerde dağılım bozulmaktadır.
- Tepki yüzeyleri metodolojisi kullanılarak çeşitli modeller denenmiş olup sistemi yüksek belirleme katsayısıyla açıklayabilen ve uyum eksikliği olmayan kübik model elde edilmiş ve optimum noktalar belirlenmiştir.
- Optimum noktalar için kodlu değerler D= 0.261 , V= -0.01 ve P= -0.115 olarak bulunmuştur. Bu değerler D= 1.8 mm , V= 1.5 m s⁻¹ ve P = 48 mbar kodsuz değerlere denk gelmektedir. Bu noktalar yukarıda sistemin merkez noktalarda yüksek dağılım düzgünlüğü bulunmasıyla paralellik göstermektedir.
- Optimum noktalarda KETA değeri % 94.7 olarak beklenirken yapışkan bant denemelerinde ortalama (3 tekerrürlü) %97.3 olarak bulunmuştur ve dağılım kriteri açısından “iyi” olarak değerlendirilmektedir.
- Geliştirilen modeli sınamak amacıyla gerçekleştirilen sınama denemelerinde, modele girmeyen değişken noktalarda yapılan denemeler ile tahminlenen değerler birbirlerine çok yakın çıkmış olup modelin düzgün çalıştığını göstermektedir.
- Yapışkan bantta hem normal sınavari hemde tek dane ekim yöntemine göre yapılan denemelerde oldukça tatminkar sonuçlar elde edilmiştir.
- Bu çalışmada kullanılan deneme düzeni prototip olarak kabul edilebilir ancak makinede ekim yapan ünite sayısının artırılması ile imal edilecek makinanın çiftçilere önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ahmad, F., M. Adeel, B. Qiu, J. Ma, M. Shoaib, A. Shakoor & F. A. Chandio,** 2021. Sowing uniformity of bed-type pneumatic maize planter at various seedbed preparation levels and machine travel speeds. *Int J Agric & Biol Eng.* Vol. 14 No. 1: 165-171. Doi: 10.25165/j.ijabe.20211401.5054
- Altuntaş, E., H. Polatçı & E. Bayram,** 2007. Kombine ekim makinasında farklı ekim normları ve ilerleme hızlarının buğday ve fiğ tohumlarının sıra üzeri ve sıralar arası tohum dağılım düzgünlüğüne etkileri. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24 (2): 57-65.
- Anonymous,** 2020. Medicinal and aromatic plants. (Web sayfası: [https://gthmyo.bingol.edu.tr/en/programlar_/medicinal-and-aromatic-plants/#:~:text=Medicinal%20and%20aromatic%20plants%20are,herbal%20tea%2C%20flavor %20 and%20condiment](https://gthmyo.bingol.edu.tr/en/programlar_/medicinal-and-aromatic-plants/#:~:text=Medicinal%20and%20aromatic%20plants%20are,herbal%20tea%2C%20flavor%20and%20condiment)) (Date accessed: December 2020).
- Anonim,** 2021. Kışniş Yetiştiriciliği ve Kullanım Alanları. (Web sayfası: <https://yetistir.net/kisnis-yetistiriciligi-ve-kullanim-alanlari/>)) (Date accessed: June 2021).
- Anonim,** 2023. Türkiye İstatistik Kurumu (Web sayfası: <https://www.tuik.gov.tr>) (Date accessed: February 2022).
- Box, G.E.P. & N. Draper,** 1987. Empirical Model-Building and Response Surfaces. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 688 pp.
- Boztaş, G., A. B. Avcı, O. Arabacı & E. Bayram,** 2021. Tıbbi ve aromatik bitkilerin dünyadaki ve Türkiye'deki ekonomik durumu, Teorik ve Uygulamalı Ormancılık, (2021) 1: 27-33. Doi: 10.53463/tafor.2021vol1iss1pp27-33

- Deniz E, Yeğenoğlu S, Şahne B S, Gençler, A M Ö.** 2017. Kişniş (*Coriandrum sativum* L.) üzerine bir derleme. *Marmara Pharm J.* 2018; 22 (1) : 15-28. DOI : 10.12991/mpj.2018.36
- Ertuğrul, Ö.** (2010). Kanola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) ekim yöntemlerinin matematik-istatistik analizi ve ekici düzenlerin Geliştirilmesi. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı (Basılmamış). İzmir
- Ertuğrul, Ö.** 2022. Tohum Fiziko-Mekanik (Mühendislik) Özelliklerinin Önemi ve Bazı Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi için Uygulanan Yöntemler. *Biyosistem Mühendisliği III. Akademisyen Kitabevi A.Ş. Ankara.* **173-185.**
- Ertuğrul, Ö.,** Yılar, M., Kır, H., Kömekçi, C. (2022). Some physical, chemical, and germination properties of *Peganum harmala* L. seeds. *Journal of Food Process Engineering*, 45(2), e13967. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13967>
- Ferreira, S.L.C., R.E. Bruns, H.S. Ferreira, G.D. Matos, J.M. David, G.C. Brandao, E.G.P. da Silva, L.A. Portugal, P.S. dos Reis, A.S. Souza & W.N.L. dos Santos,** 2007. Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta* 597 (2007) 179–186. Doi:10.1016/j.aca.2007.07.011
- Griepentrog H W.** 1994. Saatgutzuteilung von raps. Forschungsbericht agrartechnik der max-eyth-gesellschaft (MEG) 247, PhD diss. Kiel, Germany: University of Kiel, Department of Agricultural Engineering.
- Güler İ E.** 2005. Effects of flüte diameter, fluted roll length and speed on alfalfa seed flow. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(1):5-7.
- <https://www.intracen.org/itc/sectors/medicinal-plants/>

- Kachman, S. D. & J.A. Smith**, 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing planter using single seed metering. *Transactions of the ASAE*, 38: 379-387. Doi: 10.13031/2013.27843
- Kara M, Bayhan A K, Ozsert I, Yildirim Y**. 2010. Performance of fluted roll metering devices in seed drills with ammonium sulphate and diammonium phosphate. *Applied Engineering in Agriculture*. 26(2): 197-201.
- Maple**, 2005. Mapple Getting Started guide.Canada. 88 pp
- Minitab**, 2009. User Manual, Getting Started with Minitab 19 for Windows, www.minitab.com, (V19; Free Trial Version), Pennsylvania, USA. 294 pp.
- Mohsenin, N.N.** (1986) Physical Properties of Plant and Animal Materials. Taylor and Francis, New York.
- Onal, O. & I. Onal**, 2009. Development of a computerized measurement system for in-row seed spacing accuracy. *Turk. J. Agric. For.*, 33(2), 99-109. Doi:10.3906/tar-0804-12
- Önal İ.** 2017. Ekim, bakım ve gübreleme makinaları. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, No: 490, İzmir, Türkiye.
- Önal, İ., Ertuğrul, Ö.**, 2011. Üstten akışlı oluklu ekici makaranın soğan, havuç ve kanola tohumları için tohum akışı ve sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğü. *Journal of Agricultural Sciences*, 17: 10-23.
- Özdemir M H.** 2019. Oluklu makaralarla farklı tohumların iletiminde dolma katsayısının tahminlenmesine yönelik bir matematiksel modelin geliştirilmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 101 s.
- Rawlings, J. O.**, (1988). Applied Regression Analysis. Pacific Grove, CA, USA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software. 553 pp.

- Ulutaş Deniz, E., Yeğenoğlu, S., Sözen Şahne, B., & Gençler Özkan, A. M.,** (2018). Kişniş (*Coriandrum sativum* L.) üzerine bir derleme. *Marmara Pharmaceutical Journal* , vol.22, no.1, 15-28.
- Yazgı, A. & A. Değirmencioğlu,** 2007. Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology. *Biosystems Engineering*, 97 (2007): 347–356. Doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.03.013
- Yazgı, A.,** 2010. Vakumlu Tek Dane Ekimde Optimizasyon ve Makina Performansının Matematiksel Modellemesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Doktora Tezi, İzmir, 189 s.
- Yazgı A. Aykas E, Dumanoglu Z, Topcu G D.** 2017. Seed mixture flowing characteristics of a seed drill for mixed seeding. *Applied Engineering in Agriculture*, 33(1): 63-71, DOI 10.13031/aea.11606
- Yıldırım, Y., & Turgut, N.** (2007). Yonca ve susamın farklı oluk şekilli ekici makaralardan akış özelliklerinin araştırılması. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3(1), 51-58.

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimimde bana yol gösteren ve bilgi birikimini aktaran ve yaptığımız çalışma ve makalelerle beni akademik hayat yolculuğuna hazırlayan danışmanım sayın Prof. Dr. Adnan DEĞİRMENCİOĞLU'na; bölüm imkanlarını kullanmama izin veren bölüm başkanımız Prof. Dr. Bülent ÇAKMAK'a ; bu çalışmada gerek alet ekipman konusunda gerek bilgileriyle yanımda olan sayın Doç. Dr. Arzu YAZGI, Arş. Gör. Dr. Erkan URKAN, Arş. Gör. Dr. Fırat KÖMEKÇİ, Arş. Gör. Ünal ÜRKMEZ'e her zaman destekleriyle ve hoşgörüsüyle destek olan Bölüm Sekreteri Salih CEYLAN ve Ahu AKSUNGUR'a ; üretmiş olduğu oluklu makara düzeneğini kullanmam konusunda yardımlarını esirgemeyen Muhammed Hakan ÖZDEMİR'e; ihtiyaç duyduğum her an desteğini esirgemeyen Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölüm hocalarımıza; öğrencilikten akademisyenliğe kadar geçen bu sürede her an yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

Hürkan Tayfun Varol, 1998 yılında Edirne’de doğdu. İlk okul eğitimini İstanbul Beylikdüzü Büyükşehir ilk okulunda, Orta okulu Uzunköprü Gazi Mahmut Ortaokulunda, Liseyi Uzunköprü Anadolu Lisesi’nde tamamladı. Lise hayatında Taekwondo ile uğraşan VAROL, Edirne Taekwondo şampiyonasında dereceye sahiptir. Lisans eğitimini Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde 2020 yılında tamamladı. 2020-2021 Yıllarında özel sektörde Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisi unvanıyla çalışmış.olup 2022 Yılında Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak akademik hayatına başlamıştır.

EKLER

Ek 1. Oluklu makara akış verileri.....	2
Ek 2. Oluklu makara modelinin analiz sonuçları	3
Ek 3. Normal sıravari ekim bant denemeleri sonuçları	4
Ek 4. Tam fak. deneme verileri normal değerler	5
Ek 5. Tam fak deneme verileri kodlu değerler	7
Ek 6. Sınama denemelerinde tahminlenen ile ölçülen değerlerin karşılaştırılması ...	9



Ek 1. Oluklu makara akış verileri

Materyal		Hacim Ağırlık (kg/m ³)			Teorik Kapasite	Toplam oluk alanı (mm ²)			Süre	Ortalama Dolma Katsayısı	Standart Sapma	% VK
KışNış		280				579			1 dk			
Makara Uzunluğu (mm)	Makara Dönü Sayısı (d/d)	Tekerrür (g/d)				Dolma Katsayısı (%)			Tekerrür Ortalaması			
		1	2	3		1	2	3				
12	10	12,45	12,43	12,30	19,45	0,64	0,64	0,63	12,39	0,64	0,08	0,66
	15	18,88	18,53	18,57	29,18	0,65	0,63	0,64	18,66	0,64	0,19	1,03
	20	24,74	24,59	24,68	38,91	0,64	0,63	0,63	24,67	0,63	0,08	0,31
	25	30,39	30,23	30,51	48,64	0,62	0,62	0,63	30,38	0,62	0,14	0,46
	30	36,34	36,38	36,30	58,36	0,62	0,62	0,62	36,34	0,62	0,04	0,11
	35	43,40	43,63	43,50	68,09	0,64	0,64	0,64	43,51	0,64	0,12	0,27
	40	49,28	49,01	49,47	77,82	0,63	0,63	0,64	49,25	0,63	0,23	0,47
	45	54,78	54,85	55,31	87,54	0,63	0,63	0,63	54,98	0,63	0,29	0,52
	50	60,28	59,85	60,75	97,27	0,62	0,62	0,62	60,29	0,62	0,45	0,75
60	69,76	70,16	70,17	116,73	0,60	0,60	0,60	70,03	0,60	0,23	0,33	
14	10	15,39	15,64	15,66	22,70	0,68	0,69	0,69	15,56	0,69	0,15	0,97
	15	22,60	22,54	22,56	34,05	0,66	0,66	0,66	22,57	0,66	0,03	0,14
	20	29,07	29,42	29,46	45,39	0,64	0,65	0,65	29,32	0,65	0,21	0,73
	25	36,33	36,59	36,55	56,74	0,64	0,64	0,64	36,49	0,64	0,14	0,38
	30	43,52	42,87	43,85	68,09	0,64	0,63	0,64	43,41	0,64	0,50	1,15
	35	50,61	50,66	50,39	79,44	0,64	0,64	0,63	50,55	0,64	0,14	0,28
	40	57,17	57,35	57,11	90,79	0,63	0,63	0,63	57,21	0,63	0,12	0,22
	45	65,50	65,26	65,97	102,14	0,64	0,64	0,65	65,58	0,64	0,36	0,55
	50	72,30	72,46	71,96	113,48	0,64	0,64	0,63	72,24	0,64	0,26	0,35
60	85,08	83,88	83,93	136,18	0,62	0,62	0,62	84,30	0,62	0,68	0,81	
16	10	18,37	17,99	18,19	25,94	0,71	0,69	0,70	18,18	0,70	0,19	1,05
	15	26,70	26,61	26,76	38,91	0,69	0,68	0,69	26,69	0,69	0,08	0,28
	20	34,88	35,40	35,12	51,88	0,67	0,68	0,68	35,13	0,68	0,26	0,74
	25	43,11	42,92	43,66	64,85	0,66	0,66	0,67	43,23	0,67	0,38	0,89
	30	51,91	51,49	52,01	77,82	0,67	0,66	0,67	51,80	0,67	0,28	0,53
	35	60,70	60,86	60,24	90,79	0,67	0,67	0,66	60,60	0,67	0,32	0,53
	40	68,07	68,29	68,33	103,76	0,66	0,66	0,66	68,23	0,66	0,14	0,21
	45	76,24	75,66	76,07	116,73	0,65	0,65	0,65	75,99	0,65	0,30	0,39
	50	83,52	83,66	83,86	129,70	0,64	0,65	0,65	83,68	0,65	0,17	0,20
60	99,97	99,73	100,42	155,64	0,64	0,64	0,65	100,04	0,64	0,35	0,35	
18	10	21,63	21,68	21,29	29,18	0,74	0,74	0,73	21,53	0,74	0,21	0,99
	15	32,69	31,99	32,10	43,77	0,75	0,73	0,73	32,26	0,74	0,38	1,17
	20	42,10	41,99	42,14	58,36	0,72	0,72	0,72	42,08	0,72	0,08	0,18
	25	51,52	51,19	51,60	72,95	0,71	0,70	0,71	51,44	0,71	0,22	0,42
	30	62,27	62,43	61,50	87,54	0,71	0,71	0,70	62,07	0,71	0,50	0,80
	35	71,01	70,67	70,96	102,14	0,70	0,69	0,69	70,88	0,69	0,18	0,26
	40	79,39	79,28	79,12	116,73	0,68	0,68	0,68	79,26	0,68	0,14	0,17
	45	89,02	88,42	88,41	131,32	0,68	0,67	0,67	88,62	0,67	0,35	0,39
	50	97,15	97,95	98,03	145,91	0,67	0,67	0,67	97,71	0,67	0,49	0,50
60	115,11	115,16	115,56	175,09	0,66	0,66	0,66	115,28	0,66	0,25	0,21	
20	10	24,29	24,23	24,15	29,18	0,83	0,83	0,83	24,22	0,83	0,07	0,29
	15	36,30	36,07	35,88	43,77	0,83	0,82	0,82	36,08	0,82	0,21	0,58
	20	47,05	47,60	47,37	58,36	0,81	0,82	0,81	47,34	0,81	0,28	0,58
	25	58,45	58,09	58,21	72,95	0,80	0,80	0,80	58,25	0,80	0,18	0,31
	30	69,38	69,52	70,62	87,54	0,79	0,79	0,81	69,84	0,80	0,68	0,97
	35	81,59	81,47	80,86	102,14	0,80	0,80	0,79	81,31	0,80	0,39	0,48
	40	91,50	91,94	91,97	116,73	0,78	0,79	0,79	91,80	0,79	0,26	0,29
	45	99,41	101,66	100,38	131,32	0,76	0,77	0,76	100,48	0,77	1,13	1,12
	50	109,95	108,40	107,38	145,91	0,75	0,74	0,74	108,58	0,74	1,29	1,19
60	125,93	126,61	128,31	175,09	0,72	0,72	0,73	126,95	0,73	1,23	0,97	

Ek 2. Oluklu makara modelinin analiz sonuçları

Stepwise Selection of Terms

Candidate terms: Makara uzunluğu * Devir

-----Step 1-----

	Coef	P
Makara uzunluğu * Devir	0,107626	0,000
S	2,94453	
R-sq	99,79%	
R-sq(adj)	99,79%	
Mallows' Cp	1,00	
AICc	253,13	
BIC	256,70	

α to enter = 0,05; α to remove = 0,05

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	95% CI	T-Value	P-Value	VIF
Makara uzunluğu * Devir	0,107626	0,000705	(0,106208; 0,109043)	152,57	0,000	1,00

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
2,94453	99.79%	99.79%	447,054	99.78%	253,13	256,70

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	201827	99,79%	201827	201827	23278,07	0,000
Makara uzunluğu *	1	201827	99,79%	201827	201827	23278,07	0,000
Devir							
Error	49	425	0,21%	425	9		
Lack-of-Fit	33	167	0,08%	167	5	0,32	0,998
Pure Error	16	258	0,13%	258	16		
Total	50	202252	100,00%				

Ek 3. Normal sınavari ekim bant denemeleri sonuçları

Norm (kg da ⁻¹)	Hız (m s ⁻¹)	Makara uzunluğu (mm)	Devir (min ⁻¹)	Beklenen Akış (g min ⁻¹)	Ölçülen	VK %	λ	μ	V _f
1.5	1	16	10	18	18.37	1.05	72.24	2	0.77
1.5	1	16	10	18	17.99				
1.5	1	16	10	18	18.19				
1.5	1.5	16	15	27	26.70	0.28	70	1.93	0.78
1.5	1.5	16	15	27	26.61				
1.5	1.5	16	15	27	26.76				
1.5	2	16	20	36	34.88	0.74	71.66	1.81	0.68
1.5	2	16	20	36	35.40				
1.5	2	16	20	36	35.12				
2	1	15	15	24	26.32	0.85	72.33	2.08	0.83
2	1	15	15	24	26.49				
2	1	15	15	24	26.77				
2	1.5	15	22.5	36	37.4	0.93	72	1.91	0.71
2	1.5	15	22.5	36	37.22				
2	1.5	15	22.5	36	36.73				
2	2	15	30	48	49.83	0.13	69	1.97	0.75
2	2	15	30	48	49.73				
2	2	15	30	48	49.70				
2.5	1	12	25	30	30.39	0.46	77.33	2.15	0.82
2.5	1	12	25	30	30.23				
2.5	1	12	25	30	30.51				
2.5	1.5	12	37.5	45	46.55	1.04	74.66	1.83	0.66
2.5	1.5	12	37.5	45	46.48				
2.5	1.5	12	37.5	45	45.68				
2.5	2	12	50	60	60.28	0.75	70.33	1.74	0.65
2.5	2	12	50	60	59.85				
2.5	2	12	50	60	60.75				

Ek 4. Tam faktöriyel deneme verileri

Deneme no	D – mm (X ₁)	V- m s ⁻¹ (X ₂)	P- mbar (X ₃)	KETA (0.5- 1.5 Z aralığı)	Boşluk	İkizlenme	CV _m	CP3
1	1	1	50	84.38	14.06	1.56	16.43	70.31
1	1	1	50	85.00	13.33	1.67	12.87	76.67
1	1	1	50	80.00	18.33	1.67	12.42	70.00
2	2.2	1	50	86.57	8.96	4.48	21.77	58.21
2	2.2	1	50	84.29	7.14	8.57	23.80	48.57
2	2.2	1	50	87.50	10.71	1.79	22.80	37.50
3	1	2	50	67.44	32.56	0.00	17.33	37.21
3	1	2	50	66.67	31.11	2.22	17.50	28.89
3	1	2	50	71.43	26.53	2.04	11.96	44.90
4	2.2	2	50	82.76	13.79	3.45	19.09	43.10
4	2.2	2	50	84.48	12.07	3.45	19.91	48.28
4	2.2	2	50	86.67	10.00	3.33	17.88	50.00
5	1	1.5	30	32.26	67.74	0.00	8.11	32.26
5	1	1.5	30	37.93	62.07	0.00	19.28	24.14
5	1	1.5	30	44.83	55.17	0.00	19.35	34.48
6	2.2	1.5	30	86.67	11.67	1.67	15.74	68.33
6	2.2	1.5	30	90.74	7.41	1.85	19.71	62.96
6	2.2	1.5	30	85.48	11.29	3.23	14.37	67.74
7	1	1.5	70	78.43	21.57	0.00	17.11	54.90
7	1	1.5	70	81.13	16.98	1.89	15.36	62.26
7	1	1.5	70	85.96	12.28	1.75	17.60	61.40
8	2.2	1.5	70	90.00	10.00	0.00	20.26	58.33
8	2.2	1.5	70	87.14	2.86	10.00	23.21	48.57
8	2.2	1.5	70	88.41	4.35	7.25	18.97	60.87
9	1.6	1	30	95.52	2.99	1.49	12.43	82.09
9	1.6	1	30	95.71	1.43	2.86	13.92	80.00
9	1.6	1	30	92.75	4.35	2.90	12.92	86.96
10	1.6	2	30	83.64	16.36	0.00	17.51	54.55
10	1.6	2	30	84.62	15.38	0.00	14.17	51.92
10	1.6	2	30	87.27	12.73	0.00	14.25	60.00
11	1.6	1	70	92.75	4.35	2.90	12.79	84.06
11	1.6	1	70	94.29	1.43	4.29	15.97	70.00
11	1.6	1	70	92.54	4.48	2.99	18.10	68.66
12	1.6	2	70	91.80	6.56	1.64	17.79	59.02
12	1.6	2	70	91.23	7.02	1.75	19.38	50.88
12	1.6	2	70	86.15	4.62	9.23	16.98	55.38
13	1	1	30	67.92	30.19	1.89	14.61	56.60
13	1	1	30	63.27	36.73	0.00	15.73	51.02
13	1	1	30	72.55	27.45	0.00	11.62	68.63
14	2.2	1	30	91.04	7.46	1.49	14.85	74.63
14	2.2	1	30	87.76	6.12	6.12	16.04	73.47
14	2.2	1	30	87.14	5.71	7.14	18.47	62.86
15	1	2	30	40.63	59.38	0.00	13.73	21.88

Ek 4. Tam faktöriyel deneme verileri (devamı)

15	1	2	30	31.82	68.18	0.00	15.77	13.64
15	1	2	30	33.33	66.67	0.00	14.47	16.67
16	2.2	2	30	93.33	5.00	1.67	16.08	50.00
16	2.2	2	30	93.33	5.00	1.67	22.84	50.00
16	2.2	2	30	86.79	13.21	0.00	15.93	58.49
17	1	1	70	90.63	9.38	0.00	15.11	78.13
17	1	1	70	90.63	9.38	0.00	14.65	81.25
17	1	1	70	89.23	9.23	1.54	13.62	76.92
18	2.2	1	70	81.13	16.98	1.89	18.44	32.08
18	2.2	1	70	83.93	14.29	1.79	18.34	41.07
18	2.2	1	70	84.48	10.34	5.17	22.47	29.31
19	1	2	70	74.00	24.00	2.00	15.60	44.00
19	1	2	70	76.47	23.53	0.00	20.47	41.18
19	1	2	70	70.83	27.08	2.08	17.91	41.67
20	2.2	2	70	82.46	14.04	3.51	20.60	38.60
20	2.2	2	70	83.61	13.11	3.28	21.12	42.62
20	2.2	2	70	88.52	6.56	4.92	22.03	37.70
21	1	1.5	50	64.44	35.56	0.00	14.99	42.22
21	1	1.5	50	70.83	27.08	2.08	17.81	54.17
21	1	1.5	50	71.43	26.53	2.04	17.14	44.90
22	2.2	1.5	50	91.18	1.47	7.35	15.50	77.94
22	2.2	1.5	50	88.52	8.20	3.28	19.77	50.82
22	2.2	1.5	50	90.32	6.45	3.23	21.72	50.00
23	1.6	1	50	97.10	2.90	0.00	15.91	79.71
23	1.6	1	50	98.55	1.45	0.00	12.91	89.86
23	1.6	1	50	98.57	0.00	1.43	17.76	77.14
24	1.6	2	50	85.96	14.04	0.00	16.13	45.61
24	1.6	2	50	91.38	8.62	0.00	17.48	44.83
24	1.6	2	50	83.33	14.81	1.85	15.33	37.04
25	1.6	1.5	30	87.27	12.73	0.00	12.33	70.91
25	1.6	1.5	30	90.16	8.20	1.64	16.01	62.30
25	1.6	1.5	30	93.33	6.67	0.00	14.86	66.67
26	1.6	1.5	70	95.59	0.00	4.41	17.45	66.18
26	1.6	1.5	70	95.16	4.84	0.00	15.23	61.29
26	1.6	1.5	70	92.19	4.69	3.13	17.36	67.19
27 (MD)	1.6	1.5	50	95.00	5.00	0.00	16.54	53.33
27 (MD)	1.6	1.5	50	95.24	4.76	0.00	16.94	68.25
27 (MD)	1.6	1.5	50	97.01	1.49	1.49	16.85	74.63

Ek 5. Tam faktöriyel deneme verileri kodlu değerler

Deneme no	Kodlu D – mm (X ₁)	Kodlu V- m s ⁻¹ (X ₂)	Kodlu P- mbar (X ₃)	Keta (0.5- 1.5 Z aralığı)	Boşluk	İkizlenme	Hassasiyet	CP3
1	-1	-1	0	84.38	14.06	1.56	16.43	70.31
1	-1	-1	0	85.00	13.33	1.67	12.87	76.67
1	-1	-1	0	80.00	18.33	1.67	12.42	70.00
2	1	-1	0	86.57	8.96	4.48	21.77	58.21
2	1	-1	0	84.29	7.14	8.57	23.80	48.57
2	1	-1	0	87.50	10.71	1.79	22.80	37.50
3	-1	1	0	67.44	32.56	0.00	17.33	37.21
3	-1	1	0	66.67	31.11	2.22	17.50	28.89
3	-1	1	0	71.43	26.53	2.04	11.96	44.90
4	1	1	0	82.76	13.79	3.45	19.09	43.10
4	1	1	0	84.48	12.07	3.45	19.91	48.28
4	1	1	0	86.67	10.00	3.33	17.88	50.00
5	-1	0	-1	32.26	67.74	0.00	8.11	32.26
5	-1	0	-1	37.93	62.07	0.00	19.28	24.14
5	-1	0	-1	44.83	55.17	0.00	19.35	34.48
6	1	0	-1	86.67	11.67	1.67	15.74	68.33
6	1	0	-1	90.74	7.41	1.85	19.71	62.96
6	1	0	-1	85.48	11.29	3.23	14.37	67.74
7	-1	0	1	78.43	21.57	0.00	17.11	54.90
7	-1	0	1	81.13	16.98	1.89	15.36	62.26
7	-1	0	1	85.96	12.28	1.75	17.60	61.40
8	1	0	1	90.00	10.00	0.00	20.26	58.33
8	1	0	1	87.14	2.86	10.00	23.21	48.57
8	1	0	1	88.41	4.35	7.25	18.97	60.87
9	0	-1	-1	95.52	2.99	1.49	12.43	82.09
9	0	-1	-1	95.71	1.43	2.86	13.92	80.00
9	0	-1	-1	92.75	4.35	2.90	12.92	86.96
10	0	1	-1	83.64	16.36	0.00	17.51	54.55
10	0	1	-1	84.62	15.38	0.00	14.17	51.92
10	0	1	-1	87.27	12.73	0.00	14.25	60.00
11	0	-1	1	92.75	4.35	2.90	12.79	84.06
11	0	-1	1	94.29	1.43	4.29	15.97	70.00
11	0	-1	1	92.54	4.48	2.99	18.10	68.66
12	0	1	1	91.80	6.56	1.64	17.79	59.02
12	0	1	1	91.23	7.02	1.75	19.38	50.88
12	0	1	1	86.15	4.62	9.23	16.98	55.38
13	-1	-1	-1	67.92	30.19	1.89	14.61	56.60
13	-1	-1	-1	63.27	36.73	0.00	15.73	51.02
13	-1	-1	-1	72.55	27.45	0.00	11.62	68.63
14	1	-1	-1	91.04	7.46	1.49	14.85	74.63
14	1	-1	-1	87.76	6.12	6.12	16.04	73.47
14	1	-1	-1	87.14	5.71	7.14	18.47	62.86
15	-1	1	-1	40.63	59.38	0.00	13.73	21.88

Ek 5. Tam faktöriyel deneme verileri kodlu değerler (devamı)

15	-1	1	-1	31.82	68.18	0.00	15.77	13.64
15	-1	1	-1	33.33	66.67	0.00	14.47	16.67
16	1	1	-1	93.33	5.00	1.67	16.08	50.00
16	1	1	-1	93.33	5.00	1.67	22.84	50.00
16	1	1	-1	86.79	13.21	0.00	15.93	58.49
17	-1	-1	1	90.63	9.38	0.00	15.11	78.13
17	-1	-1	1	90.63	9.38	0.00	14.65	81.25
17	-1	-1	1	89.23	9.23	1.54	13.62	76.92
18	1	-1	1	81.13	16.98	1.89	18.44	32.08
18	1	-1	1	83.93	14.29	1.79	18.34	41.07
18	1	-1	1	84.48	10.34	5.17	22.47	29.31
19	-1	1	1	74.00	24.00	2.00	15.60	44.00
19	-1	1	1	76.47	23.53	0.00	20.47	41.18
19	-1	1	1	70.83	27.08	2.08	17.91	41.67
20	1	1	1	82.46	14.04	3.51	20.60	38.60
20	1	1	1	83.61	13.11	3.28	21.12	42.62
20	1	1	1	88.52	6.56	4.92	22.03	37.70
21	-1	0	0	64.44	35.56	0.00	14.99	42.22
21	-1	0	0	70.83	27.08	2.08	17.81	54.17
21	-1	0	0	71.43	26.53	2.04	17.14	44.90
22	1	0	0	91.18	1.47	7.35	15.50	77.94
22	1	0	0	88.52	8.20	3.28	19.77	50.82
22	1	0	0	90.32	6.45	3.23	21.72	50.00
23	0	-1	0	97.10	2.90	0.00	15.91	79.71
23	0	-1	0	98.55	1.45	0.00	12.91	89.86
23	0	-1	0	98.57	0.00	1.43	17.76	77.14
24	0	1	0	85.96	14.04	0.00	16.13	45.61
24	0	1	0	91.38	8.62	0.00	17.48	44.83
24	0	1	0	83.33	14.81	1.85	15.33	37.04
25	0	0	-1	87.27	12.73	0.00	12.33	70.91
25	0	0	-1	90.16	8.20	1.64	16.01	62.30
25	0	0	-1	93.33	6.67	0.00	14.86	66.67
26	0	0	1	95.59	0.00	4.41	17.45	66.18
26	0	0	1	95.16	4.84	0.00	15.23	61.29
26	0	0	1	92.19	4.69	3.13	17.36	67.19
27 (MD)	0	0	0	95.00	5.00	0.00	16.54	53.33
27 (MD)	0	0	0	95.24	4.76	0.00	16.94	68.25
27 (MD)	0	0	0	97.01	1.49	1.49	16.85	74.63

Ek 6. Sınama denemelerinde tahminlenen ile ölçülen değerlerin karşılaştırılması

D	V	P	KETA tahminlenen	Ölçülen KETA değerleri
1.6 mm	1.25 m s ⁻¹	40 mbar	92.64	88.52
				87.23
				90.32
1.6 mm	1.25 m s ⁻¹	60 mbar	93.31	89.06
				88.33
				90.16
1.6 mm	1.75 m s ⁻¹	40 mbar	89.53	83.92
				89.65
				86.44
1.6 mm	1.75 m s ⁻¹	60 mbar	91.92	89.47
				89.09
				86.66