

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**DÜŞEY PLAKALI MEKANİK HASSAS EKİCİ DÜZENİN BAZI KÜÇÜK
TOHURLAR İÇİN TASARIM ANALİZİ**

Volkan SOYA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**DÜŞEY PLAKALI MEKANİK HASSAS EKİCİ DÜZENİN BAZI KÜÇÜK
TOHURLAR İÇİN TASARIM ANALİZİ**

Volkan SOYA

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

EYLÜL 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞEY PLAKALI MEKANİK HASSAS EKİCİ DÜZENİN BAZI KÜÇÜK
TOHURLAR İÇİN TASARIM ANALİZİ**

**Volkan SOYA
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından
FYL-2021-5828 nolu proje ile desteklenmiştir**

EYLÜL 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞEY PLAKALI MEKANİK HASSAS EKİCİ DÜZENİN BAZI KÜÇÜK
TOHURLAR İÇİN TASARIM ANALİZİ**

Volkan SOYA

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 20/09/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Davut KARAYEL (Danışman) :

Prof. Dr. Zeliha Bereket BARUT :

Doç. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK :

ÖZET

DÜŞEY PLAKALI MEKANİK HASSAS EKİCİ DÜZENİN BAZI KÜÇÜK TOHUMLAR İÇİN TASARIM ANALİZİ

Volkan SOYA

**Yüksek Lisans Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Davut KARAYEL

Eylül 2023; 37 sayfa

Ülkemizde hassas ekim makinelerinin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmasına rağmen mekanik tip ekici düzene sahip hassas ekim makineleri ile az sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu makineler ile özellikle sebze tohumları gibi küçük tohumların ekiminde önemli sorunlar yaşanmaktadır. Küçük tohumların ekonomik değerinin yüksek oluşu ve literatürde düşey plakalı ekici düzenler ile ilgili veri eksikliği dikkate alınarak bu çalışma da düşey plakalı mekanik bir ekici düzenin sorgum ve soğan tohumları için tasarım analizi çalışılmıştır. Öncelikle bilgisayar destekli tasarım ve simülasyon programları ile sanal ortamda üç farklı tohum yuvası, ekici plaka düşme noktası açısı ve ekici plaka dönme hızı test edilmiştir. Düşey plakalı ekici düzen simülasyon testlerinde en iyi sonuçların elde edildiği parametrelere uygun olarak üretilmiş ve laboratuvar ortamında da test edilmiştir.

Simülasyon denemeleri sonucu sorgum ve soğan tohumu için en uygun tohum yuvası şeklinin trapez olduğu sonucuna varılmıştır. Depo üzerinde bulunan düşme noktası açısı 120° olduğunda her iki tohum için de en iyi performans elde edilmiştir. Sorgum tohumu için en iyi tohum dağılım düzgünlüğünün elde edildiği ekici plaka dönme hızı 24 d/d iken, soğan için bu değer 12 d/d olarak gerçekleşmiştir.

Simülasyon denemelerinin doğrulaması için bilgisayar ortamında tasarlanan ekici düzenin aynısı imal edilmiş ve simülasyon denemelerinde belirtilen koşullarda çalıştırılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan denemelerde peş peşe düşen tohumlar arası süre ölçülmüş ve bu değerlerin ortalaması, varyasyon katsayısı ve tohum dağılım düzgünlüğünü belirlemede kullanılan ikizleme oranı, boşluk oranı ve kabul edilebilir tohum uzaklığı oranı gibi parametreler analiz edilmiştir. Laboratuvar denemesi sonuçlarına göre; sorgumda sıra üzeri uzaklık varyasyon katsayısı %17.3, kabul edilebilir tohum aralığı oranı %86.03, soğanda ise sıra üzeri uzaklık varyasyon katsayısı %12.5 ve kabul edilebilir tohum aralığı oranı ise %89.1 olmuştur. Bu değerler ile simülasyonda elde edilen veriler arasındaki farklılık %10'un altında olup laboratuvar denemeleri simülasyon denemelerini doğrular niteliktedir.

ANAHTAR KELİMELEER: Ekim makinası, Hassas ekim, Simülasyon, Soğan, Sorgum

JÜRİ: Prof. Dr. Davut KARAYEL (Danışman)

Prof. Dr. Zeliha Bereket BARUT

Doç. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK

ABSTRACT

Volkan SOYA

DESIGN ANALYSIS OF THE VERTICAL PLATE TYPE MECHANIC SEED METERING UNIT FOR SOME SMALL SEEDS

MSc. Thesis in Agricultural Machinery and Technologies Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Davut KARAYEL

September 2023; 37 pages

Although precision seeders are widely used in Turkey, there is limited research on mechanical vertical plate-type precision seeders. These seeders still face some challenges when seeding small seeds, such as vegetable seeds. Given the high economic value of small seeds and the lack of data on vertical plate seeders, this study aims to analyze the design of a vertical plate mechanical seeder for sorghum and onion seeds. Initially, three different seed slot designs on the seed plate, seed falling point angles, and seed plate rotation speeds were tested in a virtual environment using computer-aided design and simulation programs. Based on the optimum values of the parameters from the simulation tests, the vertical plate seeder was produced and tested for verification in laboratory conditions.

Based on the simulation tests, it was concluded that the trapezoidal shape is the most suitable for the seed slot when it comes to sorghum and onion seeds. For both types of seeds, the best performance was observed when the falling point angle on the hopper was set to 120°. Additionally, the optimal uniformity of seed distribution was achieved with a rotation speed of 24 min⁻¹ for sorghum and 12 min⁻¹ for onions.

To verify a seeder designed for simulation tests, the same seeder was manufactured and operated with the parameters specified in the simulation tests. In the laboratory experiments, the time between successive seeds was measured, and several parameters such as the mean seed spacings, coefficient of variation of mean seed spacings, multiple index, miss index, and quality of feed index were calculated to determine the seed distribution uniformity of the seed metering device. The laboratory verification tests showed that the coefficient of variation of seed spacing and quality of feed index were 17.3% and 86.03% for sorghum and 12.5% and 89.1% for onion, respectively. The difference between the laboratory and the simulation was less than 10%, confirming that the laboratory experiments validate the simulation experiments.

KEYWORDS: Seeder, Precision seeding, Simulation, Onion, Sorghum

COMMITTEE: Prof. Dr. Davut KARAYEL

Prof. Dr. Zeliha Bereket BARUT

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK

ÖNSÖZ

Bir ülkenin ekonomisinin asıl kaynağı üretimdir. Üretimin yapılabilmesi ekonomik bağımsızlığın sağlanması ile yakından ilgilidir.

Üretimin ilk adımı tohumun toprak ile buluşmasıdır. Tarımsal üretim taşlarının temeli ekim işlemidir. Ekim işleminin ilk insanlık tarihinden bu yana sürekli olarak canlı bir varlık gibi değişim göstermesi ve teknoloji ile bütünleşmiş bir yapıya sahip olması tarımsal üretimdeki öneminin göstergesidir.

Birim alandan alınan verim ve makine iş başarısı tamamen birbirine bağlı olan durumlardır. Üretimin verimli bir şekilde artması büyük, orta ve küçük işletmelere uygun mekanizasyon seviyesinin bulunması ile sağlanabilecektir. Düşey plakalı ekici düzenlerin hem küçük ölçekli makinelere hem de büyük ölçekli makinelere uyumlu olması ve ergonomik bir yapıya sahip olması büyük avantaj teşkil etmektedir.

Küçük tohumların ekilmesinin bir hayli zor ve düzensiz olmasının yanı sıra düşey plakalı ekici düzenler ile ilgili veri eksikliğinin giderilmesi, düşey plakalı ekici düzenlerin yaygınlaşması ve gelişmesi ülkemize katkısı temennimdir.

Yaptığım bu çalışma kapsamında her zaman yanımda olan ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Davut KARAYEL'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu günlere gelmem için hiçbir yardımını esirgemeyen başta aileme, arkadaşlarıma ve çok kıymetli hocalarıma çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
AKADEMİK BEYAN	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ixx
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
3. MATERYAL.....	11
4. METOT.....	16
4.1. Model tasarımı ve simülasyon.....	16
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	27
5.1. Bilgisayar analizleri sonuçları.....	27
5.1.1. Sorgum tohumu ile yapılan simülasyon analizi sonuçları	28
5.1.2 Soğan tohumu ile yapılan simülasyon analizi sonuçları.....	30
5.2. Laboratuvar denemeleri.....	31
6. SONUÇLAR.....	33
7.KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Düşey Plakalı Mekanik Hassas Ekici Düzenin Bazı Küçük Tohumlar İçin Tasarım Analizi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

20/09/2023

Volkan SOYA

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- dc : Doğru akım
fps : Saniyedeki görüntü sayısı
d/d : Dakikadaki dönü sayısı

Kısaltmalar

- BO : Boşluk oranı
CFD : Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
CV : Varyasyon katsayısı
DEM : Ayrık elemanlar yöntemi
FEM : Sonlu elemanlar yöntemi
İO : İkizleme oranı
KTA : Kabul edilebilir tohum aralığı oranı
SS : Standart sapma

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Denemelerde kullanılan tohumlar; a) soğan b) sorgum.....	11
Şekil 3.2. Laboratuvar tipi ekici düzenek. a) genel görünüş, b) ön görünüş, c) yan görünüş, d) tohum düşme noktası ayar plakası.....	12
Şekil 3.3. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen ekici plakalar; a) soğan b) sorgum.....	13
Şekil 3.4. Ekici plakaların imalatı için kullanılan yazıcı.....	14
Şekil 3.5. Laboratuvar tipi ekici düzenek düşme noktası; a) ön, b) arka görünüş.....	14
Şekil 3.6. Yüksek hızlı kamera (Sony RX100 M5).....	15
Şekil 4.1. Simülasyon algoritması.....	16
Şekil 4.2. Solidworks programı kullanılarak tasarlanan ekici plaka. a) Ekici plaka perspektif görünüşü, b) tohum deposuna montajı, c) plaka boyutları	17
Şekil 4.3. Tohum plakası üzerindeki tohum yuvaları (X, Y, Z) ve boyutları	18
Şekil 4.4. Tohum düşme noktasının yatayla yaptığı açı.....	19
Şekil 4.5. Bilgisayar ortamında tasarlanan tohumlar; a) sorgum b) soğan.....	20
Şekil 4.6. Simülasyon programında tasarlanan sorgum tohumu.....	20
Şekil 4.7. Simülasyon programında tasarlanan soğan tohumu.....	20
Şekil 4.8. Sanal fabrika ve ekici plaka dönü yönünün tanımlanması.....	22
Şekil 4.9. Sorgum a) ve soğan b) tohumlarının depoya doldurulması ve simülasyonun başlaması.....	23
Şekil 4.10. Düşme noktasının konumu.....	23
Şekil 4.11. Tohumların düşme hızlarının ölçülmesi; a) sensör b) tohum.....	24
Şekil 4.12. Tohumlar arasındaki süreyi belirlemek için yerleştirilen sensör konumu.....	24
Şekil 4.13. Laboratuvar denemeleri.....	26
Şekil 5.1. Simülasyonda sensör ile algılanan sorgum tohumları ve tohumlar arasındaki süreler.....	27
Şekil 5.2. Simülasyonda sensör ile algılanan soğan tohumları ve tohumlar arasındaki süreler.....	27
Şekil 5.3. Sorgum için farklı hızlarda ekici plaka performansı (12, 24, 36 d/d).....	29

Şekil 5.4. Soğan için farklı hızlarda ekici plaka performansı (12, 24, 36 d/d).....31



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye’deki yıllara göre soğan üretim miktarı.....	3
Çizelge 1.2. Türkiye’deki Sorgum üretim alanı ve yeşil ot miktarı.....	3
Çizelge 2.1 Soğan tohumu kritik hız, statik sürtünme ve kırılma direnci değerleri.....	6
Çizelge 2.2. Sorgum tohumlarının bazı fiziksel özellikleri.....	9
Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan tohumların bazı fiziksel özellikleri.....	12
Çizelge 3.2. Üç boyutlu yazıcının teknik özellikleri.....	14
Çizelge 3.3. Simülasyonlarda kullanılan dizüstü bilgisayar özellikleri.....	15
Çizelge 3.4. Yüksek hızlı kameranın teknik özellikleri.....	15
Çizelge 4.1. Simülasyon denemelerinde uygulanan faktörler ve seviyeleri.....	19
Çizelge 4.2. Simülasyon programında tohum tasarımıda kullanılan kürelerin fiziksel yarıçapları ve tohumların ağırlık merkezlerinin koordinatları.....	21
Çizelge 4.3. Simülasyon uygulamasında kullanılan tohumlara ait veriler.....	22
Çizelge 4.4. Farklı plaka devir sayıları ve 1.0 m/s ilerleme hızındaki teorik sıra üzeri uzaklık değerleri	25
Çizelge 5.1. Sorgum tohumu ile yapılan simülasyon denemeleri sonucu elde edilen tohum dağılım düzgünlüğü değerleri.....	28
Çizelge 5.2. Soğan tohumu ile yapılan simülasyon denemeleri sonucu elde edilen tohum dağılım düzgünlüğü değerleri.....	30
Çizelge 5.3. Sorgum tohumu ile laboratuvar denemeleri sonucu elde edilen tohum dağılımı değerleri.....	32
Çizelge 5.4. Soğan tohumu ile laboratuvar denemeleri sonucu elde edilen tohum dağılımı değerleri.....	32

1. GİRİŞ

Tohumların belirli bir düzende, istenilen derinlikte gömülmesi ve üzerinin toprakla kapatılması işlemine ekim denilmektedir. İnsanlar 19. yüzyılın sonuna kadar ekim işlemini rastgele bir şekilde tohumların toprak üzerine serpilmesi ve üzerinin basit aletlerle kapatılması ile gerçekleştirmişlerdir. Günümüzde bu ekim yöntemi bazı sarp arazilerde ve yem bitkilerinin ekiminde uygulanmaktadır. Serpme ekim denilen bu yöntem günümüzde santrifüjlü gübre dağıtma makineleri ile yapılmaktadır. Fakat tohumların istenilen derinliğe ulaşmaması ve tohumların farklı seviyelerde gömülmesi tohum kayıplarına sebep olmaktadır. Bu sebeple çok fazla tohum gideri ve başarısız çimlenme gibi durumlar ile karşılaşmaktadır. Bu gibi problemlerin en aza indirilmesi için günümüzde universal ekim makinelerinin yanı sıra hassas ekim makineleri de geliştirilmiştir. Hassas ekim makineleri iki gruba ayrılmaktadır;

- Mekanik hassas ekim makineleri
- Pnömatik hassas ekim makineleri

Pnömatik hassas ekim makineleri, eskiden beri kullanılan mekanik hassas ekim makinelerine kıyasla yüksek çalışma hızları ve farklı tohum yapılarına uygun ve kolay kalibre edilebilmelerinden ötürü daha çok tercih edilmektedir. Mekanik hassas ekim makineleri ise, yapısı gereği güç gereksiniminin az olması ve maliyet açısından ekonomik olması gibi avantajlara sahiptir. Ekim başarıları ise pnömatik hassas ekim makinelerine kıyasla daha düşüktür.

Ekim başarısı, sıra üzeri bitki dağılımında ve ekim derinliğinde düzgünlüğün yanı sıra, yüksek bir tarla filiz çıkış derecesi sağlanması ile doğrudan bağlantılıdır. Tarla filiz çıkış derecesine ise doğa koşulları, ekim makinası ve tohumluk birlikte etkilidir.

Ekici düzenlerin tohumları ikizleme ve boşluk yapmadan istenilen aralıklarla ekebilmeleri istenmektedir. Ülger vd. (1996)'ya göre sıraya ekim yapan makinaların, bölge ve tarla koşullarına uygun ekim yapabilmesi için birtakım özellikleri içermesi istenmektedir. Bu özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sıra arası uzaklık değerleri ve sıralara atılan tohum miktarları eşit olmalı,
- Tohumlar istenilen ve eşit derinliğe ekilebilmeli,
- Tohumların filizlenme özelliğini kaybedecek zedelenmeler oluşmamalı,
- Farklı tohumlara ve istenilen ekim normlarına kolay ve hassas şekilde ayarlanabilmeli ve
- Çalışma koşullarından olabildiğince az etkilenmeli ve çalışma sonrası bakım, temizleme ve onarım işlemleri kolaylıkla yapılabilmelidir.

Bir hassas ekim makinasının en belirgin özelliği tohumu toprağa istenilen sıra üzeri uzaklıkta ve tek tek yerleştirmesidir. Ekonomik değeri oldukça fazla olan sebze üretiminde hassas ekim tekniği hem tohumların küçük oluşundan hem de tohumların tekdüze boyutlarda olmamasından henüz yeteri kadar yaygın uygulanamamaktadır. Küçük tohumlardan bazıları kaplanarak ekilmekte veya serpme ekilerek filizlendikten sonra seyreltme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Antalya bölgesinde yapılan bir anket çalışması sonuçlarına göre, sebze üretiminde

yaşanan başlıca sorunlar arasında %37'lik bir oranla ekim-dikim aşamasında karşılaşılan sorunlar ilk sırada yer almaktadır (Özmerzi vd. 1992). Ayrıca Baktemur vd. (2023)'e göre sebze yetiştiriciliğinde yaşanan sorunlardan en önemlileri ekim ve dikim mekanizasyonunda yaşanan sorunlardır.

Mekanik ekim makinelerinin veya mekanik ekici düzenlerin performansına makine konstrüksiyonu, çevre şartları, kullanılan materyaller (tohum) ve arazi koşulları etkili olmaktadır. Bu sebeple mekanik ekici düzenlerde tohum düşme yüksekliği mümkün olduğunca az olmalıdır. Bu durum özellikle hafif ve küçük tohumların ekiminde daha da önem kazanmaktadır. Yapılan akademik çalışmalar ile belirlenen tasarım ve işletme parametrelerin referans olarak alınması makine performansının artırılmasında büyük avantaj sağlamaktadır.

Düşey plakalı mekanik ekici düzenler ülkemizde yaygın bir şekilde kullanılmamaktadır. Bu ekici düzenler pnömatik ekici düzenlere göre imalat ve montaj açısından son derece avantajlıdır. Düşey plakalı ekici düzenler diğer ekici düzenlere kıyasla daha az alan kaplar, birim iş genişliğine daha fazla ekici düzen yerleştirilebilir ve dolayısıyla çok sıralı (dar sıraya ekim) ekim yapılabilir.

Sebze ve yağ bitkisi tohumları gibi küçük tohumların ekiminde, ekim normunun düşüklüğü, eşit yaşam alanı sağlamada yaşanan zorluklar, tohum fiyatlarının yüksek oluşu gibi nedenlerle modern ve ekim kalitesi yüksek makinelerin kullanılması kaçınılmazdır. Ancak günümüzde küçük daneli tohumların ekimi, elle ya da kombine tahıl ekim makineleriyle kum ya da gübre vb. maddelerle karıştırılarak yapılmaktadır. Bazen asıl ürüne zarar vermeyecek (sezonu olmayan) belirli ürün tohumları ile de karıştırılabilmektedir.

Sebze tohumlarının çoğunluğu çok küçük veya geometrik olarak tanımlanamayacak kadar şekilsizdir. Genelde sebze tohumlarının küçük ve biçimsiz olması, tohumların ekici düzen tarafından tek tek alınmasını dolayısıyla hassas ekimini güçleştirir. Bu nedenle, özellikle mekanik hassas ekim makineleriyle kalibre edilmemiş sebze tohumlarının ekiminde yeterli bir ekim kalitesine ulaşılamamaktadır.

Ülkemizde çok tüketilen ve önemli bir besin kaynağı olan soğan (*Allium cepa* L.) ekonomik önemi son derece yüksek sebzelerdendir. Üretici ve tüketici fiyatı arasında en fazla dalgalanma gösteren ürünlerin başındadır. Türkiye'de kuru soğan üretiminde de son 5 yılda verim ve kalitede ciddi artışlar yaşanmıştır. Yeşil soğanın üretim alanı 2004 yılında 136.000 da kuru soğanın üretim alanı ise 788.000 da'dır. 2018 yılında bu değerler 136.000'den 86.000 da'a, 788.000'den 527.000 da'a düşmüştür. Yine Çizelge 1.1'de 2012 yılında üretilen yeşil soğan miktarı 150.928 ton, kuru soğan miktarı 1.73 milyon tondur. 2021 yılına gelindiğinde yeşil soğanın üretim miktarı 126.185 tona düştüğü, kuru soğanın 2.50 milyon tona yükseldiği görülmektedir. Türkiye'de 2020 yılında ekimi yapılan soğanın üretim alanı 684 910 da üretim miktarı ise 2.409.023 tondur. Üretim miktarındaki artışa oranla mekanizasyon seviyesinde gelişmelerin az olması, işgücü ve verimi doğrudan etkilemektedir (Bayram 2021).

Çizelge 1.1. Türkiye’deki yıllara göre soğan üretim miktarı (TUIK 2021)

Soğan Üretim Miktarı (ton)		
Yıllar	Taze	Kuru
2012	150 928	1 735 857
2013	153 478	1 904 846
2014	148 255	1 790 000
2015	141 691	1 879 189
2016	134 479	2 120 581
2017	138 993	2 175 911
2018	142 854	1 930 695
2019	142 257	2 200 000
2020	129 023	2 280 000
2021	126 185	2 500 000

Sorgum (*Solanum tuberosum L.*) beş bin yıldan beri yetiştirilmekte olan bir bitkidir. Günümüzde dünyada yetiştirilen en önemli beşinci tahıl ürünü niteliğindedir. Afrika ve bazı Uzakdoğu’da bulunan gelişmemiş ülkelerinde kullanım açısından buğday ve diğer tahılların yerini alan sorgum, Amerika Birleşik Devletleri, Güney Amerika ve Avrupa ülkelerinde hayvan yemi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yeşil ot olarak verimi kuruya ekimde 3 ton/da, sulu ekimde 6 ile 7 ton/da aralığında olmuştur. Nem oranı %85 ve boyu 250 cm ile 275 cm arasındadır. Tanesinin öğütülmesi ile elde edilen undan yapılan protein açısından zengin olan ekmek, sorgumun insan beslenmesinde en yaygın kullanılma yollarından birini oluşturmaktadır. Sorgum birden çok defa hasat edilebilmektedir. Bitki istekleri sağlandığı takdirde 40-50 gün gibi kısa sürede yetismekte ve 3-5 defa hasat gerçekleştirilebilmektedir. Her ne kadar kurak ortamda yetişebilen bir ürün olsa da suyu çok sever, sulandığı takdirde özellikle yeşil ot verimi katlanarak artar. Ülkemizde sorgum genellikle ikinci ürün olarak yetiştirilmektedir.

Çizelge 1.2. Türkiye’deki Sorgum üretim alanı ve yeşil ot miktarı (TUIK 2021)

Yıllar	Ekilen Alan (da)	Yeşil Ot (Ton)
2012	19 084	51 376
2013	18 396	59 358
2014	17 839	59 033
2015	16 802	59 019
2016	16 814	60 371
2017	17 929	65 523
2018	17 922	66 808
2019	26 504	80 938
2020	23 323	87 920
2021	27 684	113 179

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2021’de üretimi en çok artan ürün sorgum olmuştur. Özellikle hayvan yemi olarak değerlendirilmek üzere tercih edilen sorgum üretimi Çizelge 1.2’de görüldüğü üzere 2020’da 87.920 ton iken, 2021’de 113.179 tona çıkmıştır.

Günümüzde, bilgisayar ve yazılım teknolojilerinin hızla ilerlemesi, birçok sektörde köklü değişikliklere yol açmaktadır. Özellikle son yıllarda bilgisayarlar, yazılımlar ve sayısal yöntemlerin birleştirildiği sistemler, büyük başarılar elde etmiştir. Bu başarılar, karmaşık ve çok yönlü sistemlerin tasarımı ve üretimi süreçlerini daha etkili hale getirmiştir. Maliyetlerin azaltılması, zamanın daha verimli kullanılması ve iş gücü tasarrufu gibi faktörler, bu teknolojilerin birçok sektörde yaygınlaşmasını teşvik etmektedir. Bu bağlamda, tarım sektörü de bu teknolojilerin nimetlerinden yararlanabilir. Tarım, bir ülkenin gelişimi için hayati bir rol oynar ve bu sektördeki verimliliğin artırılması büyük önem taşır. Bilgisayar teknolojileri, tarım makinelerinin tasarım ve üretiminde kullanıldığında, tarımın daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesine yardımcı olabilir. Bu, daha iyi tarım makinelerinin üretilmesi, çevreye daha duyarlı tarım uygulamalarının geliştirilmesi ve tarımın daha karlı hale gelmesi anlamına gelir. Özellikle Türkiye gibi tarımın önemli olduğu ülkelerde, tarım sektörünün bu teknolojilere entegre olması, tarımın verimliliğini artırabilir ve ekonomiye katkı sağlayabilir. Bu nedenle, bilgisayar ve yazılım teknolojilerinin tarım sektöründe kullanımı, gelecekte tarımın daha rekabetçi ve sürdürülebilir bir şekilde yapılmasına olanak tanır. Bu hem çiftçilere hem de tüketicilere fayda sağlayabilir ve tarımın uzun vadeli başarısına katkıda bulunabilir.

Bu çalışmada soğan ve sorgum bitkisi tohumların tekdüze ve hassas ekiminin gerçekleştirilmesi için düşey plakalı ekici düzenin;

- Farklı plaka dönü hızları (U1, U2, U3),
- Plakadan tohum borusuna düşme noktası açıları (D1, D2, D3),
- Farklı tasarımlarda yuva şekilleri (X trapez, Y üçgen, Z oval) denemeye alınacaktır.

Bu parametrelerin ekim kalitesi açısından en uygun olanlarının belirlenmesi ve ekici düzenin ekim kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Araştırma, bilgisayar teknolojilerinin tarım makinelerinin tasarım ve üretiminde kullanılmasına örnek oluşturması açısından bilgisayar simülasyonları ve laboratuvar denemeleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

Akyurt ve Taub (1966) tarafından yürütülen bir araştırma sonuçlarına göre, mekanik hassas ekici düzenlerde disk üzerindeki tohum yuvası derinliğinin, tohum çapından %10 fazla olması gerektiği bildirilmiştir.

Acar (2001), pnömatik hassas ekim makinaları ile yaptığı çalışmada mısır, ayçiçeği, soya, kaplanmış ve kaplanmamış şeker pancarı tohumlarının hangi vakum değerinde, ekici plakanın hangi delik çaplarında ve çevre hızı değerinde deliklere tutunabileceğini belirlemiştir. Denemelerde; tohumların tutulduğu deliklerin çapları, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5 ve 7 mm, vakum seviyeleri -4, -6, -8, -10, -12 ve -14 kPa ve ekici delikli plakanın çizgisel hız değerleri 0.25, 0.38, 0.55 ve 0.79 m/s olarak seçilmiştir. Tohumlar küçük delik çaplarında genel olarak daha yüksek vakum ve düşük ekici plaka hızı sağlandığında deliklere tek tek tutunabilmiştir. Ekici plakanın yüksek hız değerlerinde ve vakum seviyesi düşürüldüğünde tohumların deliklerde tutunması zorlaşmıştır. Delik çapları büyüdüğünde ise deliklere iki veya daha fazla tohum tutunmuştur.

Karayel ve Özmerzi (2001) yaptıkları çalışmada hava emişli bir hassas ekici düzen ile hıyar ve kavun ekiminde ilerleme hızı ve sıra üzeri uzaklığın ekim kalitesi üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Laboratuvarında yaptıkları denemeler 4 farklı ilerleme hızı (0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s) ve üç farklı sıra üzeri uzaklıkta gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ilerleme hızı ve sıra üzeri uzaklığın istatistiksel olarak ekim kalitesini etkilediği ve her iki tohum içinde en iyi ekim kalitesinin 1.0 ve 1.5 m/s ilerleme hızlarında elde edildiği saptanmıştır.

Uygan ve Güler (2005), pnömatik ekim makinalarında, farklı tip dağıtma başlıklarında hava hızının ekim normunun akış düzgünlüğüne etkisini incelemiştir. Üç farklı (T, Huni ve Y biçimli) dağıtma başlığı ve 26 m/s, 31 m/s, 36 m/s'lik hızlarda denemeler gerçekleştirilmiştir. Tohum olarak buğday, arpa ve çavdar kullanılmıştır. Her bir tohum için üç farklı ekim normu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre pnömatik makinelerde en uygun başlık tipinin T başlık olduğu kanaatine varılmıştır. 26 m/s hava hızında her üç tohumda da akış düzgünlüğü kabul edilebilir aralıklardadır. Ayrıca akış düzgünlüğünün, hava hızı ile ters, ekim normuyla ise doğru orantılı olduğu bildirilmiştir.

Özgüven vd. (2005) yaptıkları çalışmada soğanın sırta ekim olanaklarını araştırmışlardır. Ekim işlemi tek sırt, çift sırt ve düze ekim olarak gerçekleştirilmiştir. Düze ekilen soğanlar büyük sınıfında, sırta ekim yapılan soğanlar çok büyük sınıfında yer almışlardır. Yüksek verim, düşük mekanik zedelenmeye sahip ve aynı zamanda makinayla ekim ve hasada en uygun yöntemin tek sıra sırta ekim olduğu kanaatine varılmıştır.

Barut ve Çağırğan (2006) yaptıkları bir çalışmada, geleneksel ve koruyucu toprak işleme koşullarında, kaplanmış ve çıplak susam tohumlarının hassas ekim başarısını değerlendirmiştir. Ekim başarısını belirlemek için ekim işlemi sonrası tohum dağılımına ait ikizlenme oranı, boşluk oranı, kabul edilebilir tohum aralığı oranı yanında tarla filiz çıkışı değerleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, susam tohumlarının kaplanması tohumların tarla filiz çıkışını olumsuz etkilemiş bu da sıra üzerindeki

boşlukları arttırmıştır. Kaplı ve çıplak susam tohumlarının her ikisi de koruyucu toprak işleme uygulanan parsellerde daha kısa sürede çimlenmiştir.

Sevim (2006) yaptığı çalışmada Çizelge 2.1’de yer alan soğan (Texas Early Grano) tohumuna ait bazı aerodinamik ve fiziksel özellikleri belirlemiştir. Kullanılan tohum çeşidinin aynı olması nedeni ile bu araştırmadaki bazı değerler simülasyonda tohum özelliklerinin tanımlanması için referans olarak alınmıştır.

Çizelge 2.1 Soğan tohumu kritik hız, statik sürtünme ve kırılma direnci değerleri (Sevim 2006)

	Örnek Sayısı (adet)	Nem İçeriği (%k. b)			
		7.75	14.00	20.50	22.30
Kritik Hız (m/s)	20	3.835±0.156	4.045±0.035	4.165±0.148	4.206±0.095
Statik Sürtünme Katsayısı					
Galvaniz	50	0.516±0.037	0.556±0.03	0.590±0.030	0.618±0.020
Kontrplak	50	0.526±0.011	0.577±0.011	0.643±0.009	0.723±0.026
Plastik	50	0.559±0.019	0.608±0.027	0.646±0.013	0.665±0.031
Kırılma Direnci (N)	50	8.761±0.576	7.199±0.514	7.005±0.378	6.592±0.542

Karayel (2007), yaptığı araştırmada, laboratuvarda yapılan ekim makinası denemelerinde, sıra üzeri tohum dağılımını belirlemede kullanılan optik algılayıcı ve yüksek hızlı dijital kameralı ölçme sistemlerini karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre soya tohumu kullanıldığında her iki sistem arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir, buğday tohumu kullanılarak yapılan denemelerde sadece 40 d/d makara devrinde oluşan 110 tohum/s’lik tane atım frekansı için ölçüm sistemleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak %1 önem düzeyinde önemlidir. Optik algılayıcı ölçme sisteminde, tüm makara devirlerinde, kameralı ölçme sistemine göre daha yüksek ölçme hatası oluşmuştur.

Hacıseferoğulları vd. (2007) tarafından yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre, düşey diskli mekanik hassas ekim makinesinin ekim başarısı, kaplanmış ve kaplanmamış şeker pancarı tohumları için farklıdır. Kaplanmamış tohumda sıra üzeri varyasyon katsayısı %27.56 ile %73.60 arasında farklılık gösterirken, kaplanmış tohumda bu değerler %9.36 ile %59.63 arasında değişmiştir. Disk çevre hızına doğru orantılı olarak boşluk oranı artmıştır. Mekanik hassas ekim makinesi ile kaplanmamış tohumda 9.34 cm’lik sıra üzeri mesafede, kaplanmış tohumlarda ise 4.80, 7.47 ve 9.34 cm sıra üzeri mesafelerde, ekim makinesi ilerleme hızının 1.5 m/s’yi aşmayacak şekilde ekim işleminin gerçekleştirilmesi önerilmiştir.

Üçer ve Yalçın (2008)’a göre ekim düzgünlüğü, ekim makinelerinin sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğü ölçülerek belirlenebilir. Yapılan araştırmalarda sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğünü belirlemek için tarla ve laboratuvar denemeleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemler ise; toprak kanalı, tartım yöntemi, ultrasonik sayıcı, fiber optik sensörler, yapışkan sonsuz bant yöntemi, optik sensörler yöntemi, fotosel algılama ve kameralı ölçme yöntemleridir. Sonuç olarak; sıra üzeri tohum dağılım

düzensizliğinin belirlenmesinde açıklanan bütün sistemler güvenilir bir şekilde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Moralar (2011), üniversal ekim makinelerinin transmisyon sistemleri üzerinde yaptığı çalışmada, mevcut sistemin üzerinde farklılıklar yaparak yeni bir transmisyon sistemi geliştirmeye çalışmıştır. Her iki sistem için laboratuvar denemeleri gerçekleştirilmiştir. Farklı ekim normlarında mil hızının tohum dağılım düzensizliğine etkisini belirlemek için bulunan veriler 3 tekerrürlü (2x3x8) faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Ayrıca 0.05 önem seviyesinde LSD testi ile kontrolü yapılmıştır. Yeni sistemde ekici mil çıkış hızındaki sapmalar azaltılmıştır. Böylelikle tohumların sıra üzeri mesafede sapması azalmıştır.

Önal ve Ertuğrul (2011), yaptıkları çalışmada küçük taneli kapsız soğan, kapsız havuç, kaplı ve kapsız kanola kullanmıştır. Soğan tohumu için, bütün ilerleme hızlarında 1, 2 ve 3 tohumlu şeritlerin yüzdesi “orta” düzeydedir. Ancak soğan tohumu denemelerinde 1 m/s ilerleme hızında kısmen düzensiz tohum dağılımı gözlenmiştir. Tohumların düşük ekim normunda (120, 120, 240, ve 220 g da⁻¹) düzensiz bir tohum akışı sağlamıştır. Düşük ekim norm değerlerinde “orta-iyi” kalitede sıra üzeri tohum dağılımını sağlanabilmiştir.

Zhao vd. (2017), mekanik hassas bir pirinç ekim makinesinin ekim kalitesini incelemiştir. Bilgisayar ortamında simülasyonlar üzerinde yapılan incelemelerde CATIA ve EDEM yazılımları kullanılmıştır. Tohum deposu içerisinden ekici kaşıklar tohum alırken tohum doldurma kuvveti incelenmiş ve depo içerisinde bulunan pirinç tohumunun hareket durumunu 6 farklı hızda incelenmiştir. Simülasyon ve laboratuvar denemelerinin birbiri ile tutarlı olduğu bildirilmiştir. Denemelerde en iyi performans ekici kaşıkların 40 d/d devrinde gerçekleşmiştir. Yapılan denemelerin bir sonraki denemelerde referans olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Karayel (2018) tarafından, tohum borusu içerisinde tohum akışının bozulmaması için tohum boruları ve gömücü ayaklarda yapılan iyileştirmeler ve bunların sıra üzeri dağılım üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kademeli (V kanallı) gömücü ayak ile helezonlu tip tohum borusu özellikleri belirlenip, kademeli gömücü ayağın tohum dağılımına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kademeli gömücü ayağın, tahıl ekim makinalarında sıra üzeri varyasyon katsayısını ve tohumların düşme hızını önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır. Ancak geliştirilen gömücü ayağın özel bir konstrüksiyon gerektirmesi ve diskli gömücü ayaklar gibi farklı gömücü ayaklara entegre edilebilmesinin zor olması nedeniyle alternatif bir çözüm olarak helezonlu tip tohum borusu geliştirilmiştir.

Karagülmez vd. (2018) yaptıkları çalışmada yatay plakalı hassas ekici düzende bazı çalışma parametrelerinin sıra üzeri tohum dağılımına etkisini araştırmışlardır. Yapılan denemelerde üç farklı hız, üç farklı düşme noktası ve üç farklı anma mesafesi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ilerleme hızı ve düşme noktası arttıkça kabul edilebilir tohum oranının azaldığı belirlenmiştir. Kullanılan üç ayrı plakalı ekimde makine ilerleme hızı arttıkça boşluk oranının arttığı, ikizleme oranının azaldığı kanaatine varılmıştır.

Özenç (2018), yaptığı çalışmada küçük tohumların ekimi için el ile çekilebilir bir ekim makinası imalatı yapmıştır. Yapılan ekim makinası tarla koşullarında soğan tohumu kullanılarak test edilmiştir. Tarla denemeleri 0.5, 1.0, 1.5, m/s ilerleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Tohumların yatayda ve düşeyde yaptıkları dağılımlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; tohum dağılımı açısından ekim makinasının 1.0 m/s'lik ilerleme hızında hareket ettirilmesinin uygun olacağı belirlenmiştir. Ekim makinasının ilerleme hızının soğan tohumlarının tarla filiz çıkış oranı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu, tarla filiz çıkış oranının %77-78 aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Aktaş (2018), yaptığı çalışmada normal ekim makinelerinin ekici düzenden ayrıldıktan sonra tohum borusunda serbest düşme hareketi ile çiziye düşerken çiziden sapma oranını azaltmak için tohum borusu çıkış noktasına helezonlu boru yerleştirilerek tohum akışını düzeltmeye çalışmıştır. Çalışmada tohum borularının yatayla yaptığı üç farklı açı, boru içerisine yerleştirilen helezonun üç farklı uzunluğu ve helezonun üç farklı hatve boyutunda Solidworks katı modelleme yazılımında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre tohum borusu en iyi değerler baz alınarak üç boyutlu yazıcıdan imal edilmiştir. Laboratuvar denemelerinde tohum akışı yüksek hızlı kamera ile kaydedilmiştir. Geleneksel tohum borusu ile %168.18 olan sıra üzeri uzaklık varyasyon katsayısı helezonlu boru ile %79.02'ye düşürülmüştür. Tarla denemelerinde ise sıra üzeri uzaklık varyasyon katsayısı %118.36'dan %77.2 'ye kadar düşmüştür. Tohumların çiziden sapma miktarı, helezonlu tohum borusu ile 1.52 cm'den 0.86 cm'ye kadar düşmüştür.

Marcinkiewicz (2019) ekici ünite tasarımları ile buğday tohumları kullanarak simülasyon denemeleri yapmıştır. Ayrık elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bu simülasyonlarda bitkisel materyalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile matematiksel temas modelleri kullanılmıştır. Simülasyonlarda en yüksek performans ekici düzenlerin 207.54 g/d tane atım hızında elde edilmiştir. Ayrıca, gerçek bir model kullanılarak yapılan doğrulama deneyi sonuçlarının simülasyonlar ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Li vd. (2020) tarafından ekim kalitesini farklı parametreler altında incelemek için kaşıklı çark tipi bir ekici düzenin simülasyon modeli kurulmuştur. Farklı hız ve açılarda denemeler yapmak için EDEM (Engineering Discrete Element Method) yazılımı kullanılmıştır. Simülasyon işlemi sonucunda hız arttıkça dozajlama indeksinin kademeli olarak azaldığı sonucuna varılmıştır. Test sonuçlarına göre ekici düzen devir sayısı 50 d/d ve eğim açısı 15° olduğunda kabul edilebilir bir ekim performansı sağlanabilmiştir. Genel olarak simülasyon denemeleri ile saha denemelerinin tutarlı olduğu öne sürülmüştür.

Boac vd. (2009) tarafından bazı tahıl ve yağlı tohumların deneysel araştırmaları ekonomik olmadığı ve zaman alıcı olduğu için ayrık elemanlar yöntemi (DEM) kullanarak tohumlar için belirli incelemeler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda tohumların; tane şekli, tane boyutu ve dağılımı, poisson oranı, kayma modülü, yoğunluk, etkileşim, elastiklik katsayısı, statik sürtünme katsayısı ve yuvarlanma sürtünme katsayısı gibi değerler belirlenmiştir. Çizelge 2.2'de sorgum tohumlarına ait belirlenebilen parametre değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Sorgum tohumlarının bazı fiziksel özellikleri (Boac 2009).

Parametreler		
Nem İçeriği (%) wb		9.2-11.2
Partikül Uzunluğu (mm), l		4.3-4.5
Partikül Genişliği (mm), w		4.1
Partikül Kalınlığı (mm), h		2.8-3.4
Partikül Eşdeğer Çapı (mm), d _e		3.5
Partikül Yarıçapı (mm ³), r _e		1.8
Partikül Kütlesi (mg), m		28-33.2
Partikül Hacmi (mm ³), V		24.7
Partikül Yoğunluğu (kg/m ³), ρ _e		1220-1344
Yığın Yoğunluğu (kg/m), ρ _b		643.5-775
Partikül Statik Sürtünme Katsayısı, μ _s	Öz ile (tahıl)	0.65
	Çelik (paslanmaz çelik)	0.37
Yığın Statik Durma Açısı (derece)	Doldurma için	20
	Boşaltmak için	33

Tarım makinelerinin çalışma performansını ve verimliliğini artırmak ve modern tarımın üretim gereksinimlerini karşılamak için tarım makinelerinin ve bunların bileşenlerinin sürekli olarak geliştirilmesi gerekmektedir (Gilandeh vd. 2020, Yezekyan vd. 2021). Teorik analiz, sayısal hesaplama ve deney, tasarım ve optimizasyon süreçlerinde en sık kullanılan üç yaklaşımdır (Zeng vd. 2017). Bilgisayar simülasyonları maliyet ve zamandan tasarruf sağlaması yanında çevre koşullarından da bağımsız olması nedeniyle deneysel çalışmalara göre büyük avantajlar sağlamakta ve bu nedenle son yıllarda tarım makineleri araştırmalarında popüler bir şekilde kullanılmaktadır (Horabik ve Molenda 2016, Zeng vd. 2020). Genel olarak benimsenen iki bilgisayar simülasyon yöntemi bulunmaktadır. Bunlar sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ve ayırık elemanlar yöntemidir (DEM). Sonlu elemanlar yöntemi çoğunlukla sürekli ortamların araştırılmasında kullanılmıştır. Ancak toprak parçacıkları ve tohumlar gibi çoğu tarımsal malzeme ayırıktır. Bu nedenle, tohum gibi mekanik ayırık sistemlerin analizi için sayısal bir hesaplama yaklaşımı olan ayırık elemanlar yöntemi ekim makinası gibi birçok tarım makinesi araştırmalarında kullanılmaktadır (Nematollahi vd. 2021).

Lei vd. (2016) pnömatik ekim makinalarında, hava destekli ekici ünitenin hava-tohum akışının sayısal bir modellemesini ayırık elemanlar yöntemi (DEM) ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemlerini bir arada uygulanarak simüle etmiştir. Bu modelde ayırık parçacıklar fazı EDEM yazılımı ile uygulanmış, sürekli gaz fazı ise ANSYS Fluent yazılımı ile açıklanmıştır. Simülasyon sonuçları, hava akışı hızı ve yönünün tohum hızını etkilediği, ayrıca ekici düzen tohum besleme hızının da tohum akışında etkili olduğunu ortaya koymuştur. Uygun hava hızı kolza ve buğday tohumları için sırasıyla 16–20 m/s ve 20–24 m/s'dir. Araştırma sonuçları, DEM-CFD bir arada kullanma yaklaşımının, hava akışı alanındaki tohum hareketini anlamada güvenilir olduğunu göstermiştir.

Marcinkiewicz vd. (2021) dört farklı ekim makinasının performansını değerlendirmek için ayırık elemanlar yöntemine (DEM) dayalı simülasyon sistemlerini kullanmışlardır. Araştırmada sanal araştırma modellerinin tanıtımı yapılmış ve tohumlar arasındaki ve tohumlar ile ekim makinası malzemesi arasındaki sürtünmeyi ortaya koymak için kullanılan matematiksel modeller açıklanmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçların doğrulanması amacıyla, bilgisayar ortamında oluşturulan tasarımların gerçek modelleri kullanılarak doğrulama denemeleri yapılmıştır. Araştırma sonucunda, gerçek modeller kullanılarak yapılan doğrulama denemeleri ile simülasyon sonuçlarının tutarlı oluşu bildirilmiştir.

Lei vd. (2021) ekim işleminin DEM simülasyonuna dayalı olarak ölçülemeyen kısımlarını incelemiş ve tohum dağıtım düzgünlüğünü belirlemek için laboratuvar testleri kullanmıştır. Çalışmada tohum borusunun tipi ve çapı, tohum düşme yüksekliğinin ve ilerleme hızının tohum hareket özellikleri ve ekim performansına etkisi araştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, tohum borusunun çapının ve tohum bırakma yüksekliğinin tohumların dağılım düzgünlüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. 15 mm'lik tohum borusu çapı ve 110 mm'lik tohum düşme yüksekliği için, tohum dağılımı düzgünlüğü varyans katsayısı %15'den düşüktür. Tohum ile dağıtım borusu arasındaki çarpışma ve sıçrama, tohum hareket yörüngesini değiştirerek, tohum hızında değişikliklere ve tohum dağılım düzgünlüğünde azalmaya neden olmuştur. Araştırma sonuçları, tohum dağılım düzgünlüğünün değişkenliğinin nedenlerine ilişkin bilgilerin geliştirilmesine ve merkezi dağıtıcı tip ekici düzenlerin tasarım parametrelerinin optimize edilmesine katkı sağlamıştır.

Çelik ve Akıncı (2012)'e göre tarım alet ve makinelerinin tasarımında bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve mühendislik uygulamalarının önemi, tasarım sürecinde hız, doğruluk ve özelleştirme açısından önemlidir. CAD teknolojisi, tasarımcılara karmaşık makinelerin 2D ve 3D modellerini hızlı bir şekilde oluşturma, analizler yapma ve prototipler geliştirme yeteneği sunmaktadır. Bu sayede, ihtiyaçlara uygun optimize edilmiş makineler daha hızlı bir şekilde tasarlanabilir ve üretilebilir. Ayrıca, CAD, özel ihtiyaçları olan çiftçiler veya tarım uygulamaları için kişiselleştirilmiş makinelerin tasarımını kolaylaştırarak tarım sektöründe verimliliği ve çeşitliliği arttırmaktadır. Bu teknolojiler, tasarım sürecini dijitalleştirerek verilerin saklanması ve paylaşılmasını kolaylaştırır, böylece iş birliğini teşvik eder. Sonuç olarak, bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik uygulamaları, tarım sektöründe daha iyi tasarımların oluşturulmasına, üretkenliğin artırılmasına ve özel ihtiyaçların karşılanmasına önemli katkılarda bulunur, bunun da sektörün rekabetçiliğini ve sürdürülebilirliğini arttırdığı belirlenmiştir.

3. MATERİYAL

Denemelerde Şekil 3.1.'de görülen soğan ve sorgum tohumları kullanılmıştır. Tohumlar kumpas ve hassas terazi (0.001 g) yardımı ile ölçülerek tohumlara ait bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir.



a)



b)

Şekil 3.1.Denemelerde kullanılan tohumlar; **a)** soğan **b)** sorgum

Tohumlara ait fiziksel özellikler belirlenirken çok sayıda tohum içerisinde rastgele 100 adet tohum seçilerek ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalaması ve standart sapması hesaplanarak Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Tohumlara ait geometrik çap ve küresellik değerleri Yağcıoğlu (1996) tarafından önerilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Statik sürtünme ve doğal yığılma açıları ise Alayunt (2000) tarafından yapılan bir araştırmada kullanılan yöntemle göre belirlenmiştir.

$$D_0 = (L \cdot W \cdot T)^{1/3} \quad (3.1)$$

$$\Phi = D_0 / L \quad (3.2)$$

Burada;

D_0 : Tohuma ait ortalama geometrik çap (mm),

L : Tohuma ait uzunluk değeri (mm),

W : Tohuma ait genişlik değeri (mm),

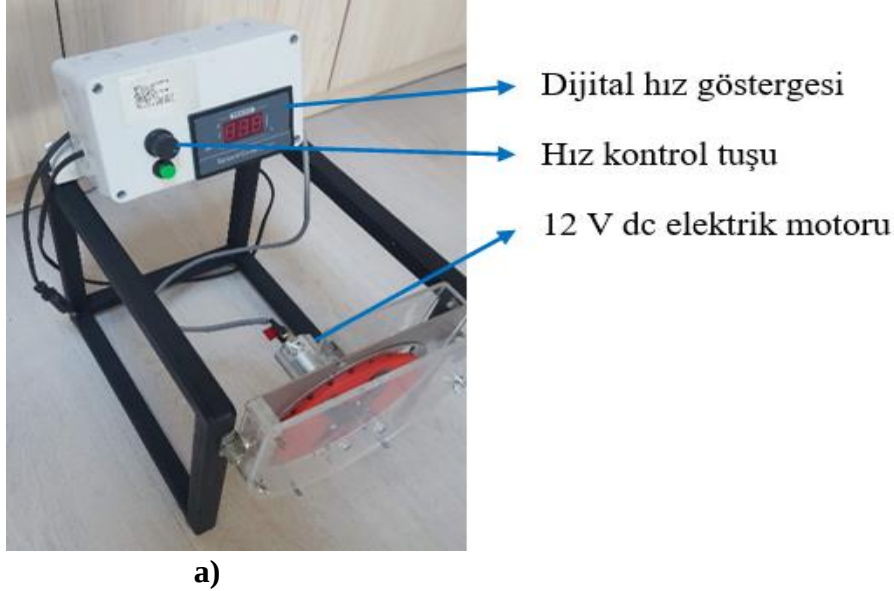
T : Tohuma ait kalınlık değeri (mm),

Φ : Küresellik, %

Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan tohumların bazı fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Örnek Sayısı (adet)	Tohumlar	
		Sorgum	Soğan
		Ort. $\pm$ SS	Ort. $\pm$ SS
Genişlik (mm)	100	3.355 $\pm$ 0.273	1.463 $\pm$ 0.183
Kalınlık(mm)	100	2.302 $\pm$ 0.259	2.104 $\pm$ 0.168
Uzunluk(mm)	100	4.172 $\pm$ 0.390	2.927 $\pm$ 0.194
Nem İçeriği (db)	-	11.167	9.183
Geometrik Çap	100	229.635	434.258
Küresellik (%)	100	76.23	70.28
Bin Dane Ağırlığı (g)	1000	20	3.63
Doğal Yığılma Açısı (°)	-	33	31.5

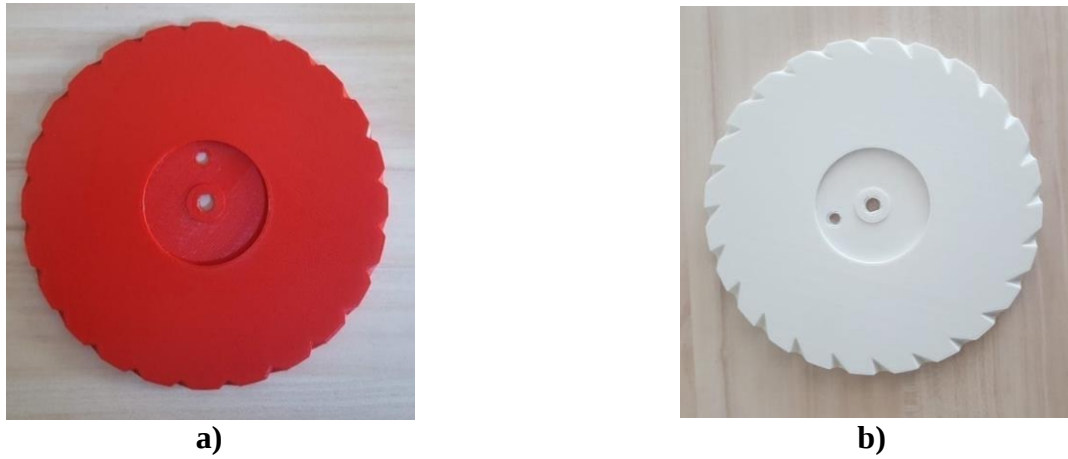
Bilgisayar ortamında yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen verilerin laboratuvar şartlarında doğrulamasını yapmak için simülasyon ile aynı boyutlara sahip bir laboratuvar tipi ekici düzen Şekil 3.2’de olduğu gibi imal edilmiştir. Laboratuvar tipi ekici düzen, tohum deposu, tohum deposu içerisine yerleştirilen düşey plaka, plakaya hareketini sağlayan 12 volt DC motor, motorun devrini kontrol eden elektrik panosu ve şaseden oluşturulmuş ve kompakt bir şekilde imal edilmiştir.





Şekil 3.2. Laboratuvar tipi ekici düzen. **a)** genel görünüş, **b)** ön görünüş, **c)** yan görünüş, **d)** tohum düşme noktası ayar plakası

Düşey plaka üç boyutlu yazıcı kullanılarak Şekil 3.3'te görüldüğü gibi üretilmiştir. Bu plakalar motor miline kama kanalı ile monte edilmiş ve sıkıştırma aparatları ile de tohum deposu yan yüzeyine bastırılarak plaka ile tohum deposu yan yüzeyi arasında tohum girmesi engellenmiştir. Üç boyutlu yazıcılarda (Şekil 3.4 ve Çizelge 3.2) 130 mm çapında basılan ekici plakalar için yapı malzemesi olarak PLA filament kullanılmıştır. Ekici plakalar ± 0.1 mm hassasiyette, %20 doluluk oranı ve 0.1-0.4 mm katman kalınlığında üretilmiştir.



Şekil 3.3. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen ekici plakalar; **a)** soğan **b)** sorgum



Şekil 3.4. Ekici plakaların imalatı için kullanılan yazıcı

Çizelge 3.2. Üç boyutlu yazıcının teknik özellikleri

Marka / model	Ender 3 pro 3D
Baskı Hacmi	220 x 220 x 250 mm
Nozzle	Tek, 0.4mm
Filament Çapı	1.75mm
Yatak Sıcaklığı	110°C
Maksimum Baskı Hızı	180 mm/s
Katman Çözünürlüğü	0.1- 0.4mm (100-400 mikron)
Bağlantı	SD kart okuyucu
LCD Ekran	Evet
Baskı Hassasiyeti	+/- 0.1mm

Ekici düzende tohumun tohum borusuna düşme noktası, tohum plakası arkasında ve depo yan yüzeyi üzerinde hareket edebilen sürgülü kapak ile 90° ile 180° arasında ayarlanabilmektedir (Şekil 3.5).



a)



b)

Şekil 3.5. Laboratuvar tipi ekici düzen tohum düşme noktası; **a)** ön, **b)** arka görünüş

Simülasyonlar özellikleri Çizelge 3.3'te sunulan bir dizüstü bilgisayar ve Altair EDEM 2018 yazılımının 4.0.0 versiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmalarında ise Solidworks 2020 programının katı modelleme ve montaj modülleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Simülasyonlarda kullanılan dizüstü bilgisayar özellikleri

Marka	Monster
Modeli	Abra A7 V11.3
İşletim Sistemi	Windows 10 home pro 64 Bit
İşlemci	Intel i7-10750H-2.60GHz Turbo Boost ile 5.0GHz
Ekran	17.3" FHD 1920x1080 144Hz IPS Mat LED Ekran
Ekran Kartı	nVIDIA® GeForce® GTX1650 Ti 4GB GDDR6 128-Bit DX12
Ram	16GB DDR4 1.2V 2933MHz SODIMM
Depolama	500GB M.2 SSD (Okuma: 2400 MB/s- Yazma: 950 MB/s)

Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen doğrulama (verification) denemelerinde tohumlar arasındaki sıra üzeri mesafeyi belirlemek için ekici düzenden düşen tohumlar Şekil 3.6'daki SONY RX100 M5 yüksek hızlı kamera kullanılarak kayıt altına alınmıştır. Çizelge 3.4'te teknik özellikleri verilen kamera NTSC modunda 240, 480 ve 960 fps hızlarında yüksek hızlı görüntü kaydı yapabilmektedir.



Şekil 3.6. Yüksek hızlı kamera (Sony RX100 M5)

Çizelge 3.4. Yüksek hızlı kameranın teknik özellikleri

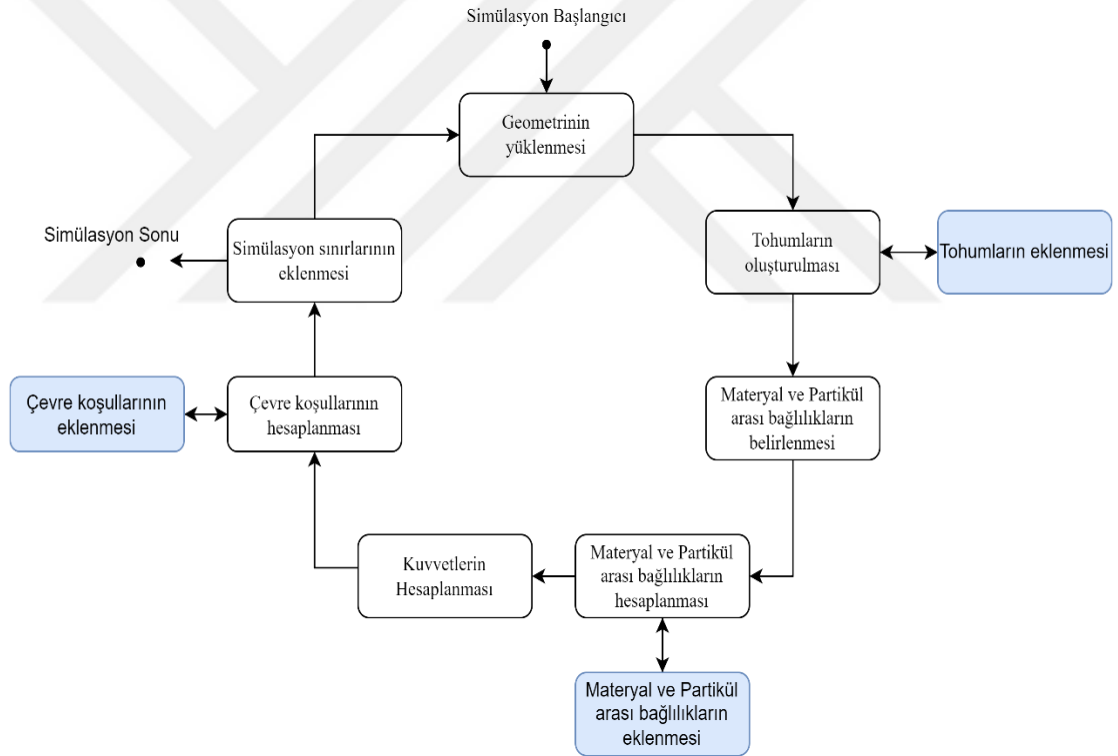
Marka	Sony
Model	Cybershot DSC RX100M5
Ekran Boyutu	3.0 inç
Çözünürlük	20- 21 MP
Dijital Zoom	11.0x
Optik Zoom	2.9x
Sensör Tipi	1.0 tipi (13.2 mm x 8.8 mm) Exmor RS® CMOS sensör, 3:2 en/boy oranı
Objektif Tipi	Zeiss Vario-Sonnar T* Lens, 9 grupta 10 parça (AA lens dahil 9 asferik parça)
Maksimum Diyafram Açıklığı	F1.8(W)-2.8(T)
Kayıt hızı	120-960 fps

4. METOT

Araştırma, bilgisayar ortamında yapılan simülasyon ve laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen doğrulama denemeleri olmak üzere iki aşamadan oluşmuştur. İlk olarak bilgisayar ortamında tasarlanan modellerin parametreleri belirlendikten sonra sanal ortamda simüle edilmiştir. Simülasyon koşullarında denemeye alınan farklı parametreler aşağıdaki gibidir;

- Tohum yuvası tasarımı,
- Tohum deposunda bulunan düşme noktasının farklı açılarda konumlandırılması ve,
- Ekici plakanın dönü hızı,

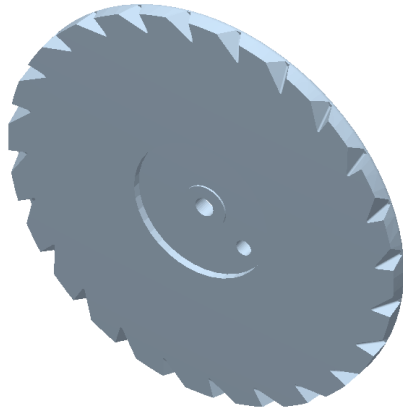
Algoritması Şekil 4.1.'de sunulan simülasyon denemelerinde elde edilen çıktılar değerlendirilmiş ve en iyi tohum dağılım düzgünlüğü sağlayan parametreler baz alınarak laboratuvar koşullarında doğrulama denemeleri gerçekleştirilmiştir.



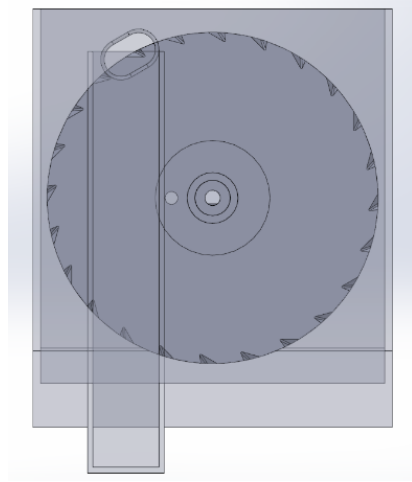
Şekil 4.1. Simülasyon algoritması

4.1. Model Tasarımı ve Simülasyon

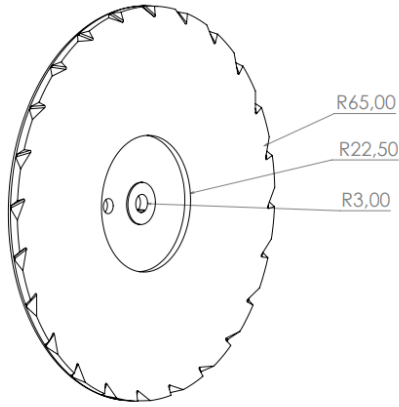
Solidworks katı modelleme yazılımı kullanılarak tasarlanan ekici plaka ve depo montajı Şekil 4.2'de sunulmuştur.



a)



b)

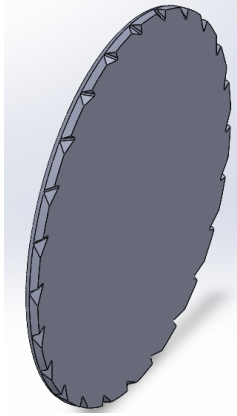


c)

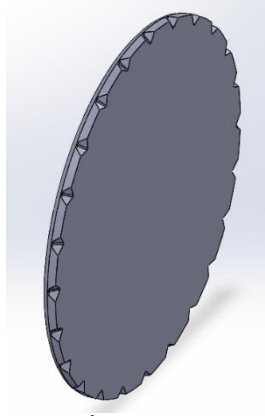
Şekil 4.2. Solidworks programı kullanılarak tasarlanan ekici plaka. **a)** Ekici plaka perspektif görünüşü, **b)** tohum deposuna montajı, **c)** plaka boyutları

Ekici düzen üzerinde bulunan 24 adet tohum yuvası Şekil 4.3'te trapez, ikizkenar ve oval olmak üzere üç farklı şekilde tasarlanmıştır.

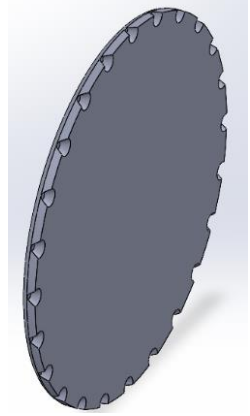
Tohum yuvalarının biçimi ile tohumların yuvaya tek tek alınması ve alındıktan sonra düşme noktasına kadar taşınması hedeflenmiştir. Hassas ekici düzenlerde her bir yuvaya birden fazla tohum alınmaması istenir veya fazla tohum alınmışsa bile tohum yuvası tasarımının etkisi ile birden fazla tohumun tekrar tohum deposuna düşmesi beklenir. Aynı zamanda, ekici düzen tohum deposunda düşük tohum seviyelerinde dahi tohum alabilmeli ve tohumlarda zedelenmeye neden olmamalıdır.



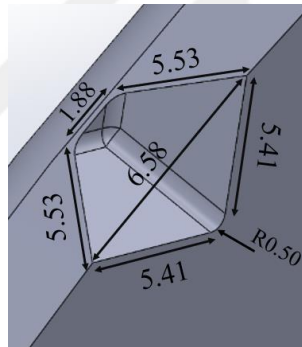
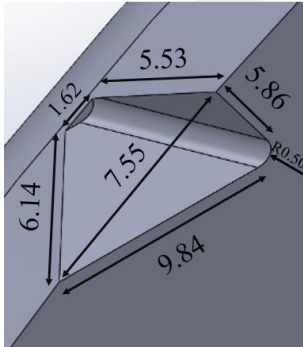
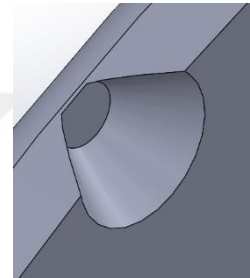
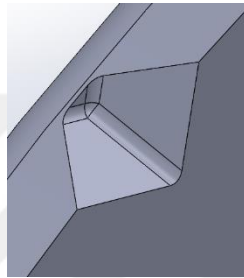
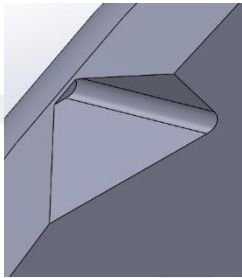
X (Trapez)



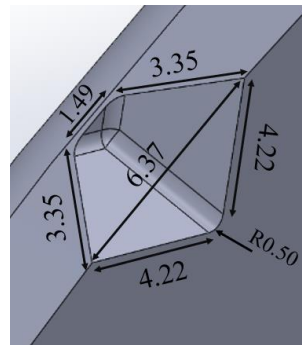
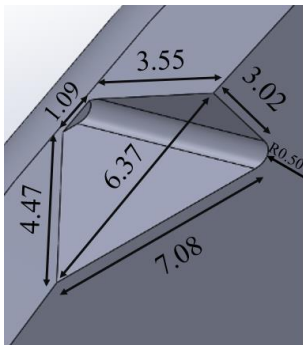
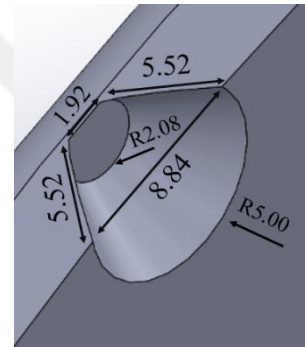
Y (İkizkenar)



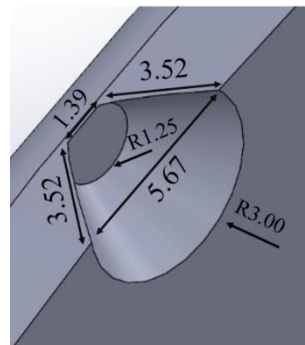
Z (Oval)



Sorgum plakası

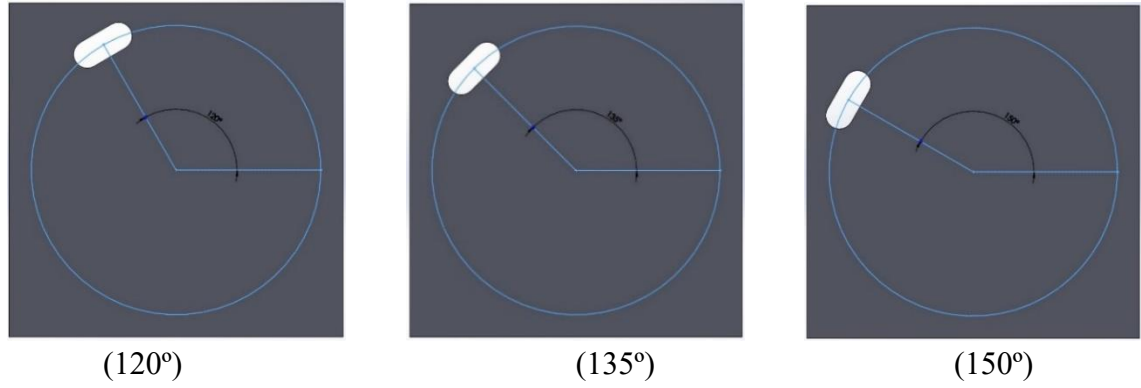


Soğan plakası



Şekil 4.3. Tohum plakası üzerindeki tohum yuvaları (X, Y, Z) ve boyutları

Tohumun tohum borusuna düşme noktası için yatayla üç farklı açı (120° , 135° ve 150°) değerlendirilmiştir (Şekil 4.4). Farklı açılarda deneme yapılarak tohumların en iyi ekim kalitesinin elde edildiği düşme açısının belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.4. Tohum düşme noktasının yatayla yaptığı açı

Her bir tohum için 9, toplamda 18 adet simülasyon, EDEM yazılımı kullanılarak, tohumların Çizelge 4.1’de sunulan özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bir simülasyonda tohumlar depoya dolduktan bir süre sonra ekici plaka sırasıyla 12, 24 ve 36 d/d dönü hızında çalıştırılmış, böylelikle üç hız denemesi bir adet simülasyon üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her hız için yeni bir simülasyon kurulmamış ve dolayısı ile tohumların depoya dolma süresi her simülasyonda beklenmemiştir. Hızlar arasında geçişler sağlandığında sistemin stabil olması için belirli bir süre beklenmiştir.

Çizelge 4.1. Simülasyon denemelerinde uygulanan faktörler ve seviyeleri

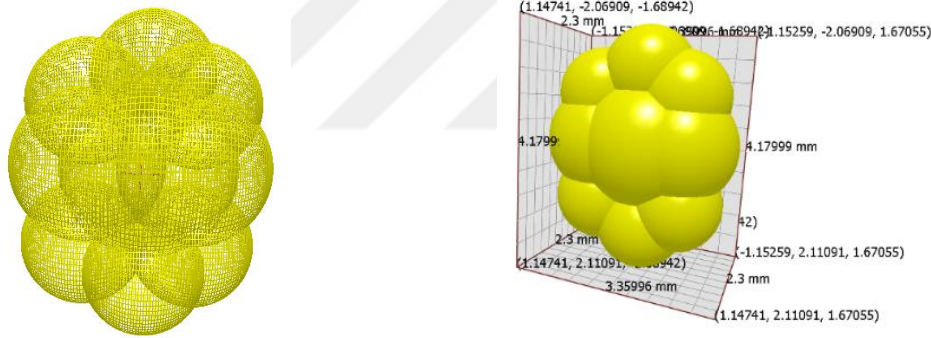
Faktör	Faktörlerin Seviyeleri								
Düşme Açısı (yatayla)	120°			135°			150°		
Yuva Biçimi	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Hız (d/d)	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Tohumlar, tohum boyutları ve şekilleri referans alınarak Solidworks katı modelleme yazılım programında tasarlanmıştır (Şekil 4.5).

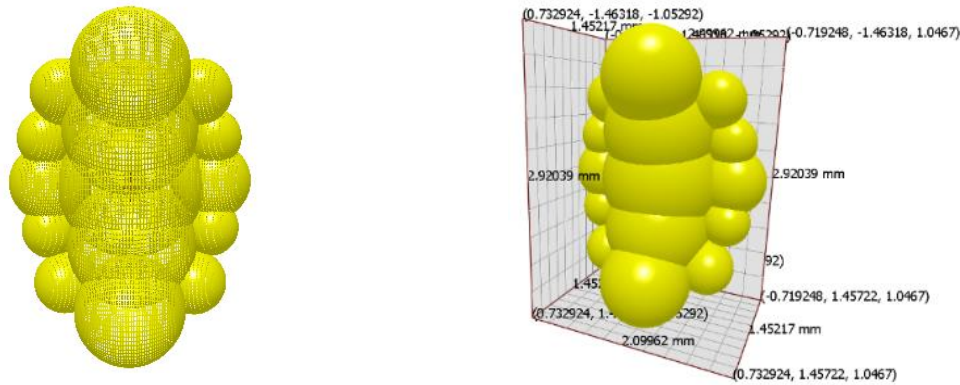


Şekil 4.5. Bilgisayar ortamında tasarlanan tohumlar; **a)** sorgum **b)** soğan

Katı modelleme programında çizilen tohumlar daha sonra simülasyon programına aktarılmıştır. Aktarılan tohumların gerçeğe yakın değerler sağlaması ve hesaplaması için Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki çoklu küre yöntemi kullanılmıştır. Çoklu küre yönteminde, merkez etrafında belirli çaplarda daireler eklenerek gerçek değere en yakın şekil oluşturulmuştur. Referans olarak Solidworks'te çizilen katı modeller ve simülasyon programının yardımcı ölçüleri referans alınmıştır. Çoklu küre yönteminde tanecik sayısı arttıkça detay artmakta, simülasyonun hesaplanması ve sonuçlanması aynı oranda güçleşmektedir. Bu nedenle tohum ölçülerine en yakın değerler en az küre ile oluşturulmaya çalışılmıştır. Tohumların oluşturulmasında kullanılan kürelerin fiziksel yarıçapları ve tohumların ağırlık merkezinin koordinatları Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.



Şekil 4.6. Simülasyon programında tasarlanan sorgum tohumu



Şekil 4.7. Simülasyon programında tasarlanan soğan tohumu

Çizelge 4.2. Simülasyon programında tohum tasarımı kullanan kürelerin fiziksel yarıçapları ve tohumların ağırlık merkezlerinin koordinatları

	Koordinatlar (mm)			
Küre	Eksen X	Eksen Y	Eksen Z	Fiziksel Yarıçap (mm)
Sorgum				
0	0.0107	0.9109	-0.7107	0.8
1	0.0023	-0.889	-0.7083	0.8
2	0.0023	-0.8891	0.6917	0.8
3	0.0022	0.9105	0.6893	0.8
4	-0.0024	-1.2391	0.0917	0.8
5	-0.0027	1.3109	0.0894	0.8
6	0.0015	-0.0882	0.6705	1.0
7	-0.0084	-0.0894	-0.6894	1.0
8	-0.0025	-0.089	0.0905	1.15
Soğan				
0	-0.0992	-0.0037	-0.0021	0.62
1	-0.0105	-0.4963	0.0088	0.55
2	-0.0081	-0.5034	-0.0114	0.56
3	0.2684	0.9972	0.0013	0.46
4	0.2729	-1.0031	0.0006	0.46
5	-0.2351	-0.0182	0.6966	0.35
6	-0.2234	0.0101	-0.7031	0.35
7	-0.1275	0.3817	0.6895	0.25
8	-0.1541	-0.4181	0.6892	0.25
9	-0.1444	0.4102	-0.6942	0.25
10	-0.1424	-0.3895	-0.7104	0.25
11	-0.0242	-0.7911	-0.5515	0.27
12	-0.0321	-0.8159	0.5584	0.27
13	-0.0077	0.8495	0.5484	0.28
14	-0.0265	0.8489	-0.5605	0.27
15	-0.1424	-0.3895	-0.7104	0.25

Simülasyonlarda kurulacak kontak modeller ve parametreler, Horabik (2016) tarafından yapılan çalışmada kullanılan eşitliklerden faydalanılarak belirlenmiştir.

Simülasyonlar için sorgum tohumuna ait fiziksel özellikler Çizelge 2.1, soğan tohumuna ait fiziksel özellikler ise Çizelge 2.2 deki gibi girilmiştir. Tohumların yoğunluğunu belirlemek için Eşitlik 4.1'den faydalanılmıştır (Pandiselvam 2014).

$$\rho_b = M/V \quad (4.1)$$

Burada;

ρ_b = Kütle yoğunluğu, kg.m^{-3}

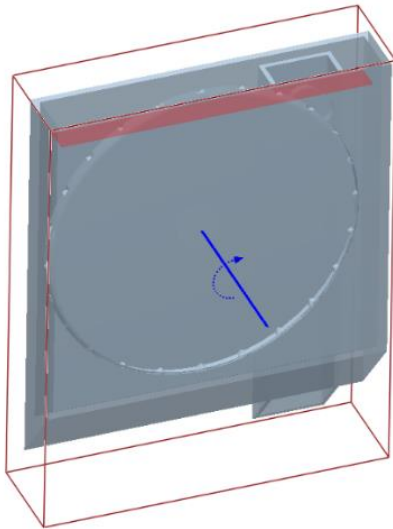
M = Malzeme kütlesi, kg

V = Kabın hacmi, m^3

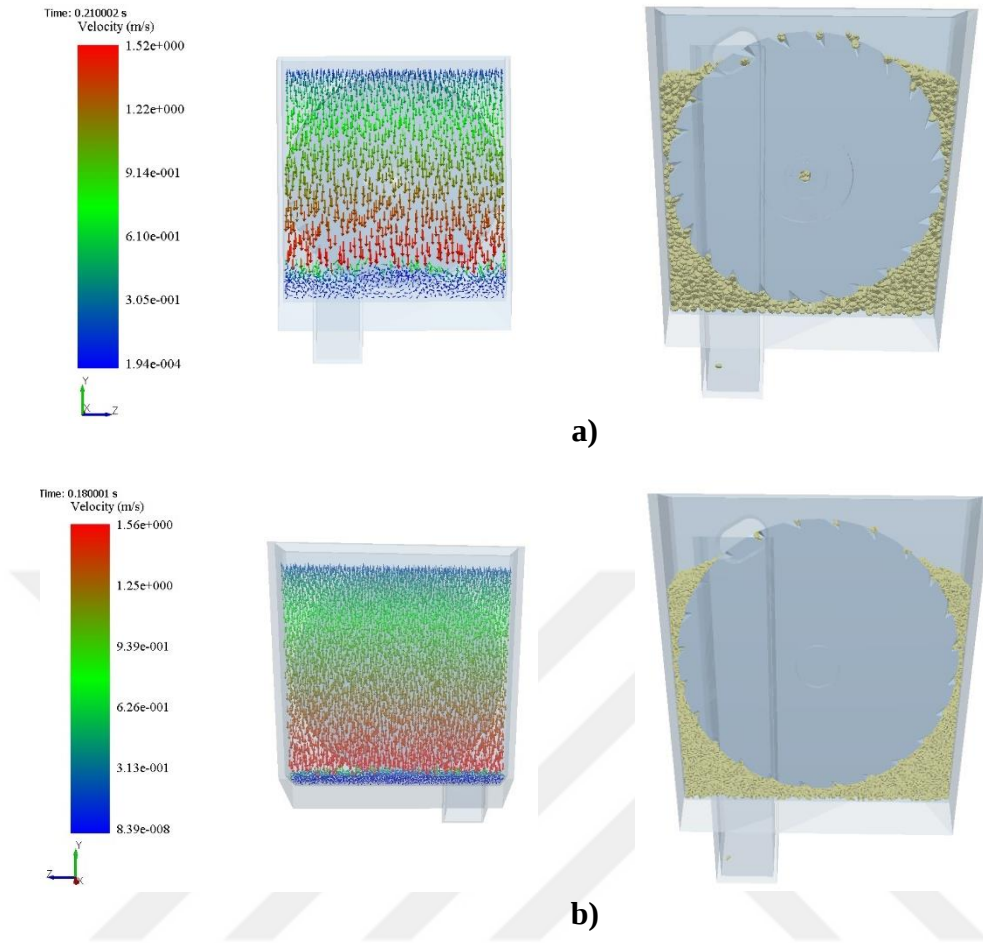
Çizelge 4.3. Simülasyon uygulamasında kullanılan tohumlara ait veriler

Parametreler	Soğan	Sorgum
Yoğunluk (ρ)	1439 kg/m^3	1344 kg/m^3
Poisson Oranı (ν)	0.35	0.35
Kayma Modülü (G)	10^8 Pa	10^8 Pa
Elastiklik Katsayısı	0.50	0.50
Statik Sürtünme Katsayısı	0.66	0.65
Yuvarlanma Sürtünme Katsayısı	0.01	0.01

Tohum özellikleri ve etkileşim değerleri belirlendikten sonra Şekil 4.8'deki gibi tohumların üretimi için sanal olarak bir fabrika oluşturulmuş, tohumların depoya dolacağı yükseklik, yön ve açısı belirlenmiştir. Daha sonra ekici plakanın hareket hızı, hareket zamanı (tohumlar depoya tamamen yerleştikten sonra) ve hareket yönü belirlenmiştir. Yer çekim ivmesi ve simülasyonun hangi ekseninde gerçekleşeceği belirlenip kaydedildikten sonra simülasyon Şekil 4.9.'deki gibi başlamıştır.



Şekil 4.8. Sanal fabrika ve ekici plaka dönü yönünün tanımlanması



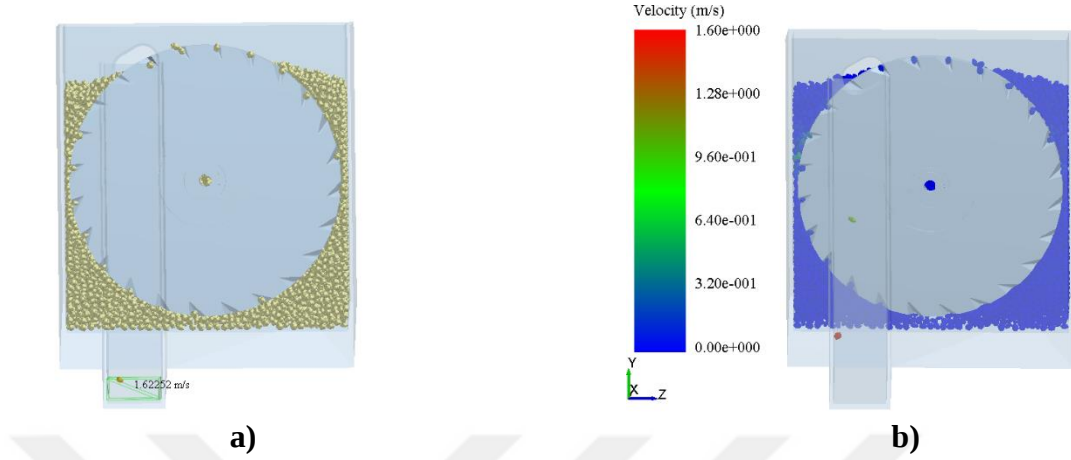
Şekil 4.9. Sorgum **a)** ve soğan **b)** tohumlarının depoya doldurulması ve simülasyonun başlaması

Tohumlar depoya dolduktan sonra ekici plaka belirlenen hızda dönmeye başlamıştır. Tohum yuvasına alınan tohumlar, Şekil 4.10'deki tohum borusuna düşme noktasından iletilmiş ve tohum borusundan ayrılmadan hemen önce sanal ortamda tohum borusu içerisine yerleştirilmiş olan sensör yardımı ile tohumlar arasında geçen süre belirlenmiştir.

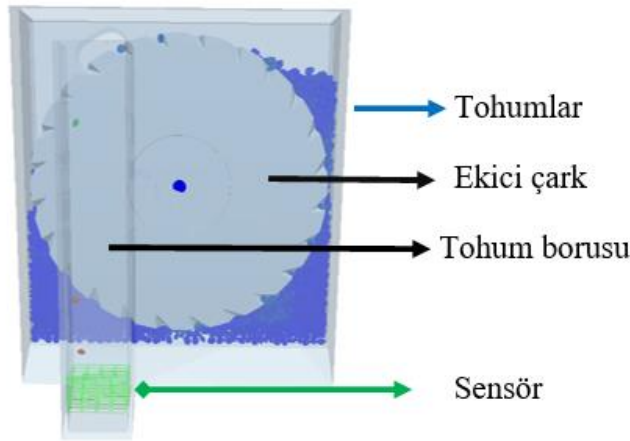


Şekil 4.10. Düşme noktasının konumu

Şekil 4.11 ve şekil 4.12’de tohum borusu çıkışına yerleştirilen sensör sayesinde tohumlara ait özellikler istenilen hassasiyette (süre, hız, potansiyel ve kinetik enerji vb.) ölçülebilmektedir.



Şekil 4.11. Tohumların düşme hızlarının ölçülmesi; **a)** sensör **b)** tohum



Şekil 4.12. Tohumlar arasındaki süreyi belirlemek için yerleştirilen sensör konumu

Teorik olarak ekici plaka bir devrini tamamladığı sürede makinanın teorik ilerleme hızına (1.0 m/s) bağlı olarak aldığı yol ve buna bağlı olarak oluşacak sıra üzeri uzaklık değerleri aşağıdaki eşitlik (4.2) ile hesaplanmış ve Çizelge 4.3’te sunulmuştur.

$$X = V \times \Delta t \quad (4.2)$$

X: Teorik sıra üzeri uzaklık

V: İlerleme hızı

t: Peş peşe düşen tohumlar arasındaki süre

Çizelge 4.4. Farklı plaka devir sayıları ve 1.0 m/s ilerleme hızındaki teorik sıra üzeri uzaklık değerleri

Ekici Plaka Devir Sayısı (d/d)	Sıra Üzeri Uzaklık (cm)
12	20.83
24	10.41
36	6.94

Simülasyon sırasında kaç adet tohum geçtiği ve tohumlar arasındaki süreler Şekil 4.11'deki sensör yardımıyla bulunup veriler MS Excel programına kaydedilmiştir. Ölçülen tohumlar arası süreler ile ilerleme hızının çarpılması sonucunda sıra üzeri uzaklık hesaplanmıştır. Elde edilen sıra üzeri uzaklıklar değerlendirilerek hassas bir ekici düzenin iyilik derecesini belirlemede kullanılan, varyasyon katsayısı (VK), boşluk oranı (BO), ikizleme oranı (İO) ve kabul edilebilir tohum aralığı oranı (KTA) değerleri 4.3'teki eşitlikler yardımı ile hesaplanarak belirlenmiştir.

$$\text{İO} = (\eta_0/N) \times 100$$

$$\text{BO} = (\eta_1/N) \times 100 \quad (4.3)$$

$$\text{KTA} = (\eta_2/N) \times 100$$

İO: İkizleme oranı (%),

BO: Boşluk oranı (%),

KTA: Kabul edilebilir tohum aralığı (%),

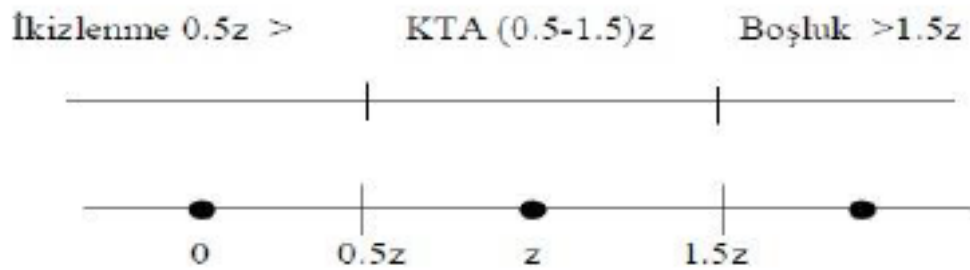
N: Toplam tohum sayısı (adet),

η_0 : 0.5 Z'den küçük tohum uzaklıklarının sayısı (adet),

η_1 : 1.5 Z'den büyük tohum uzaklıklarının sayısı (adet),

η_2 : 0.5-1.5 Z arasındaki tohum uzaklıklarının sayısı (adet).

z: olması gereken ardışık tohum uzaklığı





Şekil 4.13. Laboratuvar denemeleri

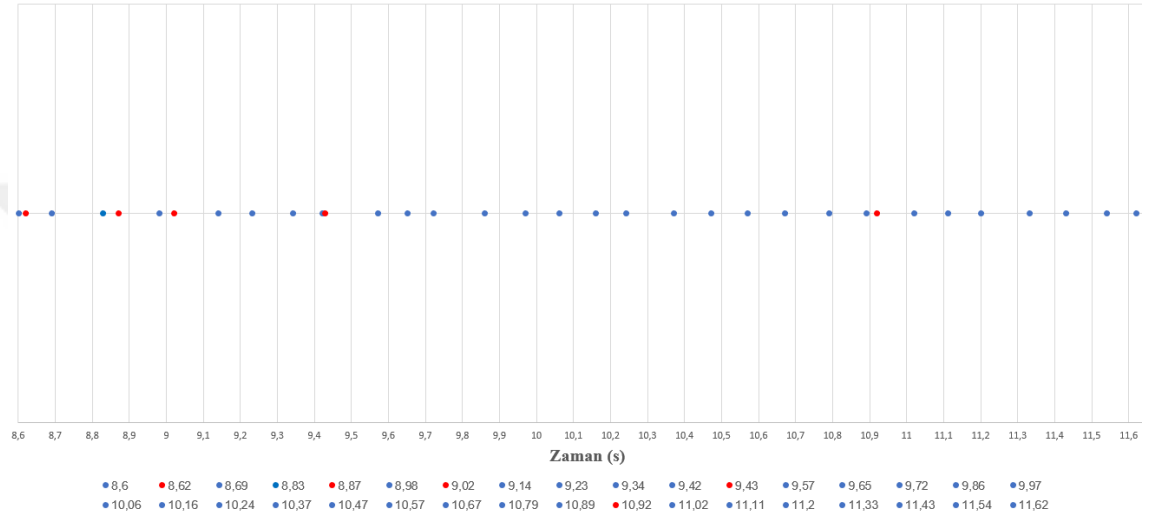
Laboratuvarda yapılan doğrulama denemelerinde öncelikle depo üzerindeki tohum düşme noktası simülasyonda belirlenen optimum açığa ayarlanmıştır. Daha sonra ekici plaka elektrik motorunun bağlı olduğu mile kama monte ile edilmiş ve sıkıştırma aparatları ile tutturulmuştur. Daha sonra hız kontrol ünitesi ile plaka dönü hızı ayarlanmıştır. Düzenek kapatılmış ve ardından tohumlar Şekil 4.13'teki gibi depoya doldurulmuştur. Kamera tohum borusunu görebilecek şekilde yerleştirilmiş, ardından kayıta başlanmış ve ekici düzenek çalıştırılmıştır.

Yapılan ön denemelerde tohum akışının kamera ile kaydı için 240 fps kayıt hızının yeterli olduğu belirlenmiş ve denemeler bu kayıt hızında gerçekleştirilmiştir. Yüksek hızlı kamera ile peş peşe düşen tohumlar arası süre belirlenip Eşitlik 4.2'deki gibi bu süre ile ilerleme hızı çarpılarak sıra üzeri uzaklıklar belirlenmiştir (Karayel 2007).

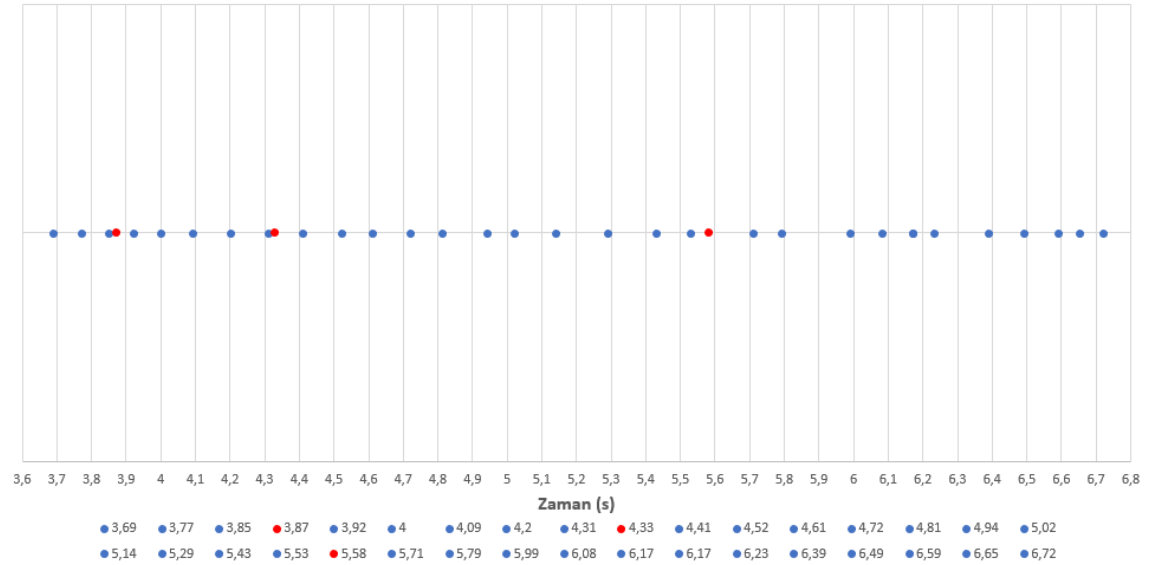
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Simülasyon sonuçları

Kurulan simülasyonlar üzerinde tüm veriler girildikten sonra sanal olarak bir tohum fabrikası oluşturulmuştur. Bu fabrika üzerinde birim zamanda oluşturulacak tohum miktarı belirlenmiş ve yerçekimi etkisi ile depoya doldurulmuştur. Ardından depo içerisinde bulunan ekici düzenek çalıştırılmıştır. Daha sonra analizler için tohum borusu çıkışına sanal bir sensör yerleştirilerek tohum borusundan düşen tohumlar arasındaki süreler ölçülmüştür (Şekil 5.1 ve 5.2).



Şekil 5.1. Simülasyonda sensör ile algılanan sorgum tohumları ve algılandığı süreler



Şekil 5.2. Simülasyonda sensör ile algılanan soğan tohumları ve algılandığı süreler

5.1.1. Sorgum tohumu ile yapılan simülasyon analizi sonuçları

Simülasyonda belirlenen tohumlar arasındaki süreler dikkate alınarak hesaplanan tohumların sıra üzeri tohum dağılımına ilişkin sıra üzeri uzaklık, varyasyon katsayısı, İO, BO ve KTA değerleri Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Sorgum tohumu ile yapılan simülasyon denemeleri sonucu elde edilen tohum dağılım düzgünlüğü değerleri

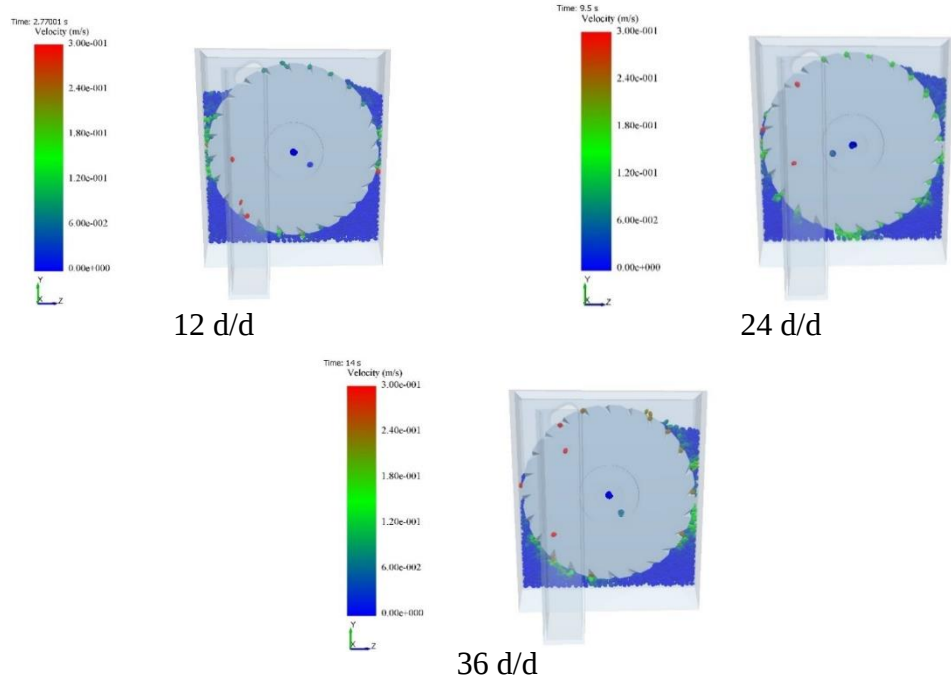
Açı (°)	Yuva	Dönü Hızı (d/d)	Tohumlar Arası Süre (sn)	Süre VK (%)	Sıra Üzeri Uzaklık (cm)	Sıra üzeri uzaklık VK (%)	İO	BO	KTA
120	X	12	0.207	12.21	20.7	12.21	23.3	3.4	73.3
		24	0.106	13.60	10.6	13.60	3.1	7.3	89.6
		36	0.058	25.12	5.8	25.12	0	27.3	72.7
	Y	12	0.216	26.01	21.6	26.01	8	28	64
		24	0.129	40.16	12.9	40.16	4.5	54.5	41
		36	0.065	35.2	6.5	35.2	0	71.8	28.2
	Z	12	0.203	13.87	20.3	13.87	5.3	33.3	61.4
		24	0.112	39.13	11.2	39.13	5	60	35
		36	0.065	35.2	6.5	35.2	0	67.9	32.1
135	X	12	0.220	26.3	22.0	26.3	0	45.5	54.5
		24	0.150	51.6	15.0	51.6	0	75	25
		36	0.070	36.6	7.0	36.6	0	87	13
	Y	12	0.250	60.1	25.0	60.1	0	75.1	24.9
		24	0.150	69.14	15.0	69.14	0	81	19
		36	0.075	47.45	7.5	47.45	0	86.7	13.3
	Z	12	0.225	24.8	22.5	24.8	0	53.3	46.7
		24	0.120	53.3	12.0	53.3	0	56.5	43.5
		36	0.070	60.6	7.0	60.6	0	86.7	13.3
150	X	12	0.250	64.73	25.0	64.73	0	78.7	21.3
		24	0.130	87.5	13.0	87.5	0	83.4	16.6
		36	0.060	88.7	6.0	88.7	0	84.5	15.5
	Y	12	0.240	64.03	24.0	64.03	0	81.2	18.8
		24	0.130	65.6	13.0	65.6	0	88.6	11.4
		36	0.071	66.8	7.1	66.8	0	90.5	9.5
	Z	12	0.230	81.14	23.0	81.14	0	64.7	35.3
		24	0.122	54.8	12.2	54.8	0	82.2	17.8
		36	0.061	88.32	6.1	88.32	3.33	83.3	13.37

Elde edilen sonuçlara göre 120° düşme açısında trapez (X) tohum yuvası tasarımı ile 24 d/d ve 12 d/d dönü hızlarında KTA değerleri sırası ile %89.6 ve %73.3 olarak gerçekleşmiştir. Aynı tohum yuvasında 12 d/d dönü hızından 36 d/d dönü hızına çıkıldığında İO %23.3'ten %0'a düşmektedir. Buna karşın 12 d/d dönü hızından 36 d/d dönü hızına çıkıldığında BO %3.4'ten %27.3'e yükselmiştir. Ekici plaka dönü hızının artmasıyla tohum yuvalarının tohum yığınları içerinden geçtiği sürenin azalması beklendiği gibi İO değerini azaltmış buna karşın BO değerini arttırmıştır.

Ekici plakanın dönme hızının azalması ile sıra üzeri uzaklık varyasyon katsayısı genel olarak azalmıştır. Düşme noktasının yatayla olan açısı arttıkça depoya doldurulabilen tohum miktarının azalması nedeni ile tohumların yuvaya dolması zorlaşmış ve boşluk oranı artmıştır. Aynı şekilde düşme noktasının yatayla açısı azaldığında ise depoya doldurulabilen tohum miktarı artmıştır. Deponun fazla dolması ve ekici plakanın eksenel hareketinden dolayı depodaki tohumlar ekici plakanın tohumları aldığı tarafta yığılmıştır. Bu durumda ekici plakanın yuvasına birden fazla tohum dolma olasılığını artırmış ve dolayısı ile ikizleme oranı yükselmiştir.

Sorgum tohumu ile yapılan simülasyon denemeleri sonuçlarına göre ekici düzeneğin tohum düşme noktası açısının 120° , tohum yuvası biçiminin trapez (X) ve ekici plaka dönü hızının 24 d/d olduğu koşullarda en yüksek KTA ile en iyi ekim kalitesinin elde edildiği saptanmıştır.

Sorgum için yapılan simülasyon analizleri sonucu elde edilen görseller Şekil 5.3'te sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi tohumlara ait hızlar renk skalası üzerinden görülmektedir. Tohumlar ekici plakaya yaklaştıkça hareketlenmekte, tohum yuvasına girdiği zaman ekici plaka ile aynı hızda hareket etmekte ve düşme noktasından tohum borusuna düşerek tohum borusunda maksimum hıza ulaşarak ekim makinesini terk etmektedir.



Şekil 5.3. Sorgum için farklı hızlarda ekici plaka performansı (12, 24, 36 d/d)

5.1.2 Soğan tohumu ile yapılan simülasyon analizi sonuçları

Çizelge 5.2. Soğan tohumu ile yapılan simülasyon denemeleri sonucu elde edilen tohum dağılım düzgünlüğü değerleri

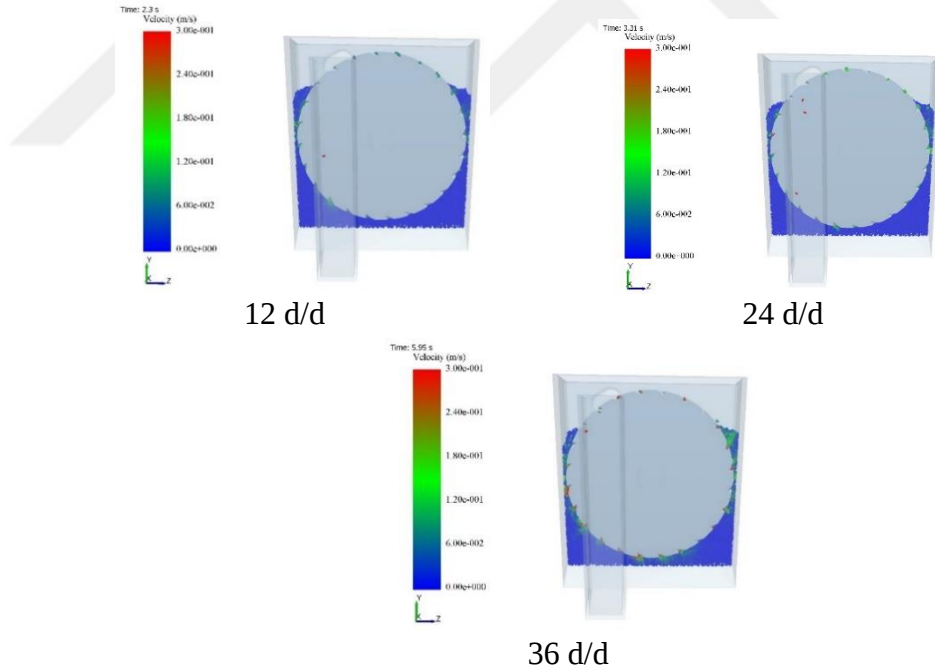
Açı (°)	Yuva	Dönü Hızı (d/d)	Tohumlar Arası Süre (sn)	Süre VK (%)	Sıra Üzeri Uzaklık (cm)	Sıra üzeri uzaklık VK (%)	İO	BO	KTA
120	X	12	0.201	11.6	20.1	11.6	9.7	0	90.3
		24	0.098	22.9	9.8	22.9	3	7.8	89.2
		36	0.053	27.09	5.3	27.09	2.9	41.9	55.2
	Y	12	0.187	12.9	18.7	12.9	31.4	17.1	51.5
		24	0.155	32.5	15.5	32.5	0	45.5	54.5
		36	0.088	48.88	8.8	48.88	0	83.3	16.7
	Z	12	0.197	10.46	19.7	10.46	32.6	2.3	65.1
		24	0.090	28.14	9.0	28.14	24.3	5.4	70.3
		36	0.052	31.44	5.2	31.44	5.4	16.2	78.4
135	X	12	0.200	16.14	20.0	16.14	10.3	10.3	79.4
		24	0.102	25.85	10.2	25.85	1.1	9.8	89.1
		36	0.081	32.06	8.1	32.06	2.4	40	57.6
	Y	12	0.285	73.7	28.5	73.7	0	58.7	41.3
		24	0.180	78.5	18.0	78.5	0	65.6	34.4
		36	0.089	88.5	8.9	88.5	0	78.8	21.2
	Z	12	0.191	10.05	19.1	10.05	31	0	69
		24	0.098	23.8	9.8	23.8	27	2.7	70.3
		36	0.050	34.95	5.03	34.95	26	5.3	68.7
150	X	12	0.193	15.6	19.3	15.6	9.1	30.9	60
		24	0.104	23.8	10.4	23.8	8.5	33.2	58.3
		36	0.057	23.88	5.7	23.88	0	30.8	69.2
	Y	12	0.202	27.9	20.2	27.9	5	55.2	39.8
		24	0.153	30.8	15.3	30.8	0	75.1	24.9
		36	0.060	35.7	6.0	35.7	0	82.1	17.9
	Z	12	0.201	13.46	20.1	13.46	28.6	8.6	62.8
		24	0.092	26.2	9.2	26.2	26.8	8.4	64.8
		36	0.056	36.98	5.6	36.98	28.9	18.6	52.5

Soğan tohumları ile yapılan simülasyon analizlerinde 120° ve trapez (X) tohum yuvası ile yapılan denemelerde 12 d/d ve 24 d/d dönü hızlarında elde edilen KTA

değerleri sırası ile %90.3 ve %89.2 olarak gerçekleşmiştir. Her iki plaka dönü hızında yüksek bir ekim kalitesi elde edilebilmiştir. Bunun yanında 12 d/d dönü hızında hiç boşluk meydana gelmemiştir (Çizelge 5.2). 12 d/d plaka dönü hızında en KTA birlikte en düşük sıra üzeri uzaklık varyasyon katsayısı da elde edilmiştir. Bu nedenle düşey plakalı ekici düzen ile soğan tohumlarının ekiminde trapez (X) tohum yuvası, 120° tohum düşme açısı ve 12 d/d plaka dönü hızının uygulanması önerilebilir.

Çizelge 5.2'deki veriler incelendiğinde trapez (X) tohum yuvası tasarımına sahip ekici plaka ile 120° ve 135° düşme açıları ve 24 d/d plaka hızında da %89.2 ve %89.1 gibi yüksek KTA değerleri elde edilmiştir. Dolayısıyla trapez (X) tohum yuvası tasarımına sahip ekici plakanın alternatif olarak 120° ve 135° düşme açıları ve 24 d/d plaka hızında kullanımı önerilebilir. İncelenen bütün simülasyon denemelerinde ekici plaka hızının artması ile varyasyon katsayısı arttığı, İO değerlerinin azaldığı, BO değerlerinin ise arttığı gözlemlenmiştir.

Soğan tohumları ile yapılan simülasyon analizleri sonucu elde edilen görseller Şekil 5.4'te sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi tohumlara ait hızlar renk skalası üzerinden elde edilebilmektedir. Görseller üzerinde 12, 24 ve 36 d/d dönü hızlarında ekici plaka üzerinde bulunan tohum yuvalarının doluluk oranı incelendiğinde 12 d/d dönü hızında boş tohum yuvasının bulunmadığı ama 36 d/d dönü hızında plaka üzerindeki yuvaların önemli bir oranının boş olduğu görülmektedir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te ekici plaka hızı arttıkça tohumları karıştırma etkisi de artmıştır.



Şekil 5.4. Soğan için farklı hızlarda ekici plaka performansı (12, 24, 36 d/d)

5.2. Laboratuvar denemeleri

Bilgisayar ortamında tasarlanan ekici düzenin aynısı imal edilmiş ve laboratuvar ortamında yapılan testler ile simülasyon denemelerinin doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucu elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan ekim kalitesi verileri Çizelge 5.3 ve 5.4'te sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Sorgum tohumu ile laboratuvar denemeleri sonucu elde edilen tohum dağılımı değerleri

Ortalama Tohumlar Arası Süre (sn)	Süre Varyasyon Katsayısı (%)	1 m/s hız için Ort Sıra Üzeri Mesafe (cm)	Sıra Üzeri Mesafe Varyasyon Katsayısı (%)	İO	BO	KTA
0.089	17.3	8.9	17.3	3.77	10.2	86.03

Sorgum tohumu ile yapılan laboratuvar denemelerinde elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçlarını destekler niteliktedir. Simülasyon denemelerinde elde edilen kabul edilebilir tohum aralığı oranı %89.6, laboratuvar denemelerinde elde edilen KTA değeri ise %86.03'tür. Kabul edilebilir tohum oranları arasında %3.57'lik bir fark oluşmuştur. Varyasyon katsayıları ise %17.6 iken laboratuvar denemelerinde %17.3 olarak gerçekleşmiş dolayısıyla sadece %0.3'lik fark oluşmuştur. Benzer sonuçlar Lei vd. (2016), Marcinkiewicz vd. (2021), Lei vd. (2021) ve Liv vd. (2021) tarafından kolza, buğday, soya ve bezelye tohumları kullanılarak yapılan denemelerde de elde edilmiştir. Bu araştırmaların sonuçları göre simülasyon çalışmaları ile doğrulama denemeleri arasındaki farkın %10'dan düşük olduğu ve %10'a kadar olan farklılıkların kabul edilebilir olduğu vurgulanmıştır. Her iki deneme arasındaki az da olsa bu farklılığın laboratuvar koşullarında deneme yapılırken oluşan titreşim gibi çevresel faktörler yanında simülasyon denemelerinde tohumların tekdüze olarak kabul edilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.4. Soğan tohumu ile laboratuvar denemeleri sonucu elde edilen tohum dağılımı değerleri

Ortalama Tohumlar Arası Süre (sn)	Süre Varyasyon Katsayısı (%)	1 m/s Hız İçin Ort Sıra Üzeri Mesafe (cm)	Sıra Üzeri Mesafe Varyasyon Katsayısı (%)	İO	BO	KTA
0.19	12.5	19.8	12.5	10.9	0	89.1

Soğan tohumu ile yapılan doğrulama denemelerinde de sorgum ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Soğan tohumu için yapılan simülasyonlarda kabul edilebilir tohum oranı %90.3, aynı koşullarda laboratuvar denemelerinde ise %89.1'dir. Dolayısıyla aralarındaki farklılık sadece %1.20'dir. Aynı şekilde varyasyon katsayısı da sırasıyla %11.6 ve %12.5 olarak gerçekleşmiş ve dolayısı ile %0.9'luk bir fark oluşmuştur. Sadece ikizleme oranında %1.2 oranında bir artış gözlenmiştir. Simülasyon denemelerinde ve laboratuvar denemelerinde tohumlar arasında boşluk oluşmamıştır.

6. SONUÇLAR

Düşey plakalı bir ekici düzenin sorgum ve soğan tohumları gibi küçük tohumlar için tasarım analizinin yapıldığı bu çalışma ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tasarlanan tohum yuvaları içerisinde en iyi tohum dağılımı dolayısıyla en iyi ekim kalitesi iki tohum için de trapez (X) tohum yuvası biçimine sahip ekici plaka ile sağlanmıştır. Bu tohum yuvası modeli diğerlerine göre tohumu depodan tek tek alabilmiş ve düşme noktasına kadar taşıyarak ve tohum borusuna iletebilmiştir.

Simülasyon denemelerinde en iyi ekim kalitesi trapez tohum yuvası tasarımına sahip ekici plakanın 120° düşme noktası açısı ile soğan tohumlarının 12 d/d, sorgum tohumlarının ise 24 d/d dönü hızında çalıştırılması ile elde edilmiştir.

Yapılan doğrulama denemeleri sonuçları da simülasyon denemelerini destekler nitelikte olup bir ekim makinasının ekim kalitesini belirlemede en önemli kriterler olan kabul edilebilir tohum aralığı oranı ve sıra üzeri varyasyon katsayıları arasındaki farkların %10'dan daha az olduğu belirlenmiştir.

Yapılan denemelerde genel olarak düşme noktası açısı ve ekici plakanın dönü hızı arttıkça ekim kalitesi düşmüştür. Bu düşüş boyutları daha küçük ve daha şekilsiz (küreselliği daha düşük) olan soğan tohumları kullanılarak yapılan denemelerde daha belirgindir.

Soğan ve sorgum tohumları ile yapılan simülasyon denemeleri sonucu önerilen veriler ile elde edilen ekim kalitesi değerleri TS 6424 Hassas Ekim Makinaları Deney Metotları ve Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Mekanizasyon Araçları Deney İlke ve Metotlarına göre kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

Denemeler sırasında yapılan gözlemlerde, ekici plakadan ayrılan tohumların tohum borusu iç çeperine çarpması sonucu yavaşlaması veya gecikmesi nedeni ile sıra üzeri tohum dağılımında bozulmalar olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda bilgisayar ortamında yapılacak simülasyonlar ile tohum borusundaki tohum akışının incelenmesi ve bu tohum akışı dikkate alınarak tohum akış düzgünlüğünü etkilemeyen uygun bir tohum borusu tasarımına yönelik çalışmaların yapılması önerilebilir.

7. KAYNAKLAR

- Acar, A. İ. (2001). Pnömatik Hassas Ekim Makinalarında Tohumların Tutulmasına Etkili Bazı Parametrelerin Etki Derecelerinin Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 142-148.
- Aktaş, A. (Ağustos, 2018). Tahıl Ekim Makinalarının Tohum Dağılımını İyileştirmek İçin Yeni Bir Tohum Borusu Tasarımının Geliştirilmesi. *Antalya*.
- Akyurt, M. ve Taub, A. (1966). Şeker pancarı tohumunun hassas ekimini etkileyen mekanik faktörler. *ASAE İşlemleri*, 9 (6), 793-0796.
- Alayunt, F. N. (2000). Biyolojik Malzeme Bilgisi. İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi.
- Barut, Z.B. ve Çağırhan, M.I. (2006). Tarla koşullarında tek tohumluk susam ekiminde tohum kaplamanın doğruluğu üzerine etkisi. *Avustralya Deneysel Tarım Dergisi*, 46(1), 71-76.
- Baktemur, Ö.Ü.G., Taşkın, H., Solmaz, İ., Sarı, N., Ellialtıoğlu, Ş. Ş., Karaköy, T., Keleş, D., Boyacı, H.F., Baktemur, G., Namli, M., Denli, N., Kara, E., Adıgüzel P. 2023. Sebze Yetiştiriciliği. Iksad Yayınevi, Ankara. ISBN: 978-625-6404-83-0
- Çelik, H. K., & Akıncı, İ. (2012). Tarım Makineleri Tasarımı ve Geliştirilmesinde Bilgisayar Destekli Tasarım ve Mühendislik Uygulamaları. 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, (s. 432-440). Samsun.
- Dumanoğlu, Z. ve Çakmak, B. (2019). Tohum uygulamalarının soğan (*Allium cepa* L.) tohumunun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33 (1), 53-66.
- Gilandeh, Y.A., Fazeli, M., Roshanianfard, A., Hernández, J.L.H., Penna, A.F., Miranda, I.H. (2020). Effect of different working and tool parameters on performance of several types of cultivators. *Agriculture*, 10, 145.
- Hacıseferoğulları, H., Çalışır, S., ve Mengeş, H. O. (2007). Düşey Tohum Diskli Mekanik Hassas Ekim Makinesinin Şeker Pancarı Ekimine Uygunluğunun Belirlenmesi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 21(42), 16-24.
- Horabik, J., Molenda, M. (2016). Parameters and contact models for DEM simulations of agricultural granular materials: A review. *Biosystems Engineering*, 147, 206–225.]
- Jinwu, W., Wenqi, Z., Liquan, T., Shuwei, L., & Zhao, Z. (2017). Virtual simulation analysis and verification of seed-filling mechanism for dipper hill-drop precision direct rice seeder. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(6), 77-85.
- Josephine M. Boac, M. E. (June, 2009). Material and Interaction Properties of Selected Grains and Oilseeds for Modeling Discrete Particles. *ASABE*, 09-7166.

- Karagülmez, A., Konak, M., ve Özbek, O. (2018). Yatay Plakalı Mekanik Hassas Ekici Düzeninde Bazı Çalışma Parametrelerinin Sıra Üzeri Tohum Dağılım Düzgünlüğüne Etkisi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3), 350-354.
- Karayel, D., ve Özmerzi, A. (2001). Hava emişli bir tek dane ekici düzen ile kavun ve hıyar ekiminde sıra üzeri uzaklık ve ilerleme hızının ekim düzgünlüğüne etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(2), 63-67.
- Karayel, D. (2007). Ekim Makinası Denemelerinde Kullanılan Optik Algılayıcılı ve Kameralı Ölçme Sistemlerinin Karşılaştırılması. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3(1), 59-64.
- Karayel, D., ve Aktaş, A. Farklı Gömücü Ayak ve Tohum Borusu Tasarımları ile Tahıl Ekim Makinalarının Tohum Dağılımının İyileştirilmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(2), 99-103.
- Lei, X., Liao, Y., Liao, Q. (2016). Simulation of seed motion in seed feeding device with DEM-CFD coupling approach for rapeseed and wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 131, 29-39.
- Lei, X., Hu, H., Wu, W., Liu, H., Liu, L., Yang, W., Zhou, Z., Yang, W., Ren, W. (2021). Seed motion characteristics and seeding performance of a centralised seed metering system for rapeseed investigated by DEM simulation and bench testing. *Biosystems Engineering*, 203, 22-33.
- Li, J., Lai, Q., Zhang, H., Zhang, Z., Zhao, J., Wang, T. (2021). Suction force on high-sphericity seeds in an air-suction seed-metering device. *Biosystems Engineering*, 211, 125-140.
- Marcinkiewicz, J., Selech, J., Staszak, Z., Gierz, L., Ulbrich, D., & Romek, D. (2019, ocak 15). MATEC Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925402021> adresinden alındı
- Marcinkiewicz, J., Selech, J., Staszak, Z., Gierz, L., Ulbrich, D., Romek, D. (2019). DEM simulation research of selected sowing unit elements used in a mechanical seeding drill. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 254, p. 02021). EDP Sciences.
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. London and New York: Gordon and Breach, Science Publishers, Inc.
- Moralar, A. (2011). Hububat Ekim Makinalarında Ekici Düzen Sisteminin Optimizasyonu. Tekirdağ: T.C. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Necmiye, Üçer., ve Yalçın, İ. (2008). Ekim Makinalarında Sıra Üzeri Tohum Dağılım Düzgünlüğünün Belirlenmesinde Kullanılan Ölçme Yöntemleri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2), 87-95.

- Nematollahi, E., Zare, S., Moghaddam, M.M., Ghasemi, A., Ghorbani, F., Banisi, S. (2021). DEM-based design of feed chute to improve performance of cone crushers. *Miner. Engineering*, 168, 106927.
- Önal, İ., ve Ertuğrul, Ö. (2011). Üstten akışlı mini oluklu ekici makaranın soğan, havuç ve kanola tohumları için tohum akışı ve sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğü. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 7(4), 437-448.
- Önal, İ., ve Ertuğrul, Ö. (2011). Üstten akışlı oluklu ekici makaranın soğan, havuç ve kanola tohumları için tohum akışı ve sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğü.
- Özenç, H. (2018). El İle Çekilebilir Ekim makinası Prototipi Geliştirilmesi. Antalya.
- Özgüven, F., Vursavuş, K., ve Daşgan, Y. (2005). Soğanın Sırta Ekimi ve Hasat Olanaklarının Araştırılması. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 1 (2), 115-122.
- Özmerzi, A., Bereket, Z. (1992). Antalya'da Bazı İlçelerdeki Tarla Sebze Üretiminin Mekanizasyonuna Yönelik Sorunlar. (s. 78-87). Antalya: Batı Akdeniz Bölgesi 1. Tarım Kongresi Bildiri Kitabı.
- Pandiselvam, R., Pragalyaashree, MM, Kailappan, R., Thirupathi, V., Krishnakumar, P. (2014). Soğan tohumlarının neme bağlı mühendislik özellikleri. *Ziraat Mühendisliği Dergisi*, 51 (2), 36-43.
- Sevim, T. (2006). Bazı Sebze Tohumlarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tarım Makineleri ve Tarım Teknolojisi Araçlarının Deney ve Denetim Esaslarına İlişkin Uygulama Rehberi. (2020, 10 09). Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Tarım Teknolojileri ve Mekanizasyon Daire Başkanlığı. ANKARA, Çankaya, Türkiye: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı.
- TÜİK. (2021). Türkiye istatistik kurumu: <https://www.tuik.gov.tr/> [son erişim tarihi 15.05.2022] adresinden alındı
- TÜİK. (2021). Türkiye İstatistik Kurumu: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=134&locale=tr> adresinden alındı
- Uğur, B. (Temmuz 2021). Ürün Raporu Kuru Soğan. Ankara: Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü TEPGE.
- Uygan, F., ve Güler, İ. E. (2005). Pnömatik tahıl ekim makinalarında farklı tip dağıtma başlıkları, hava hızı ve ekim normunun akış düzgünlüğüne etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(1), 59-67.
- Ülger, P., Güzel, E., Eker, B. (1996). Tarım Makineleri İlkeleri. T.Ü Tekirdağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi: 29, Ders Kitabı, İstanbul, 435 s.
- Yağcıoğlu, A. (1996). Ürün İşleme Tekniği. Ders kitabı (1. Basım). İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, İzmir.

- Yezekyan, T., Benetti, M., Armentano, G., Trestini, S., Sartori, L., Marinello, F. (2021). Definition of reference models for power, mass, working width, and price for tillage implements. *Agriculture*, 11, 197.
- Yudao, Li., Shulun, Xing., Shasha, Li., Liu, L., Zhang, X., Zhanhua, Song., and Fade, Li. (2020). Seeding performance simulations and experiments for a spoon-wheel type precision cottonseed-metering device based on EDEM. *Mechanical Engineering Science*, 2(1).
- Zeng, Z.W., Chen, Y., Zhang, X. (2017). Modelling the interaction of a deep tillage tool with heterogeneous soil. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 130–138.
- Zeng, Z.W., Chen, Y., Long, Q. (2020). Simulation of cotyledon-soil dynamics using the discrete element method (DEM). *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 1–9.



ÖZGEÇMİŞ

Volkan SOYA

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2020-2023	Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2015-2019	Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya