

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLİ OTONOM SIRA ARASI
ÇAPALAMA ROBOTU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR KARACEYLAN

DENİZLİ, OCAK - 2025

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLİ OTONOM SIRA ARASI
ÇAPALAMA ROBOTU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR KARACEYLAN

DENİZLİ, OCAK - 2025

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

SERDAR KARACEYLAN

ÖZET

GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLİ OTONOM SIRA ARASI ÇAPALAMA ROBOTU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR KARACEYLAN

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. ERSİN DEMİR)

DENİZLİ, OCAK - 2025

Günümüzde mobil robot teknolojisi birçok sektörde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mobil robotlar fiziksel olarak belirli bir noktaya sabitlenmemiş, daha önceden tanımlanmış bir alanda hareket ederek istenilen görevleri yerine getirebilmektedir. Bu robotlar sayesinde insanların yapacağı tekrarlı operasyonel işlemler hızlı ve insandan bağımsız bir şekilde yapılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında ülkemizin önemli ihraç ürünleri arasında yer alan tütün bitkisinin üretiminde yabancı otların oluşturduğu yüksek verim kaybını önleyen ve toprağı havalandırarak verim artışı sağlayan, kullanımı kolay çiftçi dostu tam otonom bir tarım robotu tasarlanmıştır. Öncelikle robotun çalışacağı alanla ilgili araştırmalar yapılarak robota toprak tarafından gelen yüklerin etkileri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda mekanik ve elektronik tasarımlar tamamlanmıştır. Mekanik analizler Solidworks programının simülasyon ve hareket analizi ortamında gerçekleştirilmiştir. Ardından robotun otonom bir şekilde sıra aralarında gezmesini sağlayan görüntü işleme yazılımı geliştirilmiştir. Görüntü işleme yazılımı, derin öğrenme algoritması olan YOLO (You Only Look Once) kullanılarak geliştirilmiştir.

Sonuç olarak bu tez çalışması ile tütün tarımında yabancı ot kontrolünü otonom bir şekilde sağlayacak olan mobil tarım robotu tasarımı gerçekleştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Mobil Tarım Robotu, Yapay Zeka, Derin Öğrenme, Görüntü İşleme, Mekanik Tasarım, Elektronik Tasarım

ABSTRACT

AUTONOMOUS ROW HOEING ROBOT BASED ON IMAGE PROCESSING

MSC THESIS

SERDAR KARACEYLAN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHATRONICS ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. ERSIN DEMIR)

DENİZLİ, JANUARY 2025

Today, mobile robot technology is widely used in many sectors. Mobile robots are not physically fixed to a specific point, they can move in a predefined area and perform the desired tasks. Thanks to these robots, repetitive operational operations that people will do can be done quickly and independently of humans.

In this thesis study, an easy-to-use, farmer-friendly, fully autonomous agricultural robot that prevents high yield losses caused by weeds in the production of tobacco plants, which are among the important export products of our country and provide yield increase by aerating the soil was designed. First of all, research was conducted on the area where the robot will work and the effects of the loads coming from the soil to the robot were calculated. As a result of the calculations, mechanical and electronic designs were completed. Mechanical analyzes were performed in the simulation and motion analysis environment of the SolidWorks program. Then, image processing software was developed that allows the robot to move autonomously between the rows. The image processing software was developed using the deep learning algorithm YOLO (You Only Look Once).

As a result, the design of a mobile agricultural robot that will provide autonomous weed control in tobacco farming was realized with this thesis study.

KEYWORDS: Mobile Agricultural Robot, Artificial Intelligence, Deep Learning, Image Processing, Mechanical Design, Electronic Design

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. MOBİL ÇAPALAMA ROBOTU TASARIMI	10
2.1 Mekanik Tasarım.....	10
2.2 Mekanik Analiz	23
2.2.1 Statik Analiz	23
2.2.1.1 Malzeme Tanımlamaları	24
2.2.1.2 Bileşen Etkileşiminin Tanımlanması	26
2.2.1.3 Sınır Koşullarının Tanımlanması	26
2.2.1.4 Kuvvet Etkisinin Sisteme Girilmesi.....	27
2.2.1.5 Ağ (Mesh) Tanımlaması	29
2.2.1.6 Sonuçların İncelenmesi	31
2.2.2 Hareket Analizi	34
2.2.2.1 Malzeme Tanımlamaları	34
2.2.2.2 Ağırlık etkisinin sisteme girilmesi	39
2.2.2.3 Kesme bıçağına kuvvet etkisinin hesabı ve sisteme	40
girilmesi	40
2.2.2.4 Temas tanımlaması.....	40
2.2.2.5 Motorların açısal hızlarının belirlenmesi	49
2.2.2.6 Hareket Analizi Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi ..	52
2.3 Elektronik Tasarım	55
2.4 Yazılım Tasarımı	61
2.4.1 Tütün Bitkisinin Tespiti	62
2.4.2 Yeşil Piksel Yoğunluk Algoritması	68
3. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
4. KAYNAKLAR.....	73
5. EKLER.....	77
EK A Otonom Hareket Algoritması	77
6. ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Otonom mobil tarım robotunun katı model görüntüsü.....	11
Şekil 2.2: Rulo çapalama aparatının katı model görünümü.....	14
Şekil 2.3: Rulo çapalama mekanizması katı modelinin önden görünümü.....	14
Şekil 2.4: Rulo çapalama mekanizması katı modelinin sol yan görünümü.....	15
Şekil 2.5: Bağlantı diski.....	16
Şekil 2.6: Çapa bıçağı.....	16
Şekil 2.7: Çapa bıçağı diski.....	17
Şekil 2.8: Ot kesme bıçağı.....	17
Şekil 2.9: Ot kesme bıçağı katı modelinin yandan görünümü.....	18
Şekil 2.10: Ot kesme bıçağı hareket sistemi.....	19
Şekil 2.11: Direksiyon sistemi yan görünümü.....	20
Şekil 2.12: Ön tekerleğin bağlı olduğu mil ve aksenal bilyeli rulmanın gösterimi.....	20
Şekil 2.13: Otonom mobil tarım robotu şase bağlantısı üstten görüntüsü.....	21
Şekil 2.14: Otonom mobil tarım robotu şase bağlantısı yandan görüntüsü.....	21
Şekil 2.15: Otonom mobil tarım robotu şase bağlantısı ön görüntüsü.....	22
Şekil 2.16: Otonom mobil tarım robotu şase bağlantısı izometrik görüntüsü.....	22
Şekil 2.17: Statik analizi yapılan montaj resmi.....	24
Şekil 2.18: SolidWorks programı malzeme kütüphanesi.....	25
Şekil 2.19: Robot parçalarının malzemelerinin tanımlaması.....	25
Şekil 2.20: Bileşen etkileşimi.....	26
Şekil 2.21: Sınır Koşullarını Tanımlama.....	27
Şekil 2.22: Yerçekimi kuvvetinin tanımlanması.....	28
Şekil 2.23: Ot kesme bıçağı toprak temas eden yüzey alanı gösterimi.....	28
Şekil 2.24: Kuvvet tanımlamasının yapılması.....	29
Şekil 2.25: Mesh Tanımlama.....	30
Şekil 2.26: Oluşturulan mesh görüntüsü.....	31
Şekil 2.27: Robot şasisinde elde edilen vonmises gerilme değerleri.....	31
Şekil 2.28: Yer Değiştirme analizi.....	32
Şekil 2.29: Şekil Değiştirme Analizi.....	33
Şekil 2.30: Şase malzeme tanımlaması.....	34
Şekil 2.31: Ot Kesme Bıçağı malzeme tanımlaması.....	35
Şekil 2.32: Kızak Sistemi için lineer mil malzeme tanımlaması.....	35
Şekil 2.33: Step motor tutucusunun malzemesinin tanımlanması.....	36
Şekil 2.34: Hub Motor Şase bağlantı parçasının malzeme tanımlaması.....	36
Şekil 2.35: Direksiyon sistemi için hub motor bağlantı parçasının malzeme tanımlaması.....	37
Şekil 2.36: Çapa aparatı hub motor bağlantı flanşının malzeme tanımlaması.....	37
Şekil 2.37: Bıçak bağlantı diskinin malzeme tanımlaması.....	38
Şekil 2.38: Çapa bıçaklarının malzeme tanımlaması.....	38
Şekil 2.39: Elektronik tertibat muhafaza parçasının malzeme tanımlanması.....	39
Şekil 2.40: Ağırlık etkisinin sisteme girilmesi.....	39
Şekil 2.41: Kuvvet etkisinin sisteme girilmesi.....	40
Şekil 2.42: Katı gövde teması tanımlaması için parçaların seçilmesi.....	41
Şekil 2.43: Sürtünme katsayısı deneyi için kuvvet dengesi.....	41

Şekil 2.44: Sürtünme katsayı deneyi için S235JR malzeme görüntüsü.	43
Şekil 2.45: Sürtünme katsayı deneyi için S235JR malzemenin kütesinin ölçümü.	43
Şekil 2.46: Sürtünme katsayı deneyi için S235JR malzeme ve toprak görüntüsü.	44
Şekil 2.47: Deneyi gerçekleştirildiği yüzeyin terazileme işlemi.	44
Şekil 2.48: Sürtünme katsayı deneyi açölçer ile ölçme işlemi.	45
Şekil 2.49: Sürtünme etkisinin sisteme girilmesi.	46
Şekil 2.50: Ön tekerlek için temas yüzeylerinin tanımlanması.	46
Şekil 2.51: Sürtünme katsayı deneyi için kauçuk malzeme görüntüsü.	47
Şekil 2.52: Ön tekerlek malzemesi olan kauçuk için sürtünme katsayısı deneyi.	47
Şekil 2.53: Sürtünme katsayı deneyi için kauçuk malzemenin kütesinin ölçümü.	48
Şekil 2.54: Tekerlek ve toprak zemin arası sürtünme katsayısının sisteme girilmesi.	49
Şekil 2.55: Tekerlek yarıçap ölçümü.	50
Şekil 2.56: Programda açısız hız değerlerinin 5 sn boyunca girilmesi.	51
Şekil 2.57: Hız grafiği.	51
Şekil 2.58: Açısız ivme Grafiği.	52
Şekil 2.59: Simülasyon 0. Saniye görüntüsü.	53
Şekil 2.60: Simülasyon 1. saniyedeki görüntüsü.	53
Şekil 2.61: Simülasyon 3. saniyedeki görüntüsü.	53
Şekil 2.62: Simülasyon 5. saniyedeki görüntüsü.	54
Şekil 2.63: Ön motor tork grafiği.	54
Şekil 2.64: Arka motor tork grafiği.	54
Şekil 2.65: Otonom mobil tarım robotu donanım elemanları.	55
Şekil 2.66: Robot şasesi üzerindeki güneş panelinin yerleşim konumu.	57
Şekil 2.67: Mini bilgisayar bağlantı şeması.	58
Şekil 2.68: Mini bilgisayar bağlantı devresi.	60
Şekil 2.69: Kameradan alınan örnek görüntü.	63
Şekil 2.70: Uzun bitkilerin bulunduğu ortamda kameradan alınan görüntü üzerinden tütün bitkisinin tespiti.	63
Şekil 2.71: Yeni dikilmiş bitkilerin bulunduğu ortamda kameradan alınan görüntü üzerinden tütün bitkisinin tespiti.	64
Şekil 2.72: Gelişmekte olan bitkilerin bulunduğu ortamda kameradan alınan görüntü üzerinden tütün bitkisinin tespiti.	64
Şekil 2.73: Tek tarafta bitki bulunması durumunda kameradan alınan görüntü üzerinden tütün bitkisi tespiti.	65
Şekil 2.74: Kameradan alınan örnek görüntü üzerinde yeşil piksel maskeleyme işlemi.	68

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Tütün tespiti için yapılacak olan faaliyet.....	66
Tablo 2.2: Yeşil piksel yoğunluğu oluşma durumları.....	70

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

N	:	Yüzeyin Tepki Kuvveti
F_s	:	Sürtünme Kuvveti
F_n	:	Yüzeğe Dik Sürtünme Kuvveti
F_t	:	Yüzeğe Teğet Sürtünme Kuvveti
θ	:	Eğim Açısı
μ_s	:	Sürtünme Katsayısı
SoEYPA	:	Sol Ekran Yeşil Piksel Adedi
OEYPA	:	Orta Ekran Yeşil Piksel Adedi
SaEYPA	:	Sağ Ekran Yeşil Piksel Adedi
TEYPA	:	Toplam Ekran Yeşil Piksel Adedi
SoleYYPY	:	Sol Ekran Yeşil Piksel Yoğunluğu
OEYPY	:	Orta Ekran Yeşil Piksel Yoğunluğu
SağEYPY	:	Sağ Ekran Yeşil Piksel Yoğunluğu

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana her zaman destek olan akademik anlamda bilgi, deneyim ve tecrübelerini aktaran saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ersin DEMİR'e ve öğrenim hayatım boyunca beni maddi manevi destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Mobil robot teknolojisi, belirli bir noktaya, sisteme veya yapıya sabitlenmemiş taşınabilir robotları ifade etmektedir. Mobil robotlar günümüzde hayatımızı her geçen gün daha da kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle mobil robot teknolojisi üzerine her geçen gün farklı çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Birçok sektöre hitap eden bir hale gelen mobil robotlar sağlık, askeri vb. gibi birçok sektörde uygulama alanları bulmaktadır. Özellikle insan emeğinin yoğun olduğu ve insan yaşamının söz konusu olduğu sektörlerde gün geçtikçe kullanım sahasını artırmaktadır.

Mobil robotlar bilgisayar kontrollü, otonom veya uzaktan kontrollü şekilde hareket edebilmektedir. Mobil robotların tasarım parametrelerini belirleyen en önemli durum çalışma ortamı ve ihtiyaca yönelik karşılaşılabilecek zorluklardır. Örneğin servis veya depo robotları düşünülürse zemin sert olduğu için küçük tekerlekli bir tasarım yeterlidir. Ancak arazi üzerinde çalışan bir robot tasarlanmak istenirse palet, bacak veya daha büyük tekerlek yapılarına ihtiyaç duyulur.

Mobil robotlar çeşitli bileşenleri içinde barındırırlar. Bunlar sensör, hareket mekanizmaları, haritalandırma, kontrol ve iletişim sistemleridir. Sensörler, mobil robotun ihtiyacına göre veri toplamak için kullanılır. Hareket sistemleri, robotun bulunduğu ortamda hareketini en kolay şekilde yapmasını sağlar. Mobil robotlarda robotun kendi yerini bilmesi önemlidir. Bu durum yerelizasyon veya haritalandırma ile çözülebilir. Kontrol sisteminde ise otonom veya uzaktan kontrollü tasarımlar yapılabilir. Robot iletişimi konusu ise görüntü aktarımı, komut gönderme gibi işlemleri içermektedir.

Bu tez kapsamında mobil robotların tütün tarımında yabancı ot kontrolünün sağlanması ve toprağın havalandırılması uygulaması için tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tütün tarımı birçok zorluğu içinde barındırmaktadır. Tütün tarımının başından sonuna kadar emek yoğun bir serüveni vardır. Tohum halindeki tütünler ilk etapta sera ocaklarına yatırılır. Ocak içerisinde tohumların fide haline gelene kadar sulama ve yabancı bitki kontrolü gibi işlemler uygulanır. Fide haline geldikten sonra araziye 40cm sıra aralığında dikimi gerçekleştirilir. Fidanlar dikildikten sonra hemen ardından can suyu denilen sulama işlemi gerçekleştirilir. Fidanların büyüme sürecinde 3-4 kez yabancı bitki kontrolünü sağlamak ve toprağı havalandırmak amacıyla çapalama işlemi gerçekleştirilir. Tütün fidanları yeterli büyüklüğe ulaştıktan sonra yapraklarında sararmalar oluşur. Sararmaların oluşmasının ardından kırım işlemine geçilir. Kırım, yaprak hasadını ifade etmektedir. Hasadı tamamlanan yapraklar ardından seralarda kurumaya bırakılır. Kurutulan tütünler ardından paketlenerek satışa hazır hale getirilir.

Bütün bu işlemler insan gücüyle veya insanların kullanmak zorunda oldukları tarım makinaları yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasında tütün tarımında yabancı bitki kontrolünü sağlamak ve toprağı havalandırarak verim artışı sağlamak amacıyla otonom mobil tarım robotu tasarımı yapılmıştır.

Mobil tarım robotu çalışmalarında sensörler; bitki durumu, toprak ve hava koşulları, nem oranı gibi çevresel verileri izlemek amacıyla kullanılmaktadır. Mobil tarım robotları, tarım sektöründe daha verimli, sürdürülebilir ve akıllı bir yaklaşım sağlamak amacıyla geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Bu robotlar, geleneksel tarım yöntemlerini iyileştirerek tarımın geleceğinde önemli bir rol oynamaya adaydır.

Tasarımı yapılan mobil robot tarım sektörüne hitap etmektedir. Bu nedenle tarım sektöründe daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalar verimi artırmak, işgücü maliyetini azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla yapılmıştır.

Tarımda yabancı otlardan dolayı en az %45 oranında verim kaybı yaşandığı ve mücadele edilmediği takdirde ise %95'lere varan büyük kayıplar yaşanabildiği bildirilmektedir (Ozer, 1993). Bu nedenle yabancı ot kontrolü, sürdürülebilir tarım ve ürün verimliliğinin artması açısından önemlidir. Yabani otlarla mücadele tecrübeyle birlikte elle, kimyasal, mekanik, lazer yakma ve alev gibi çeşitli şekillerde gerçekleştirilmektedir. Mücadeledeki en etkili yöntem elle ayıklamadır. Ancak bunun da kendi dezavantajları vardır. Elle ayıklamadaki en büyük problem ihtiyaç duyulduğu anda istihdam edilecek işçi bulunamaması ve işçi maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle yabancı ot mücadelesinde en çok tercih edilen yöntem, kimyasal ilaç ile mücadeledir. Tarımda yabancı bitkilerle mücadele etmek için kullanılan ilaçlara genel isim olarak herbisit denilmektedir. Herbisit uygulamaları yabancı ot mücadelesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun nedeni yabancı bitkilerle çapalama ile mücadele etmenin zor olmasıdır. Çapalama yerine fazla güç gerektirmeyen herbisit yabancı bitki üzerine püskürtülmektedir. Herbisit uygulamasındaki en büyük problem ise insan sağlığına zararlı etkilere, çevre kirliliğine ve girdi israfına sebep olmasıdır. Bu olumsuz sonuçlar nedeniyle tarımda tüketiciler, çiftçiler ve hükümet tarafından herbisitlerin sınırlı kullanımı hatta mümkünse hiç kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Yabani otlarla mücadele, tarımın yapıldığı ilk günden bu yana devam etmektedir. Bugüne kadar yabancı otlarla mücadele etmek için çok çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Modern çağda ise teknolojinin getirmiş olduğu yenilikler ile çeşitli tarım robotları yapılmakta ve yabancı otlarla mücadele etmek için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bunlar yabancı bitkiyi lazer ışınları ile kesme veya ilaç püskürtme şeklinde uygulanmaktadır (Yıldız ve diğ. 2018). Yapılan tez çalışması ile yabancı bitkilerle kimyasal ilaç veya aşırı pahalı teknikler kullanmadan doğrudan müdahale ile kesin bir çözüm sunulmaktadır. Bu tez çalışması ile yabancı otlarla insan gücü gerekmeden tamamen otonom bir şekilde mücadele edilmesi planlanmıştır. Tasarımı yapılan bu robotla mevcut çözümlere alternatif daha etkili bir çözüm ortaya konulmuştur. Robotun içerdiği görüntü işleme ve yapay zeka teknolojisi ile yabancı ot mücadelesinde insandan veya kimyasal ilaç kullanımından kaynaklanan ürüne verilen zararları en aza indirmesi amaçlanmaktadır.

Mobil robotların tarım sektöründeki kullanımları ile ilgili literatür incelenerek açık kaynaklardan ulaşılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Son yıllarda yabancı otlarla mücadele konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bunlardan bazıları yabancı bitkiye lazer ışını uygulayarak yok etmeye çalışmaktadır (Yıldız ve diğ. 2018). Yapılan diğer çalışmaların ortaya koyduğu hedef kimyasal ilaç kullanım oranını düşürmektir (Sabancı ve Aydın 2014). Yine de bu çalışmalarda yabancı otu imha etmek için kimyasal ilaç kullanılmaktadır.

Ortaya konulan bu tez çalışmasının yanında tarım sektöründe son yıllarda farklı çalışmalar ortaya koyulmuştur. Teknolojinin getirmiş olduğu yenilikler tarım sektöründe dijitalleşmenin önünü açmıştır. Böylece insan kaynağının yoğun olarak kullanıldığı tarımın sürdürülebilirlik sorununa alternatif çözüm yolları keşfedilmeye başlanmıştır.

Hernandez ve diğ. (2013) arazi üzerinde nem izlemeyi hassas bir şekilde gerçekleştirmek için küresel robota dayalı bir sistem sunmuştur. Bu çalışma çiftçilere mahsul izleme için alternatif yöntemler sağlama gerekliliğinden doğmuştur.

Emmi ve diğ. (2013) hassas tarım tekniklerinin uygulanmasına yönelik robotlar geliştirmeyi hedeflemiştir. Bu kapsamda tarım alanında mobil araç filolarını entegre ederek simülasyon ortamı geliştirmişlerdir. Her robota dahil edilen konfigürasyon arayüzü ve grafik arayüzü sayesinde robotlar kendi aralarında etkileşime girerek hassas tarım tekniklerini uygulamaktadırlar.

Jensen ve diğ. (2014) mevcut bitkisel üretim yöntemlerine kıyasla sürdürülebilirliği artırmayı amaçlamaktadırlar. Araştırma grupları arasındaki iş birliği eksikliğine vurgu yapmışlardır. Saha da özel robot yazılımları yerine daha genel yazılımların oluşturulmasını ve iş birliğinin artırılmasını hedeflemişlerdir. Bu kapsamda FroboMind isimli yazılım platformunu sunmuşlardır. Bu platformun hassas tarım görevlerindeki performansını değerlendirmişlerdir.

Bogue (2016) bir dizi güncel ve önemli tarımsal robot araştırma ve geliştirme faaliyetinin ayrıntılarını incelemiştir. Hassas yabancı ot kontrolü ve gübre uygulaması için çeşitli hasat robotlarını içeren kapsamlı bir araştırma yapmış ve gıda talebinin karşılanmasında robotiğin önemini anlatmıştır.

Phanomchoeng ve diğ. (2020) temel insani ihtiyaçlar ve gıda güvenliğinin en önemli küresel sorunlarından olduğuna dikkat çekmiştir. Bu kapsamda teknolojik gelişmelerin geleneksel tarım yöntemlerinden modern tarım yöntemlerine geçişte önemli rol oynadığını belirtmişlerdir ve tasarımı yaptıkları tarımsal çiftlik robotunu tanıtmışlardır.

Dutta ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada son yıllarda tarımdaki teknolojik gelişmelerin nedenlerini ve ortaya koydukları çözümleri anlatmışlardır. Tarım alanında çoklu robot sistemlerine vurgu yapmışlardır. Aynı anda birlikte çalışan kara robotları ve dronlar sayesinde araziden veri toplama ve toplanan verilerin güvenliğini sağlarken enerji tüketimini kontrol altında tutmaya çalışmışlardır. Bu konu hakkında incelemeler yapmışlardır.

Bogue (2021) yaptığı çalışmada tarım robotlarının öneminden bahsetmektedir. Tarım robotlarının tasarım ve metodolojisi hakkında bilgi vermektedir. Tarım robotlarının hastalık tespiti, ürün verim tespiti, kimyasal kullanımı azaltma ve insan gücü ihtiyaını azaltma gibi çeşitli faydalarını ön plana çıkarmaktadır. Tarım robotlarının tarım uygulamalarını nasıl dnştrdğine yönelik çalışmalar yapmıştır.

Zimmer ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada çeşitli tarım alanlarında robotların ve robotik sistemlerin önemli rollerini sunmuş ve bunların tarıma elverişli bahçecilik ve ormancılıktaki uygulamalarına örnekler vermişlerdir. Ayrıca robotik uygulamaların zaman ve mekana ilişkin olarak tahmin edilenin üstünde yüksek hassasiyet seviyelerine ve tekrarlama hızına olanak sağladığını belirtmişlerdir.

Meshram ve diğ. (2021) zararlı böceklerle mücadele için kullanılan pestisit ilaçlarının solunum yoluyla çiftçilere verdikleri hasar nedeniyle pestisit ilaçlama için robotik bir çözüm geliştirmişlerdir. Bu kapsamda pestisit püskürtme operasyonlarını geliştirmeye yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Bagagiolo ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada sera üretim sistemlerinde tekrarlı ve tehlikeli insan gücüyle yapılan işlerin robotiklerle nasıl yapıldığına yönelik araştırma yapmışlardır. Şu ana kadar yapılan sera otomasyonu çalışmalarını incelemişlerdir. Seralarda kullanılan navigasyon, ürün tespiti ve meyve kavrama sistemleri için kullanılan teknolojileri incelemişlerdir.

Jawhar ve diğ. (2022) gelişen teknolojiyle birlikte tarım 4.0 konusunu ele almaktadırlar. Çoklu robot sistemleri, akıllı çiftlikler, kaynakların verimli kullanılması gibi konularda yapılan çalışmaları aktarmaktadırlar. Yaptıkları çalışmaların ana konusunu ise tarım 4.0 için kullanılan ağ mimarileri ve protokoller oluşturmaktadır.

Baek ve diğ. (2022) kırsal alanlarda yaşlanma ve nüfus azalması gibi sorunları belirterek kendi tasarladıkları mobil robotu tanıtmışlardır. ROS tabanlı çoklu yapay zeka derin öğrenme sistemi ile hareket algoritmalarını geliştirmişler ve tarımsal çalışma ortamında verimliliği artırmayı ve işçilik maliyetlerini düşürmeyi hedeflemişlerdir.

Ferehan ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada akıllı tarım uygulamaları için IOT (Internet of Things) teknolojilerinin öneminde vurgu yapmaktadırlar. Bu çalışma kapsamında çeşitli açık hava görevlerini gerçekleştirebilecek IOT tabanlı kablosuz mobil robot tasarımı yapmışlardır. Mobil tarım robotlarının araziden daha doğru ve verimli veriler elde etmede ve işgücünün azalmasında faydalı rol oynadığını belirtmişlerdir.

Berger ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada ağaçlara sarı sinek tuzağı koymuşlardır. Bu tuzakları yakalayabilmek için insansız hava aracı kullanmışlardır. Navigasyon ve nesne tespit algoritması kullanarak görsel konum verileri sağlamaya çalışmışlardır. İnsansız hava aracının bulanık kontrol algoritması kullanarak tuzaklara verimli bir şekilde yaklaşabilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Bu yaptıkları çalışmada elde edilen sonuçlar çoklu işbirlikçi robot mimarisinin uygulanabilirliği hakkında bilgi vermektedirler.

Emmi ve diğ. (2023) nesnelerin interneti (IoT) teknolojisindeki tekniklerin, tarıma yönelik otonom robotlar üzerinde kullanılması gerekliliğine dikkati çekmişlerdir. İnternet tabanlı teknolojilerin tarım robotlarına entegrasyonu, veri depolama, ölçeklenebilirlik, erişilebilirlik gibi birçok sorununa ilişkin çözüm getirmişlerdir.

Cheng ve diğ. (2023) dijital tarımdaki gelişmelerde tarım robotlarının önemine vurgu yapmışlardır. Son yıllarda bilgisayar bilimi, sensör ve kontrol yaklaşımlarında yaşanan gelişmeler sayesinde tarım robotları üzerindeki araştırmalarında artarak devam ettiğini belirtmişlerdir. Çoğu tarım robotunun yapay zeka ile entegrasyonunun olması nedeniyle kısıtlı ve küçük ölçekli işlemler için kullanıldığına vurgu yapmışlardır. Ayrıca birçok tarım robotunu incelemişlerdir. Tarım robotları üzerine araştırma eğilimleri ve yön göstergeleri ortaya koymaya çalışmışlardır.

Wang ve diğ. (2023) robot teknolojisindeki gelişmeyi vurgulayarak fenotip tespit robotlarının fenotipleme verilerinin çıkarılması ve analizinin yapılmasında kilit rol oynadığını belirtmişlerdir. Tarım ve ormancılıkta ta kullanılan bitki fenotipi tespit robotlarının tasarım kriterleri ve değerlendirme sistemi hakkında bilgi vermişlerdir. Bu robotların tasarımı ve uygulamalarında karşılaşılabilecek zorluklar hakkında bilgi vermişlerdir.

Car ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada robotiklerin çiftliklerde karmaşık makinaların yerini alma potansiyeline dikkat çekmişlerdir. Tarımda otonom robotlarla yapılandırılmış ekolojik yetiştirme adı verilen robotik bir sistem etrafında bir çiftlik oluşturmayı önermektedirler. Bu sistem sayesinde bitkilerin ideal büyüme koşullarında en iyi bakımı almaları sağlanmaya çalışılmıştır. Kullandıkları yapay zeka destekli kontrol algoritmalarıyla çift kollu manipülatör sayesinde tohumdan hasada kadar bitkilerin gelişimlerini kontrol altında tutmaya çalışmışlardır.

Leanza ve diğ. (2023) otonom tarımsal insansız kara araçlarında araç yönünün güvenilir bir şekilde bilinmesi için bazı çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada doğrusal regresyon analizi ve kalman filtresi kullanarak algoritmik bir çözüm ortaya koymaya çalışmışlardır. Piyasada mevcut pahalı sistemler yerine daha uygulanabilir bir yön belirleme sistemi kurmayı hedeflemişlerdir.

Emmi ve diğ. (2024) mobil robotların tarım alanlarında hassas ve etkili bir şekilde gezinme kabiliyetleri nedeniyle giderek önemini arttırdığını vurgulamışlardır. Mobil robotlarda haritalama, yerelleştirme, engel tespiti gibi konuların verimli navigasyon için önemine vurgu yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada tarımda kullanılan lazer tabanlı ayıklama araçları için rehberlik yöneticisi adında bir kontrol sistemi oluşturmuşlardır. Bu sistemi deney için hazırladıkları bir platformda denemişlerdir ve mevcut yöntemlerle karşılaştırmasını yapmışlardır.

Amertet ve diğ. (2024) tekerlekli mobil robot sistemlerinin tarımın gelecekte karşı karşıya kalacağı problemleri çözmesinde önemli rol alacağını belirtmişlerdir. Ancak tekerlekli mobil robot sistemlerinin kararsız durumda olması ve stabiliteyi artırmak için kontrol mekanizmalarına ihtiyaç duyduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada mobil robot için uygun bir kontrolör algoritması geliştirilmeye çalışılmıştır. PID kontrolörlerdeki eksiklikler, parametrelerdeki aksamalar veya dalgalanmalar nedeniyle doğrusal ikinci dereceden düzenleyici (LQR) yaklaşımı önerilmiştir.

Yerebakan ve Hu (2024) tarımsal alanlardaki robotik sistemlerin kullanımındaki artışa dikkat çekmişlerdir. Otonom çiftçiliğin büyük bir potansiyel barındırdığını ancak günümüz sistemlerin tarımsal operasyonları gerçekleştirmek için yetersiz kaldığına vurgu yapmaktadırlar. Bu nedenle insan-robot iş birliği sistemlerinin önemini anlatmışlardır. Yaptıkları çalışmada çeşitli insan-robot iş birliği sistemlerinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Bu karşılaştırmalar sonucunda ortaya koydukları bilgileri tarım alanında robotik çalışmalar yapan mühendisler için bir kaynak olarak sunmaya çalışmışlardır.

Diğer yöntemlerden farklı olarak tasarımını yaptığımız görüntü işleme temelli otonom sıra arası çapalama robotu portatif ve küçük tasarımı sayesinde sıra ekinlerinin tanımsız ve organik ortamında kolayca ilerleyebilecek ve gezdiği alanlardaki yabancı otları imha edecektir. Robotun ekonomik olarak uygulanabilir olması ve robotun pratik bir şekilde kullanımını sağlamak için içeriğinde duyuşal ekipman, RGB(Red-Green-Blue) kameralar, GPS(Global Positioning System) ve LiDAR(Laser Imaging Detection and Ranging) gibi düşük maliyetli, kullanıma hazır sensörler kullanılmaktadır.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında robot yabancı otları mekanik ve otonom olarak imha etmektedir. Ekin bitkilerini algılamak için optik sensör teknolojilerini, görüntü işleme, yapay zeka tekniklerini kullanmakta ve elde edilen bilgilerle birlikte dönen rulo çapa ve bıçak yardımıyla gezdiği yerlerdeki yabancı otları imha etmektedir. Çiftçi bu robot sayesinde arazide ekstra bir bakım yapmasına gerek kalmadan hasılat gününü masrafsız bir şekilde bekleyecektir.

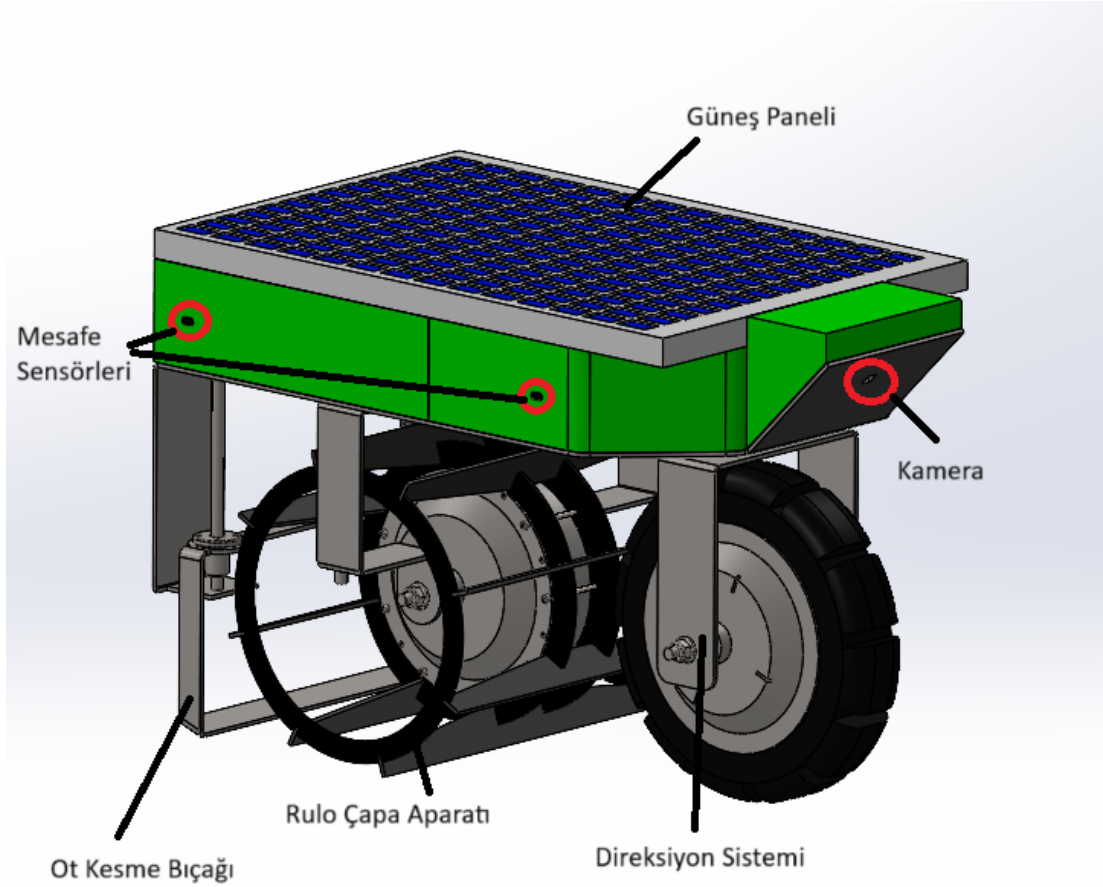
2. MOBİL ÇAPALAMA ROBOTU TASARIMI

Bu başlık kapsamında mobil tarım robotunun mekanik tasarımı, mekanik analizi ve kontrolü için uygulanacak olan yol haritası ve yöntemler sunulacaktır. Bu çalışmada otonom mobil tarım robotunun zorlu arazi şartlarına dayanıklı olacak şekilde tasarımı yapılmıştır. Robot üzerinde kendine verilen görevi yerine getirebilmesi için mekanik ve elektronik tertibat tasarlanmıştır. Kontrol sistemi mini bilgisayar (Jetson Nano) kullanılarak geliştirilmiştir. Kontrol yazılımı Linux işletim sisteminde Python yazılım dili kullanılarak geliştirilmiştir. Motor sürücülerini kontrol etmek için pwm dalga tekniklerinden yararlanılmıştır. Robotun hareket kontrolünü sağlamak için 4 adet lazer mesafe sensörü kullanılmıştır. Bu sensörler sayesinde sıra ekinlerinin arasında uygun mesafe tespit edilebilmiştir. Daha sonra bu mesafe, mini bilgisayara bağlı kamera sayesinde görüntü işleme teknikleriyle oluşturulan piksel yoğunluk algoritmasında güven katsayısı olarak kullanılmıştır. Kameradan gelen görüntü üzerinde YOLO-v5 algoritması kullanılarak bütün bitkilerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında bütün bitkilerinin olmadığı toprak alanlar tespit edilmiş ve bu alanlarda robot hareket ederek yabancı otların temizlenme ve toprak havalandırma faaliyeti gerçekleştirilmiştir.

2.1 Mekanik Tasarım

Robotun tasarımı yapılırken öncelikle Solidworks programının çizim ortamında mekanik tasarım tamamlanmıştır. Bu tasarım robotun arazi şartlarında hareketine uygun olacak şekilde yapılmıştır. Robotun hareket edeceği alanın toprak olması nedeniyle yol tutuşunu ve hareketini sağlayabilmek için geniş yüzey alanı olan tekerlek tasarımı yapılmıştır. Robotun toprağın havalandırılması amacına uygun çapalama ve ot kesme bıçağı için gerekli tasarım çalışmaları yapılmıştır.

Şekil 2.1'de tasarımı yapılan robotun mekanik tasarımının katı model perspektif resmi gösterilmiştir. Robotun mekanik donanım ekipmanları ile tasarımı Solidworks programı ile oluşturulmuştur. Tasarlanan robotta tahrik momenti 2 adet 500 watt bldc hub motor tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 2.1: Otonom mobil tarım robotunun katı model görüntüsü

Bu motorlardan biri rulo çapa aparatına bağlıdır. Diğer motor ise ön tekerleğe bağlıdır. Robotun yönelimlerini direksiyon görevi gören 1 adet step motor yönetmektedir. Bu motor, robotun ön tekerleğinin bağlı olduğu aksamı istenilen açıda döndürür. Robotun en arka kısmında bulunan kesme bıçağının toprağa dalma açısı, taş sıkışmasının önlenmesi veya robot ilerleyişinin zorlanmasının önlenmesi amacıyla ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Bunun için bir adet step motor kullanılmıştır. Tahrik motorlarının hız ayarı pwm kontrollü yüksek akım bldc motor sürücülerini aracılığı ile sağlanmıştır. Pwm dalgaları jetson nano kartı aracılığıyla üretilmiştir.

Motorlara gerekli olan enerji 12 voltluk 60 ah(amper-saat) 1 adet lityum batarya tarafından sağlanmıştır. Ayrıca bu batarya, güneş paneli sayesinde şarj regülatörü ile desteklenmektedir. Böylece robotun çalışma süresi uzatılmıştır. Lityum

batarya tercih edilmesinin nedeni diğer bataryalara göre daha hafif olması ve daha az alanda daha çok enerji depolamasıdır.

Bataryanın dolumu dışarıdan şarj edilerek veya güneş paneli sayesinde gerçekleşmektedir. Güneş paneli tercih edilirken monokristal panel tercih edilmiştir. Bunun nedeni diğer polikristal güneş panellerine göre monokristal güneş panellerinin daha verimli olmasıdır. Yani monokristal güneş panelleri daha az alanda daha çok enerji üretmektedir.

Aşağıda mobil robotta kullanılan mekanik tertibat ve kullanılan parçalar tanıtılmıştır.

Mobil tarım robotunun mekanik tasarımında öncelikle robotun amacına yönelik bir taslak çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda robotun alt kısmında toprak yüzeyin yumuşatılabilmesi için çapa bıçakları ve bunun arkasından yabancı otları kesebilmesi için kesme bıçağı tasarlanmıştır.

Çapalama aparatı tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulan durum toprağın sertlik derecesidir. Toprağın sertlik derecesi tarım makinaları için önemlidir. Toprağın sertlik derecesine göre çapalama aparatına toprak tarafından gelen kuvvet değişkenlik göstermektedir. Toprağın sertlik derecesi daha önceden hesaplanmış ve tarım makinaları tasarımında standartlaşmış olan çeşitli toprak çeşitlerine göre değişkenlik göstermektedir.

Acar ve diğ. (2014) yapmış olduğu çalışmalara göre; temelde topraklar hafif, hafif-orta, orta ağır, orta ağır-ağır ve ağır topraklar olmak üzere 5 gruba ayrılmaktadır.

Yapılan çalışmalarda hafif toprakların yapısı kum, humuslu kum, killi kum ve kireçli kum şeklindedir. Bu toprakların özgül ağırlığı 1,4- 2,2 kp/dm³ aralığında tespit edilmiştir. Hafif toprakların özgül toprak direnci 20-32 kp/dm² aralığında olduğu gözlenmiştir (Acar ve diğ. 2014).

Hafif-orta ağır toprakların yapısı humus, kumlu humus, tınlı humus ve killi humus şeklindedir. Bu toprakların özgül ağırlığı 1,5 – 1,6 kp/dm³ aralığında tespit

edilmiştir. Hafif-orta ağır toprakların özgül toprak direnci 23-35 kp/dm² aralığında olduğu gözlenmiştir (Acar ve diğ. 2014).

Orta ağır toprakların yapısı kireçli marn, kumlu marn, tınlı marn ve killi marn şeklindedir. Bu toprakların özgül ağırlığı 1,6 – 1,75 kp/dm³ aralığında tespit edilmiştir. Orta ağır toprakların özgül toprak direnci 25-40 kp/dm² aralığında olduğu gözlenmiştir (Acar ve diğ. 2014).

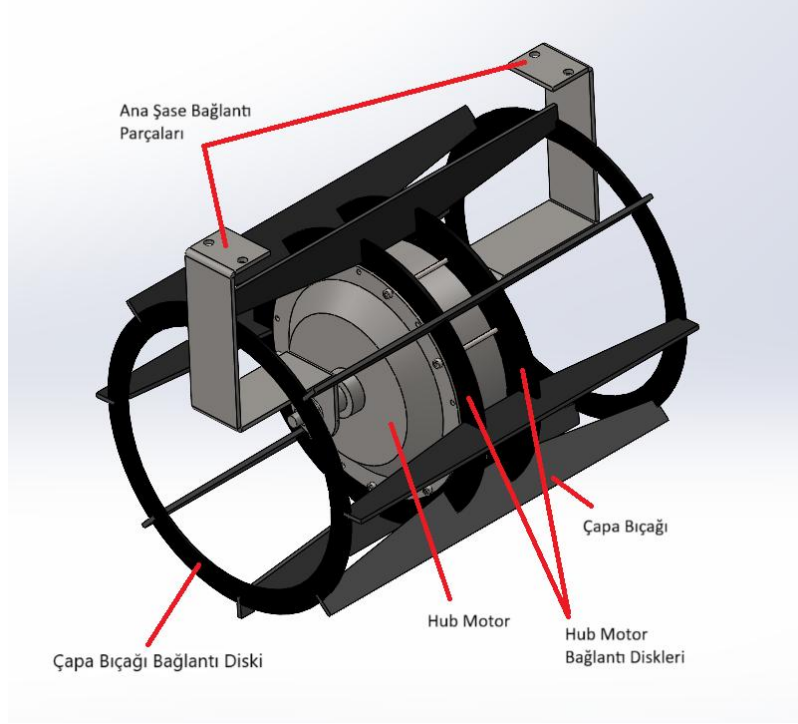
Orta ağır-ağır toprakların yapısı tın, kumlu tın, humuslu tın ve kireçli tın şeklindedir. Bu toprakların özgül ağırlığı 1,7- 1,8 kp/dm³ aralığında tespit edilmiştir. Orta ağır-ağır toprakların özgül toprak direnci 30-50 kp/dm² aralığında olduğu gözlenmiştir (Acar ve diğ. 2014).

Ağır toprakların yapısı ise killi, humuslu killi, ağır tınlı, kireçli killi şeklindedir. Bu toprakların özgül ağırlığı 1,85 – 2,3 kp/dm³ aralığında tespit edilmiştir. Ağır toprakların özgül toprak direnci 35-100 kp/dm² aralığında olduğu gözlenmiştir (Acar ve diğ. 2014).

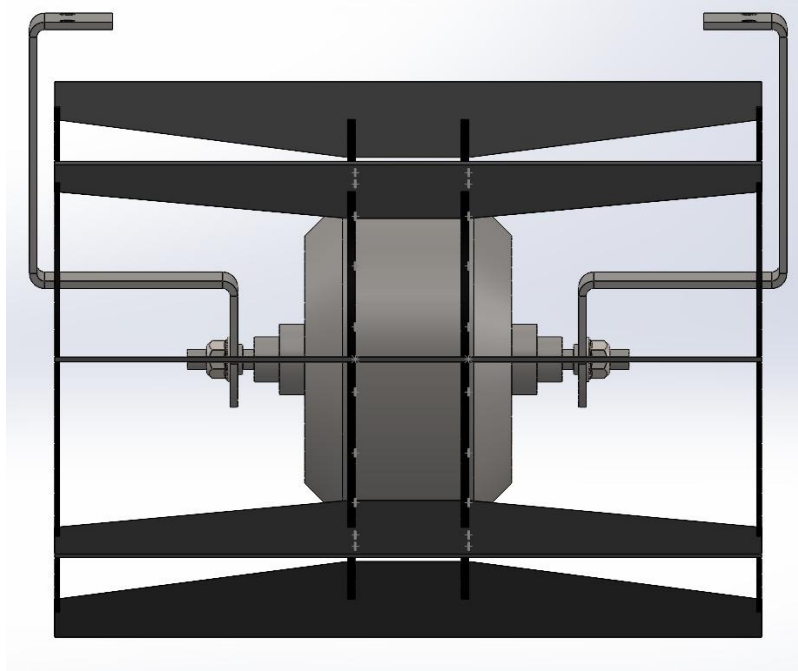
Yapılan bu tez çalışması kapsamında genel olarak birçok yerde bulunan orta – ağır toprak grubu baz alınmıştır. Bu toprak grubunun seçilmesindeki neden özgül toprak direnci hakkında ortalama bir değer sunması ve genellikle bütün ekiminin yapıldığı toprak yapısına uygun olmasıdır.

Orta ağır toprakların özgül toprak direnci 25-40 kp/dm² arasında değişkenlik göstermektedir. Bu değer aralığına göre toprağın robot üzerine uyguladığı kuvvet değişkenlik göstermektedir. Tasarımlar bu durum göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Aşağıda rulo çapalama aparatı ve diğer parçaların mekanik tasarımı ile ilgili bilgiler verilmiştir.

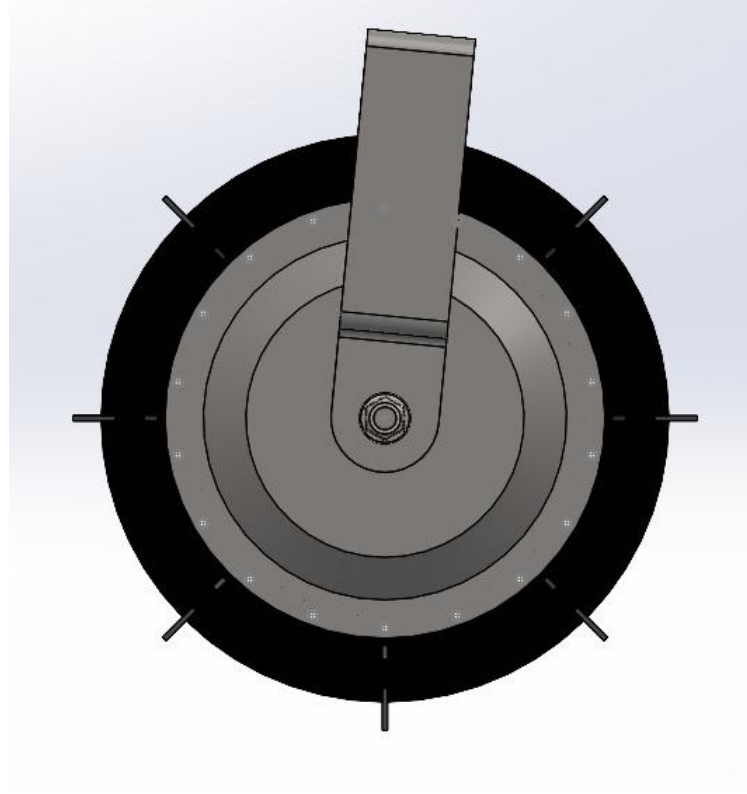
Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te sırasıyla rulo çapalama aparatının katı model görüntüleri verilmiştir. Rulo çapalama aparatının boyutu sıra arası mesafesine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında bütün tarımında sıra arası mesafesinin genellikle 40 cm olması nedeniyle boyut olarak 30 cm'lik bir tasarım yapılmıştır. Bu sayede robot sıra aralarında yeterli çalışma alanını bulmaktadır.



Şekil 2.2: Rulo çapalama aparatının katı model görünümü



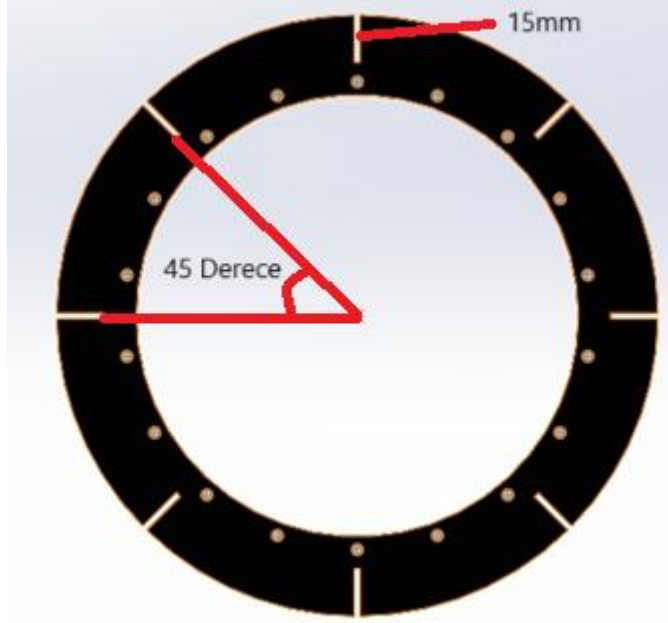
Şekil 2.3: Rulo çapalama mekanizması katı modelinin önden görünümü



Şekil 2.4: Rulo çapalama mekanizması katı modelinin sol yan görünümü

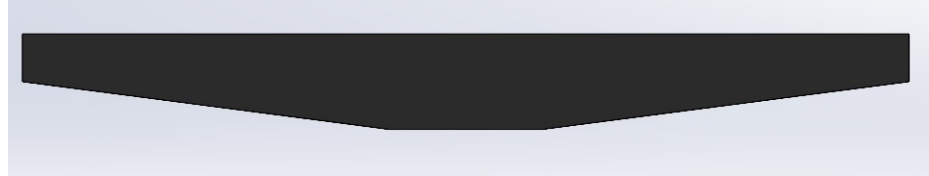
Rulo çapalama aparatı toprak yüzeyinde rahat hareket etmesi için içten tahrikli bir şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım kapsamında 500 watt hub motora bağlantı için bağlantı diski tasarımı yapılmıştır. Bağlantı diski, hub motorlara civatalı bağlantı ile bağlanmıştır. 8 adet çapa bıçağı bağlantı diskine kaynaklı bağlantı ile bağlanmıştır. Çapalama aparatı sayesinde toprak yüzeyi yumuşatılmış ve arkadan gelen ot kesme bıçağının toprak yüzeyinde karşılaşacağı mukavemet düşürülmüştür.

Şekil 2.5'te çapa bıçaklarının hub motora bağlantısının yapılabilmesi için tasarlanan bağlantı diskinin katı modelinin ön görünümü gösterilmiştir. Bağlantı diski tasarımı yapılırken rulo çapanın toprak yüzeyinde dönel bir şekilde hareket edebilmesi durumu düşünülmüştür. Bu kapsamda 8 adet çapa bıçağının kaynaklı montajının yapılacağı 45 derecelik açılarla 15 mm derinlikli çapa bıçağı yatakları bırakılmıştır. Çapa bıçakları montajı tamamlandıktan sonra rulo çapa toprak yüzeyde kolaylıkla dönebilmekte ve toprağa tutunmaktadır. Böylece rulo çapa her döndüğünde toprak yüzeyinden 1 cm aşağıya kadar bıçaklarını daldırmakta ve toprak yüzeyinin yumuşatılması sağlanmaktadır. Bağlantı diski 3 mm kalınlığında S235JR sac metalden tasarlanmıştır.



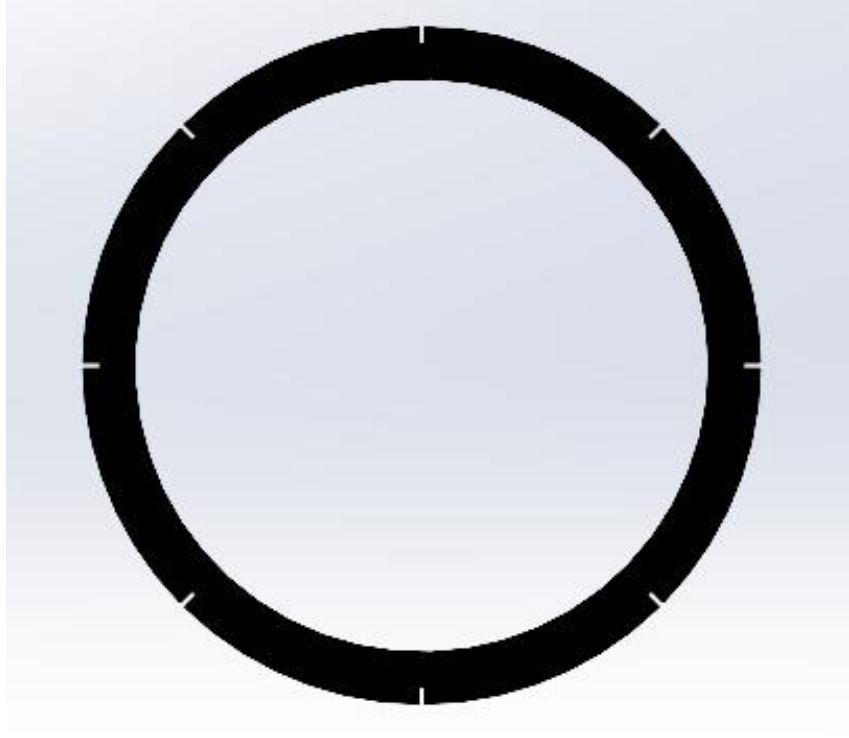
Şekil 2.5: Bağlantı diski

Şekil 2.6’da kesme bıçaklarının katı modelinin ön görünüşü gösterilmiştir. Çapa bıçaklarının tasarımı yapılırken bağlantı diskleri arasındaki mesafe ve çapalama yapacağı alan dikkate alınarak bir tasarım yapılmıştır. Çapa bıçakları 2 mm kalınlığında S235JR sac metalden tasarlanmıştır.



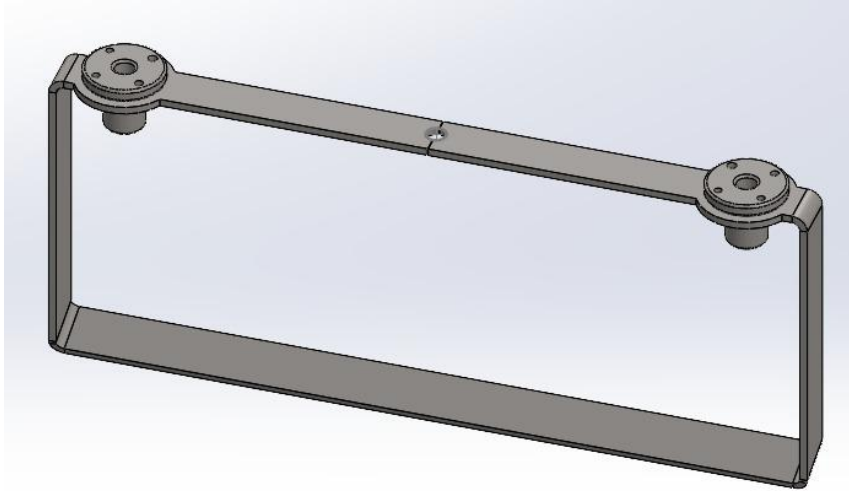
Şekil 2.6: Çapa bıçağı

Çapa bıçaklarının ankastre bir şekilde bağlı olması nedeniyle yanal eğilmelere müsaittir. Bu nedenle çapa bıçaklarının eğilme mukavemetlerini artırmak amacıyla Şekil 2.7’de görüldüğü gibi çapa bıçağı diski geliştirilmiştir. Bu disk sayesinde çapa bıçaklarının eğilme mukavemeti tasarımsal olarak artırılmaya çalışılmıştır. Disk 2 mm kalınlığında S235JR sac metalden tasarlanmıştır.



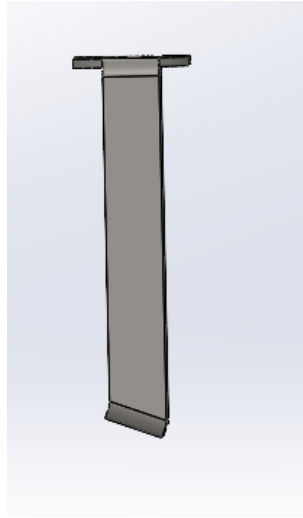
Şekil 2.7: Çapa Bıçağı Diski

Rulo çapalama aparatında yer alan diğer önemli bir parça olan ot kesme bıçağının katı modelinin perspektif görünümü Şekil 2.8’de verilmiştir.



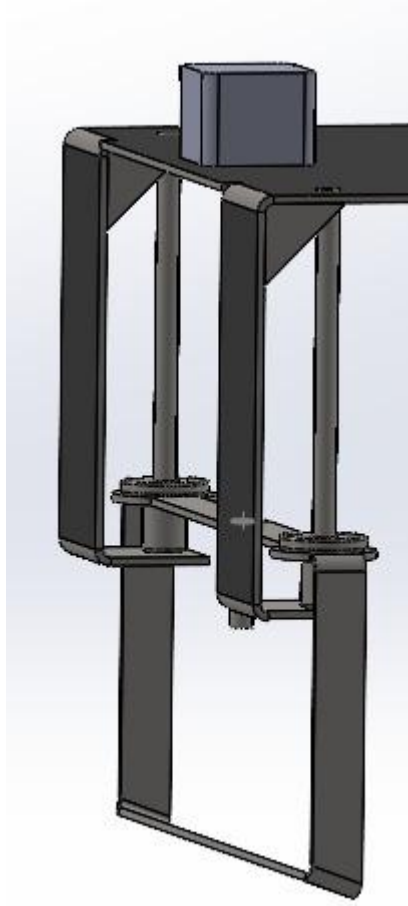
Şekil 2.8: Ot kesme bıçağı

Ot kesme bıçağı, toprak yüzeyinden 1 cm derine dalabilmesi amacıyla açılı bir şekilde tasarlanmıştır. Bıçak açılı bir şekilde tasarlanması sayesinde robot ileri hareket ettikçe toprak yüzeyinin altına dalmaya çalışacaktır. Ancak robot toprak yüzeyinin altına ne kadar çok dalarsa karşılaşıacağı yükte o kadar artacaktır. Bu nedenle robotun ileri hareketi esnasında kesme bıçağının toprağa en fazla 1 cm dalacak şekilde tasarımı yapılmıştır. Ot kesme bıçağındaki açılabilir kısım Şekil 2.9'da verilen ot kesme bıçağının katı modelinin sol yan görünümünde görülmektedir.



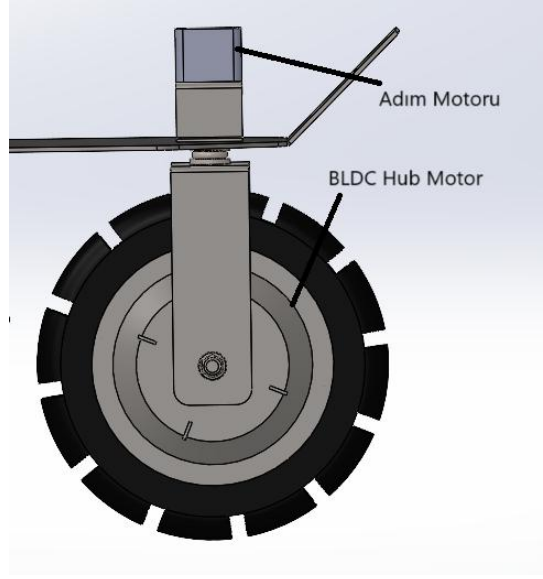
Şekil 2.9: Ot kesme bıçağı katı modelinin sol yan görünümü

Şekil 2.10'da ot kesme bıçağının toprağa dalma miktarını ayarlayan mekanizmanın katı model perspektif görüntüsü görülmektedir. Ot kesme bıçağının toprağa dalma miktarının ayarlanabilmesi için, bıçağın bağlı olduğu gövdeye 2'şer adet lineer rulman ve lineer miller yerleştirilmiştir. Ayrıca sistemin aşağı yukarı tahrik ettirilebilmesi için 1 adet step motor kullanılmıştır. Aşağı ve yukarı hareket edebilmesi için 1 adet vidalı mil ve 1 adet vidalı somun kullanılmıştır. Vidalı mile bağlı step motor sayesinde ot kesme bıçağının aşağı ve yukarı istenilen mesafede hareket etmesi sağlanmıştır.



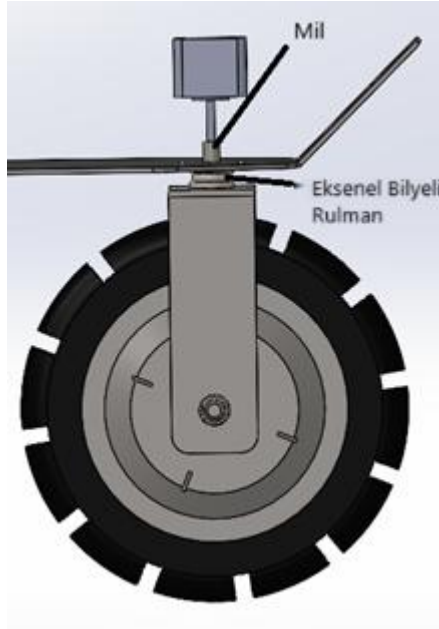
Şekil 2.10: Ot kesme bıçağı hareket sistemi

Robotun direksiyon sisteminde dönme faaliyetini gerçekleştirebilmek için Şekil 2.11’de gösterildiği gibi bir adet adım motoru kullanılmıştır. Adım motorun dönme açısı kameradan gelen verilere göre ayarlanmaktadır. Adım motor, robotun şasesine civatalı bağlantı ile bağlanmıştır ve ön tekerleği kontrol etmektedir. Öndeki arazi tekerleği içten tahriklidir. Tekerleğe 500 watt hub motor bağlıdır. Bu motor ve arka kısımda bulunan diğer hub motor sayesinde robotun tahriki sağlanmaktadır. Hub motor robotun şasisine S235JR sac metal parça ve somunlu bağlantı ile bağlanmıştır.



Şekil 2.11: Direksiyon sisteminin yan görünüşü

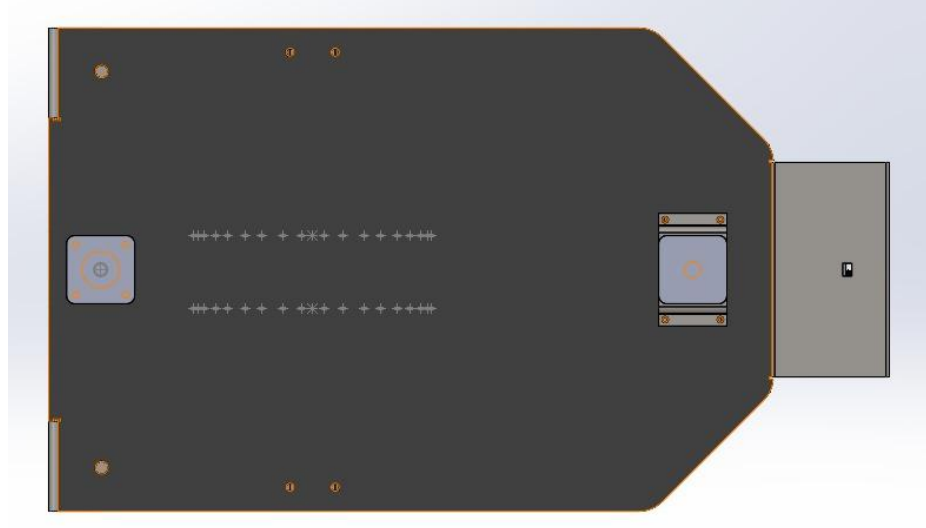
Şekil 2.12’de gösterildiği gibi ön tekerlek sabitleyici parça, step motora 10mm kalınlığında lineer mil ile bağlıdır. Robotun şasesi ile sabitleyicinin mili arasında aksel bilyeli rulman yer almaktadır. Böylece aksel yükler rulman tarafından karşılanarak dönme hareketi gerçekleştirilebilmektedir.



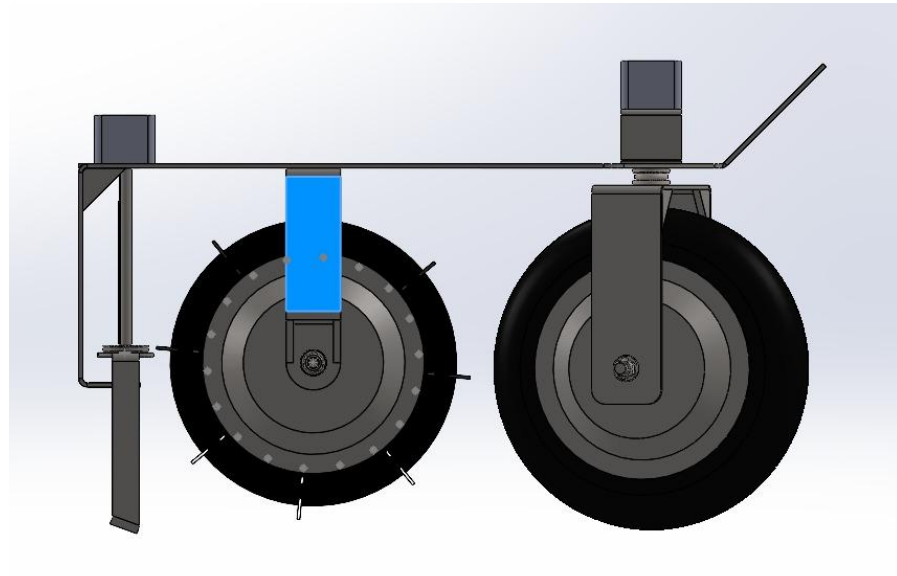
Şekil 2.12: Ön tekerleğin bağlı olduğu mil ve aksel bilyeli rulmanın gösterimi

Şekil 2.13, Şekil 2.14, Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da robotun şasesinin farklı yönlerden tasarım görüntüleri verilmiştir. Robotun şasesi 5 mm S235JR çelik sac levhadan tasarlanmıştır. Yabani ot kesme bıçağı, rulo çapalama aparatı ve direksiyon

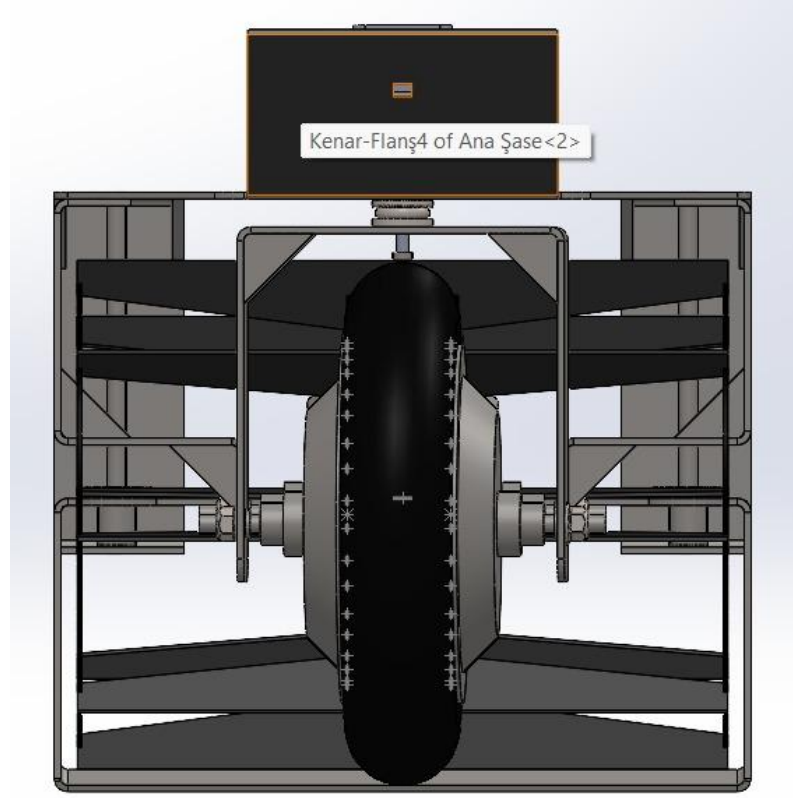
sisteminin şaseye montajının yapılacağı kısımlara gerekli delikler tasarıma uygun şekilde yerleştirilmiştir. Aşağıda şasenin gerekli tertibat ile montajının tamamlanmış halinin ön, yan ve üstten görüntüleri ile perspektif görüntüsü verilmiştir.



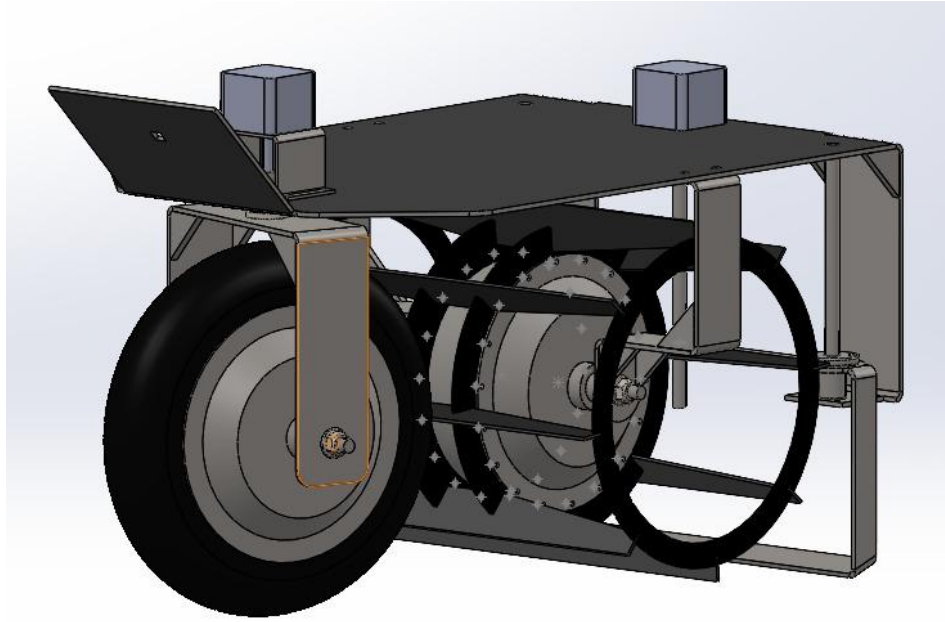
Şekil 2.13: Otonom mobil tarım robotu şase bağlantısı üstten görüntüsü



Şekil 2.14: Otonom mobil tarım robotu şase bağlantısı yandan görüntüsü



Şekil 2.15: Otonom mobil tarım robotu şase bağlantısı ön görüntüsü



Şekil 2.16: Otonom mobil tarım robotu şase bağlantısı izometrik görüntüsü

2.2 Mekanik Analiz

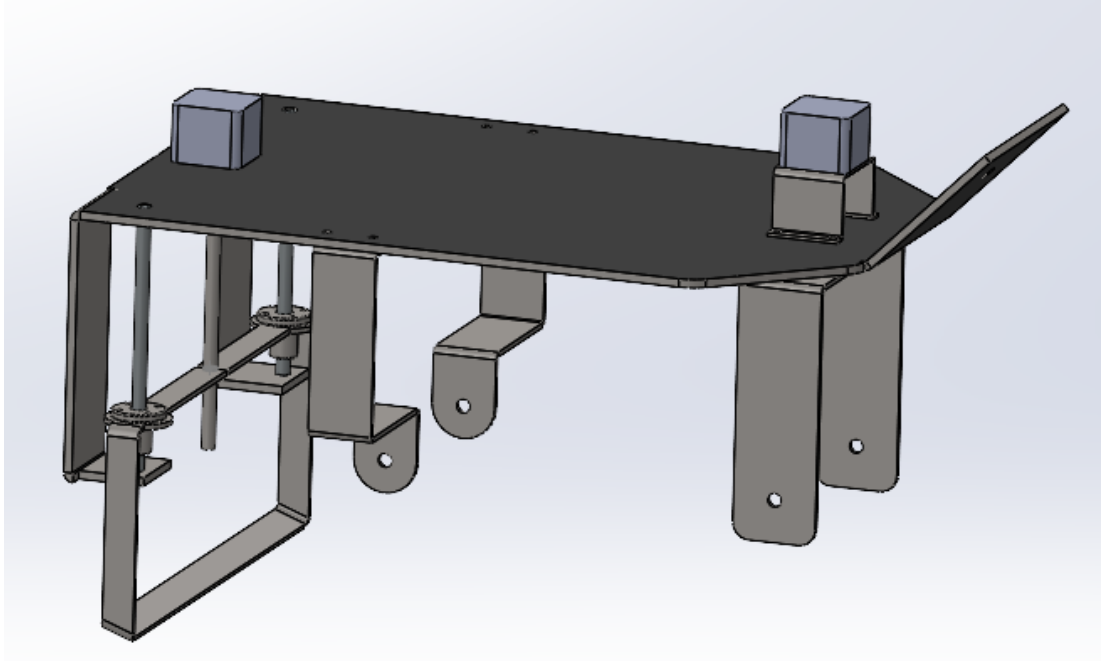
Mekanik analiz çalışmaları, robotun arazi şartlarında istenilen şekilde çalışabilmesi için yapılması gereken zorunlu bir aşamadır. Mekanik analiz çalışmaları kavramsal tasarımı doğrudan etkilemektedir. İlk aşamada gerçekleştirilen mekanik tasarım ile ilk boyutlandırma yapılmış, daha sonra yapılan mekanik analiz çalışmaları ile revize edilerek test edilmiştir. Mekanik analiz çalışmaları ile parçalar üzerinde ihtiyaç duyulan motor torku hesabı, şekil değiştirme miktarları, akma mukavemetine dayanıklılık gibi bazı hesaplamalar yapılabilmekte ve bu sonuçlar ile mekanik tasarımda uygun değişiklikler yapılabilmektedir. Bu değişikliklere örnek olarak, uygun motor seçiminin belirlenmesi, seçilen malzemenin uygunluğunun test edilmesi gösterilebilmektedir.

Mekanik analiz çalışmaları için SolidWorks programının simülasyon modülleri belirlenmiştir. Statik analiz çalışmaları Solidworks Simulation ortamında gerçekleştirilmiştir. Dinamik analiz çalışmaları Solidworks Motion Study ortamında hareket etüdü oluşturularak yapılmıştır.

2.2.1 Statik Analiz

Robotun hareket etmeyen parçalarında meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmelerin müsaade edilebilir sınırlar içerisinde olup olmadığını anlayabilmek için statik analiz çalışması yapılmıştır. Robotun özellikle kritik yüklere maruz kalacak kısımları için bu çalışmanın yapılması gereklidir. Bunun için SolidWorks programının Simulation alt modülü kullanılmıştır.

Statik analiz çalışması şaseye bağlı olan parçalar üzerinden yapılmıştır. Çünkü robot üzerine gelen yükü şase ve şasenin alt tarafında bağlı olan ot kesme bıçağı, çapalama aparatı ve direksiyon sistemi karşılamaktadır. Bu nedenle statik analiz çalışması Şekil 2.17'de gösterildiği şekilde yükten etkilenecek parçaların montajı üzerinden gerçekleştirilmiştir.

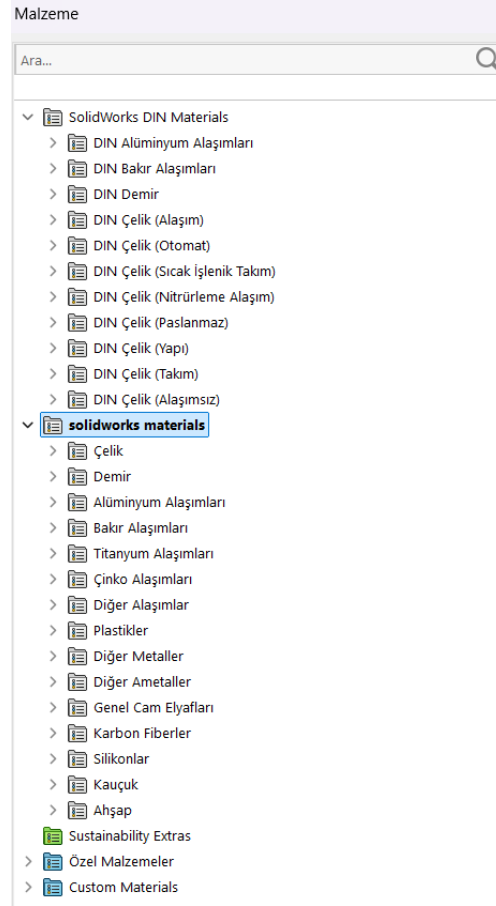


Şekil 2.17: Statik analizi yapılan montaj resmi

Solidworks Simulation ortamında statik analiz yapabilmek için öncelikle bazı tanımlamalar yapılması gerekmektedir. Bunlar malzeme tanımlaması, bileşen etkileşimleri, sınır koşullarını tanımlama, kuvvet etkisinin sisteme girilmesi ve ağ (mesh) tanımlamasıdır.

2.2.1.1 Malzeme Tanımlamaları

Statik analiz çalışması yapabilmek için öncelikle parçaların malzemelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Parçalar için SolidWorks programında malzeme tanımlaması yapılırken ya özel malzeme tanımlaması yapılarak malzemenin akma mukavemeti, çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri dışarıdan girilerek tanımlanır veya doğrudan malzeme kütüphanesinden kullanılmak istenilen malzeme varsa hazır malzemeler içerisinde seçilerek belirlenir. Şekil 2.18’de gösterildiği gibi SolidWorks programının oldukça geniş bir malzeme kütüphanesi mevcuttur. Akma mukavemeti, çekme dayanımı, elastisite modülü gibi değerlerin uygun aralıkta olması için statik analiz çalışması sonucunda hesaplanan değerler göz önünde bulundurulmuş ve malzeme tanımlamaları yapılmıştır.



Şekil 2.18: SolidWorks programı malzeme kütüphanesi

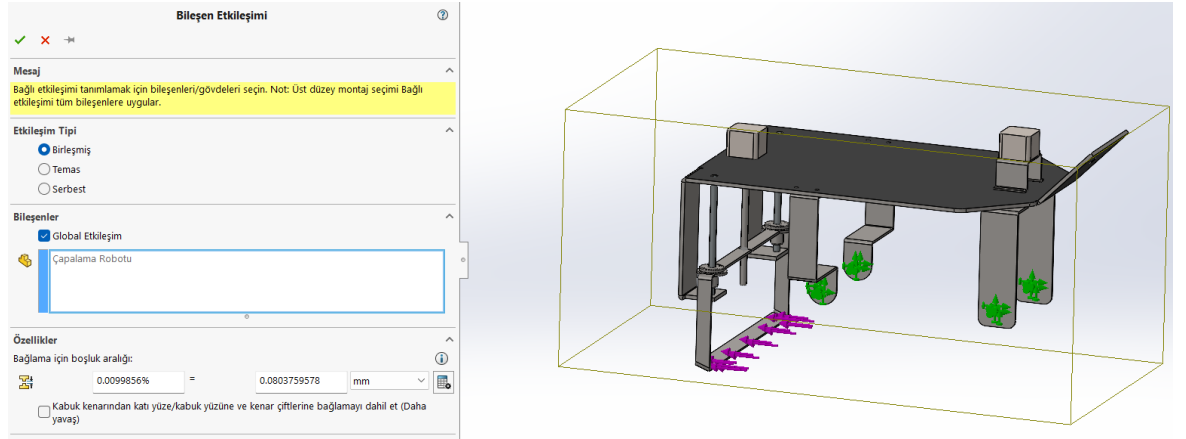
Bu çalışmada tasarlanan robotta kullanılan malzemeler, statik analizde kullanılmak üzere Şekil 2.19’da gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 2.19: Robot parçalarının malzemelerinin tanımlaması

2.2.1.2 Bileşen Etkileşiminin Tanımlanması

Bileşen etkileşimi robotun üretimi yapılırken parçaların birbirine olan bağlantı şeklini ifade etmektedir. Robotun parçaları birbirine kaynaklı bağlantı ile bağlanmıştır. Bu nedenle montaja ait statik analiz yapıldığından, robotun statik analizi yapılırken parçaların global etkileşim içinde olduğunu Şekil 2.20’de gösterildiği gibi belirtilmesi gerekmektedir.

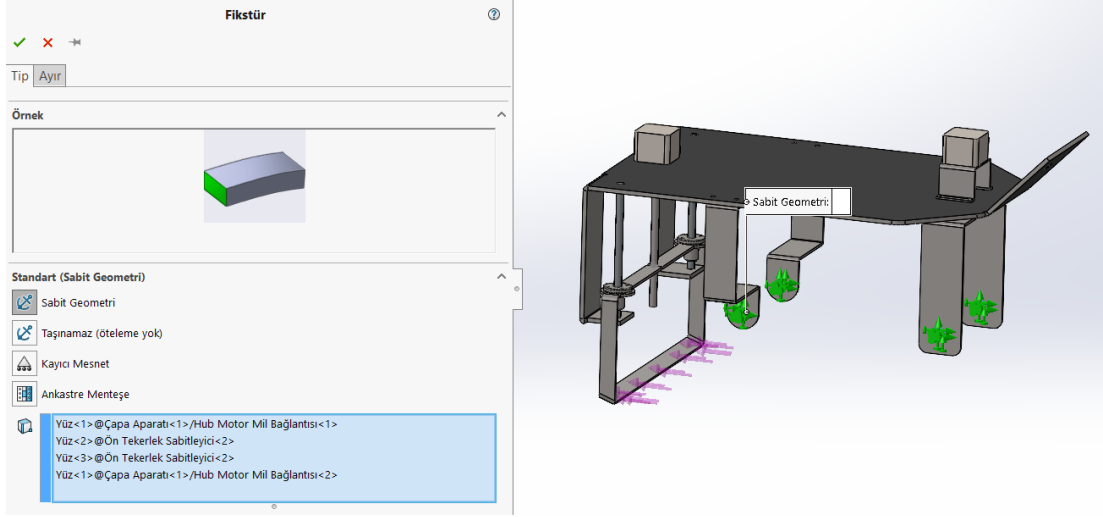


Şekil 2.20: Bileşen etkileşimi

Şekilden de görüldüğü üzere bileşen etkileşimi tanımlanırken etkileşim tipi birleşmiş seçilmiştir. Robotun bileşenleri seçilirken tüm bileşenlerin birbirine bağlı olması gerekmektedir. Bu nedenle tüm parçaların birbirine kaynaklı bağlantı ile bağlandığını belirten global etkileşim seçilmiştir. Bağlantı için boşluk aralığı sistem tarafından otomatik olarak verilmiştir. Robotun tasarımı yapılırken bütün parçaların birbirine olan montaj ilişkisi çakışık olarak seçilmiştir. Bu nedenle parçalar arasında boşluk aralığı 0 mm’dir.

2.2.1.3 Sınır Koşullarının Tanımlanması

Sınır koşulları tanımlama imal edilen robotun statik analizinin yapılabilmesi için gereklidir. Sınır koşulları yapısı, robot üzerinde hareketsiz veya kısıtlı hareket eden kısımların robot tasarımındaki yapısına uygun şekilde seçilmesi ile belirlenir. Statik analiz çalışması için yapılan sınır koşulları tanımlaması Şekil 2.21’de gösterildiği şekilde yapılmıştır.



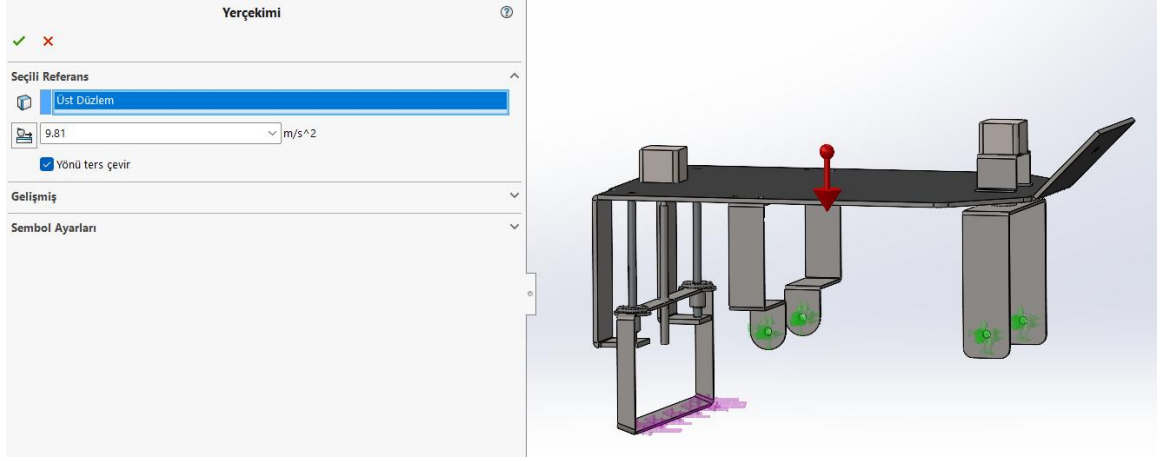
Şekil 2.21: Sınır Koşullarını Tanımlama

Fikstür tanımlaması için sabit geometri kullanılmıştır. Sabit geometri seçilen yüzler analiz sırasında hareket etmemektedir. Sabit geometri olarak motorların millerinin temas ettiği noktalar seçilmiştir.

2.2.1.4 Kuvvet Etkisinin Sisteme Girilmesi

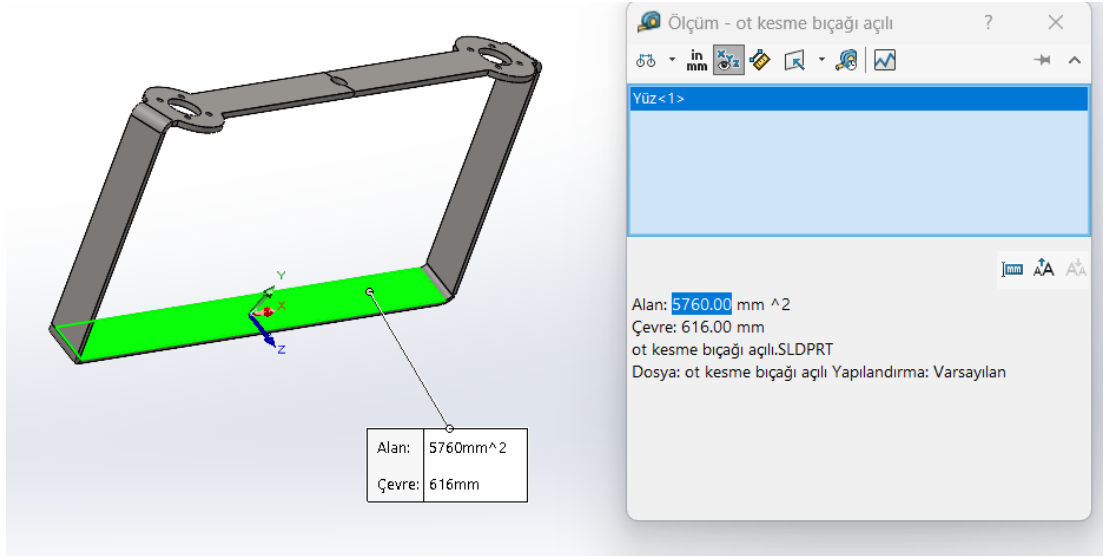
Statik analiz çalışmaları için kuvvet tanımlaması yapılmalıdır. Bu nedenle yerçekimi kuvvetinin tanımlanması ve toprak tarafından robota gelen kuvvetin hesap edilmesi gerekmektedir.

Yerçekimi kuvveti Şekil 2.22'de gösterildiği gibi istenilen yön belirlenerek tanımlanmıştır. Yerçekimi kuvveti 9,81 Newton olarak düşey ekseninde ok yönünde girildiği gösterilmiştir.



Şekil 2.22: Yerçekimi kuvvetinin tanımlanması

Kesme bıçağına gelen kuvvet hesaplanırken orta ağır toprak grubu baz alınmıştır. Orta ağır toprak grubunun özgül toprak direnci 1m/s hız için ortalama 30 kgf/dm²'dir (Acar ve diğ. 2014). Birim dönüşüm hesabı yapılabilmesi için kesme bıçağının kesim esnasında kuvvete maruz kalan kısmının toprak ile temas eden yüzey alanı tespit edilmiştir.

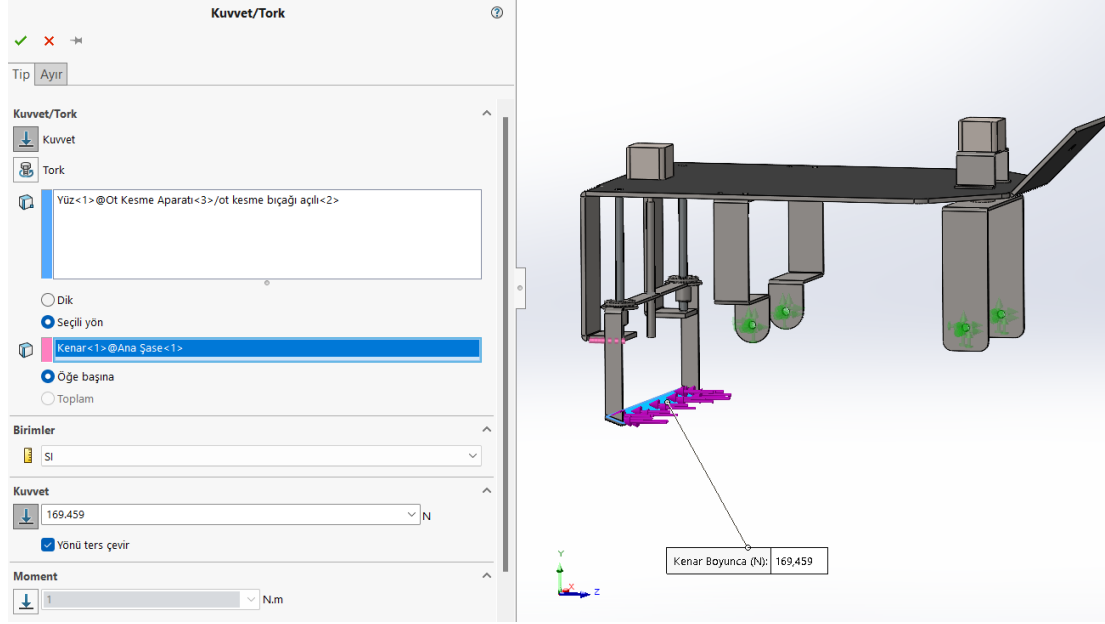


Şekil 2.23: Ot kesme bıçağı toprak temas eden yüzey alanı gösterimi

Ot kesme bıçağının kesim esnasında kuvvete maruz kalan kısmının yüzey alanı Şekil 2.23'te gösterildiği gibi 5760 mm²'dir. Bu alana etkiyen kuvveti bulabilmek için öncelikle mm²'nin dm²'ye dönüşümünün yapılması gerekmektedir. Bu dönüşüm yapıldığında yüzey alanı 0,576 dm²'dir.

1 kgf = 9,80665 Newton'dur. Özgül toprak direnci için 0,576 dm²'lik alana uygulanması gereken kuvvet $30 \cdot 9,80665 \cdot 0,576 = 169,459$ Newton olarak bulunmuştur.

Hesaplanan bu kuvvetin sisteme girilmesi Şekil 2.24'te gösterilmiştir.



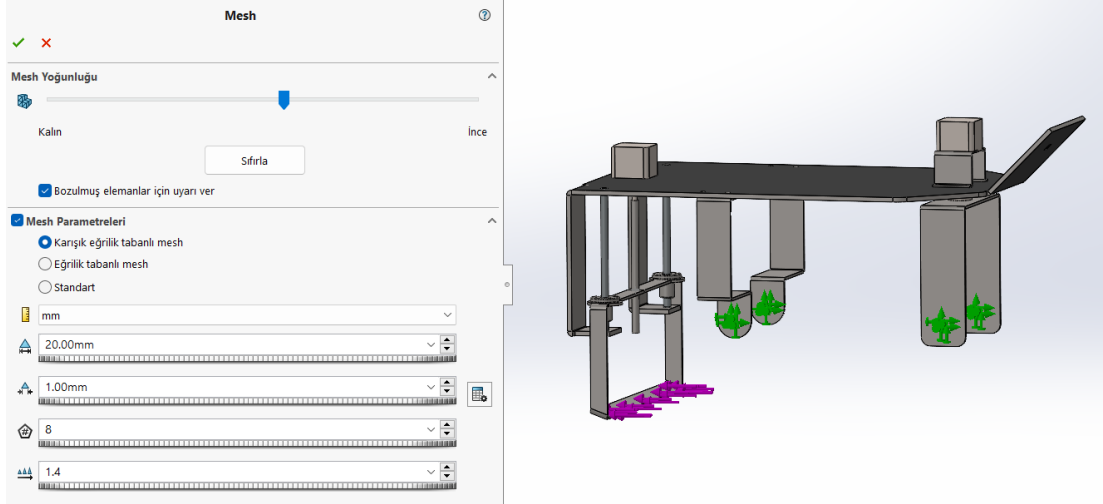
Şekil 2.24: Kuvvet tanımlamasının yapılması

Statik analiz yapılabilmesi için gereken kuvvet tanımlaması -Z yönünde yapılmıştır. Z eksenini seçilmesinin nedeni kuvvetin hareket yönünün tersi yönünde oluşmasıdır. Kuvvetin uygulanması gereken yüzey alanı kesme bıçağının toprağa daldığı kısım olarak seçilmiştir.

2.2.1.5 Ağ (Mesh) Tanımlaması

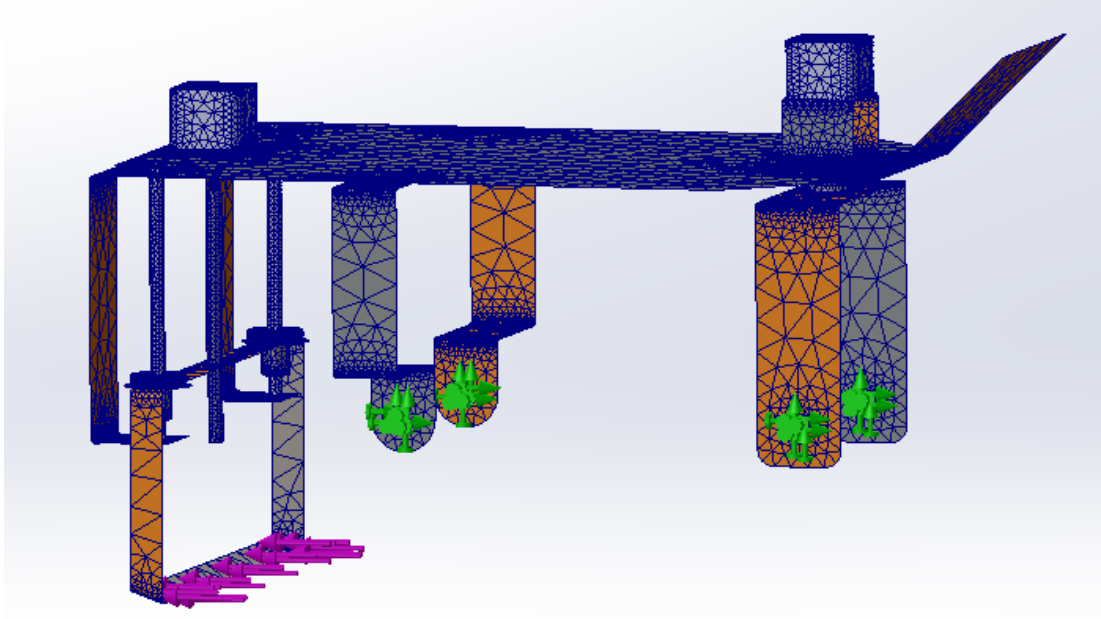
Solidworks programının Simulation alt modülü statik kuvvet hesabında sonlu elemanlar metodunu esas almaktadır. Sonlu elemanlar metodu analizi yapılacak parçanın küçük elemanlara ayrılması yani parçanın ağ modelinin oluşturulması gerekmektedir. Burada yapılan statik analiz ile değerlendirilmesi istenilen kritik bölgelerin şekil değiştirme ve gerilme değerleri elde edilmiştir.

Ağ (mesh) oluşturma işleminde elde edilen küçük parçalara mesh elemanı denilmektedir. Şekil 2.25'te gösterildiği gibi ağ çeşidi olarak karışık eğrilik tabanlı ağ yapısı seçilmiş ve gerekli parametreler sisteme girilmiştir. Bu mesh oluşturma işlemi için önemli olan veriler maksimum eleman boyutu, minimum eleman boyutu, daire içindeki minimum eleman sayısı ve eleman boyutu büyüme oranıdır.



Şekil 2.25: Mesh Tanımlama

Burada maksimum eleman boyutu 20 mm, minimum eleman boyutu 1 mm, daire içindeki eleman sayısı 8 adet ve eleman boyutu büyüme oranı 1,4 olarak girilmiştir. Bu verilerin bu şekilde girilmesinin nedeni hesaplama esnasında bilgisayarın işlem sürecini kısaltmaktır. Ağ işlemindeki elemanların boyutlarının küçültülmesi sonuca daha doğru bir şekilde yaklaşılmasını sağlarken hesaplama esnasında işlem yükünü artırdığında hesaplama süresi uzamaktadır. Bu veriler sonucunda oluşan ağ model görüntüsü Şekil 2.26'da gösterildiği gibidir.

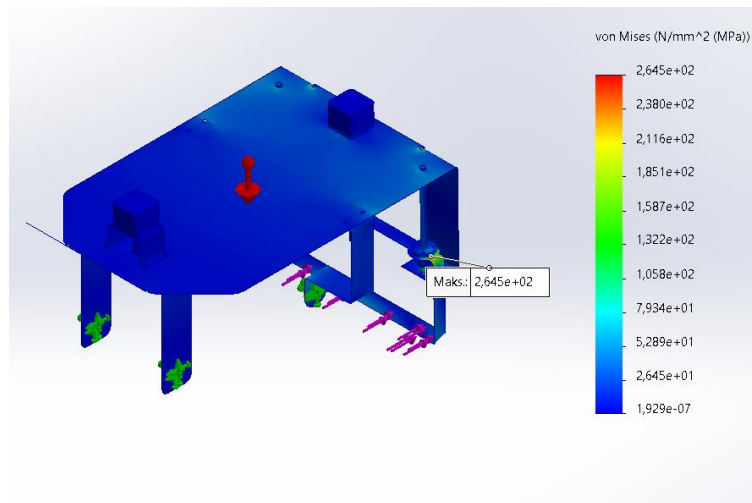


Şekil 2.26: Oluşturulan mesh görüntüsü

2.2.1.6 Sonuçların İncelenmesi

Robotun ot kesme bıçağına gelen kuvvet neticesinde şasisinde oluşan gerilme ve şekil değiştirme miktarları simülasyonun çalıştırılmasından sonra elde edilmiştir.

Robot üzerinde yapılan analiz sonucunda oluşan von Mises gerilme değerleri Şekil 2.27’de gösterilmiştir.

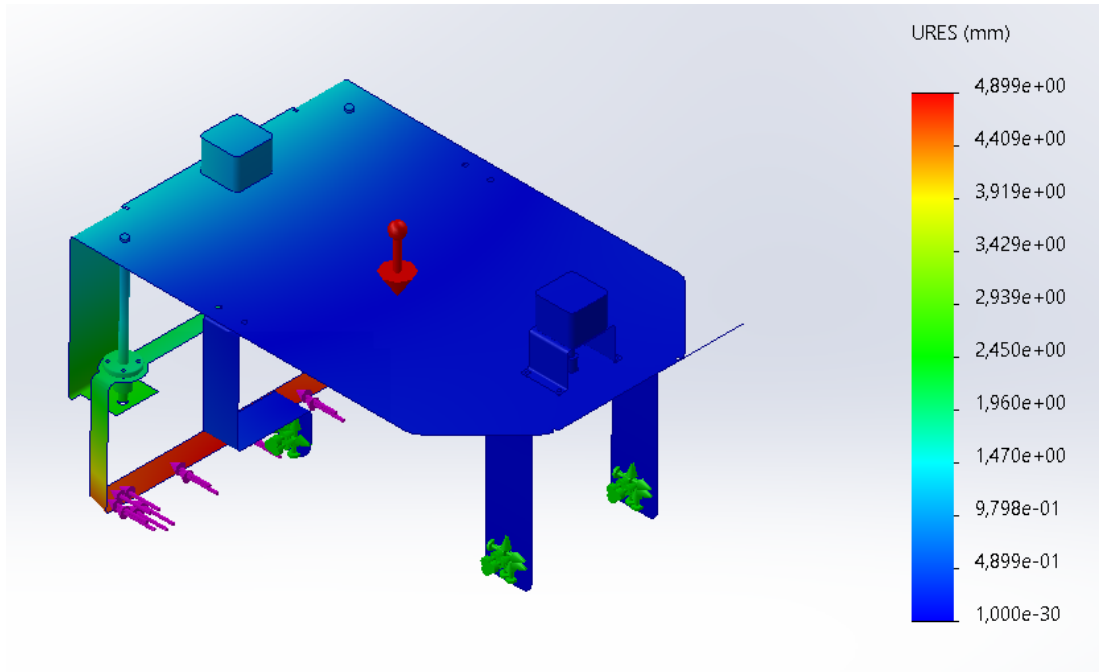


Şekil 2.27: Robot şasisinde elde edilen von Mises gerilme değerleri

Şekil 2.27’de gösterildiği üzere robot üzerinde oluşan maksimum gerilme ot kesme bıçağının üst bağlantı noktasında oluşmaktadır. Ot kesme bıçağında oluşan maksimum gerilme şekilde görüleceği gibi $2,645 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ ’dir. Ot kesme bıçağının akma mukavemeti 1200 N/mm^2 ’dir. Bu durum göz önünde bulundurulursa ot kesme bıçağı üzerinde oluşan maksimum gerilme akma mukavemetinin altında kalmaktadır. Bu nedenle ot kesme bıçağı elastik bölgeden plastik bölgeye geçmemekte ve yapısında bozulma olmamaktadır. Buna göre robot hareketi esnasında şasi üzerinde plastik deformasyona uğrayan bölge görülmemiştir.

Robot üzerinde ayrıca yer değiştirme analizi yapılmıştır. Yüke maruz kalan parçalar az da olsa yer değiştirme yapmaktadır. Yer değiştirme analizi robotun hareketi sırasında parçalarda oluşacak olan esnemeleri vermektedir. Bu sayede parçalarda oluşan esnemelerin robotun hareketini etkileyip etkilemediği anlaşılabilir.

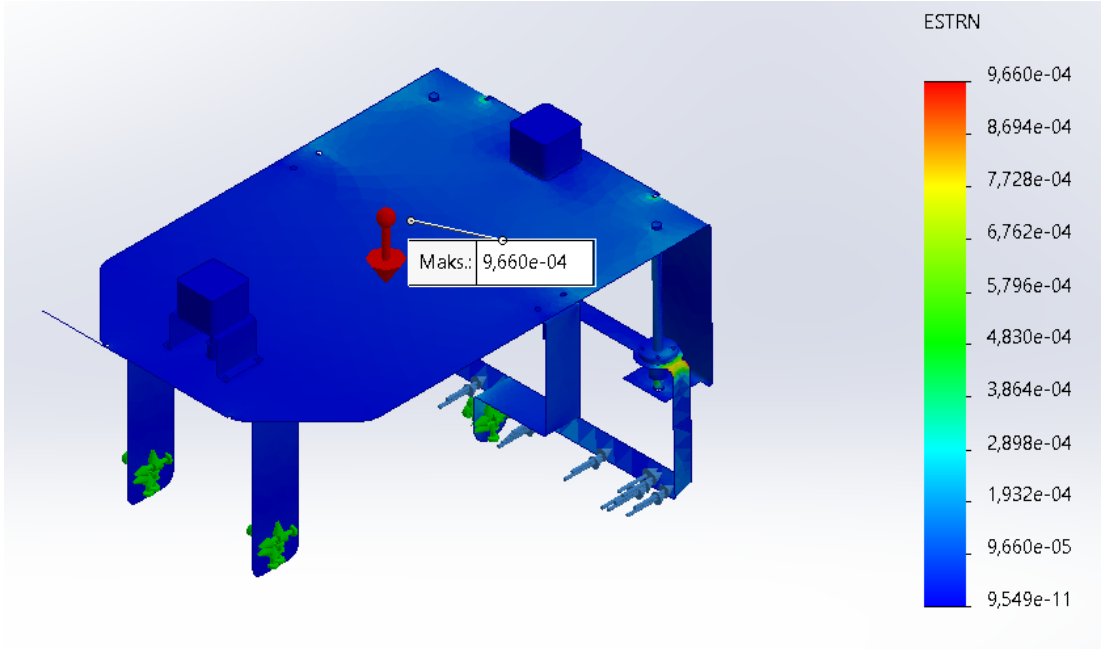
Robot üzerinde yapılan yer değiştirme analizi sonucunda karşılan sonuç 2.28’de gösterilmektedir.



Şekil 2.28: Yer Değiştirme analizi

Yer değiştirme analizi sonucunda maksimum yer değiştirmenin ot kesme bıçağında olduğu görülmüştür. Ot kesme bıçağında oluşan maksimum yer değiştirme 4,899 mm'dir. Bu değer karşılaşılan yüke karşılık normal değerler içerisindedir. Bu yer değiştirme miktarı ot kesme bıçağında herhangi bir bozulmaya neden olmamaktadır. Bu sayede robot üzerinde kullanılan parçaların tasarımlarının normal sınırlar içerinde olduğu gözlenmiştir.

Robot üzerinde ayrıca şekil değiştirme analizi yapılmıştır. Robot üzerinde yapılan şekil değiştirme analizi sonucunda oluşan sonuçlar şekil 2.29'da gösterilmiştir.



şekil 2.29: şekil Değiştirme Analizi

şekil değiştirme analizi sonucunda oluşan maksimum şekil değiştirme $9,66 \times 10^{-4}$ 'tür. Bu değerden anlaşılacağı üzere robotun tasarlanan parçaları üzerinde aşırı bir şekil değiştirme değeri oluşmamıştır.

Statik analiz sonuçlarından anlaşılacağı üzere robot üzerine gelen kuvvetler tasarlanan parçalar tarafından karşılanmaktadır. Robotun parçalarında herhangi bir deformasyon oluşmamaktadır. Bu sayede robot arazi şartlarında hareketini gerçekleştirebilmektedir.

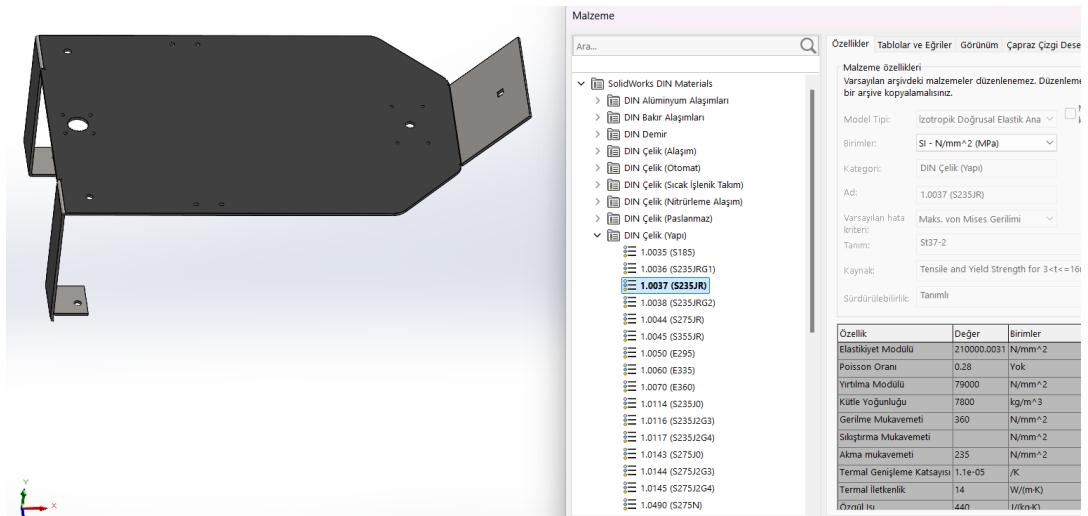
2.2.2 Hareket Analizi

Hareket analizi çalışmaları robot üzerinde kullanılacak olan motor seçiminde fikir vermektedir. Bu çalışmalara başlamadan önce çeşitli tanımlamalar yapmak gerekmektedir. Bunlar malzeme tanımlamaları, ağırlık etkisi, kuvvet etkisi, temas tanımlaması ve motordan istenilen açısal hız değeridir. Bu tanımlar aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

2.2.2.1 Malzeme Tanımlamaları

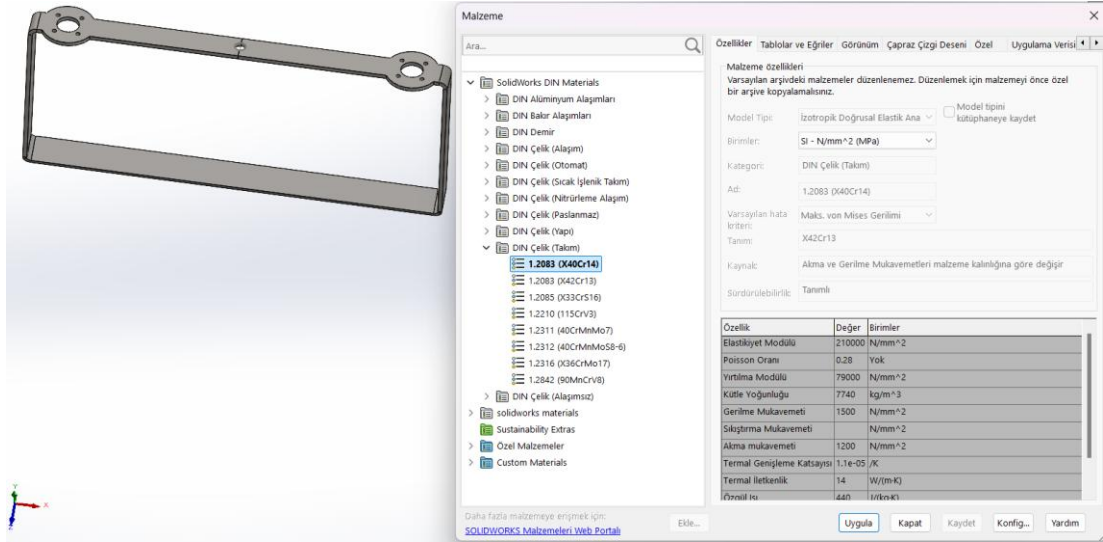
Solidworks Motion Study simülasyon ortamında hareket etüdü oluşturmak için gerekli olan ilk tanımlama, malzeme tanımlamasıdır. Malzeme tanımlamaları, hareket etüdü sırasında oluşan gerilme, şekil değiştirme gibi verilerin elde edilebilmesi için gereklidir. Elde edilen bu veriler neticesinde hareketin istenildiği şekilde gerçekleşip gerçekleşmediği görülebilmektedir. Malzeme tanımlaması robot üzerindeki parçalar için aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

Şasenin ot kesme bıçağından gelen kuvveti ve çapalama aparatından gelen torku karşılayabilmesi gerekmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak statik analiz yapılmıştır ve şasenin malzeme seçimi ve kalınlığı belirlenmiştir. Buna göre şasi Şekil 2.30'da gösterildiği üzere 5mm kalınlığındaki S235JR genel yapı çeliği kullanılarak üretilmiş sacdan tasarlanması uygun görülmüştür.



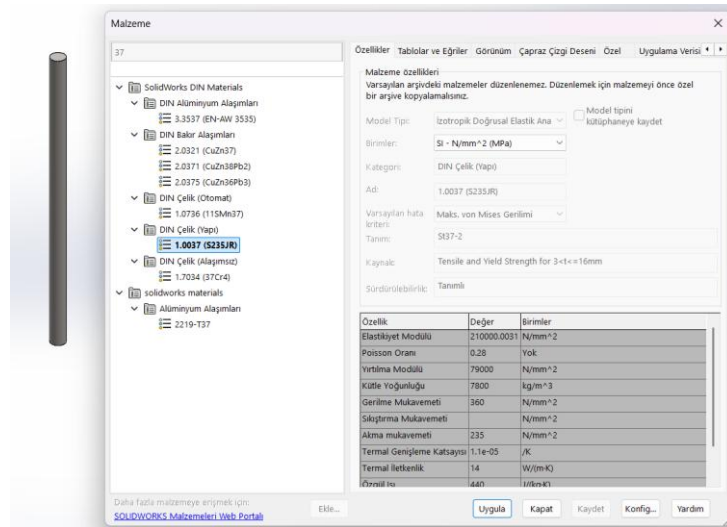
Şekil 2.30: Şase malzeme tanımlaması

Bir diğerk kritik parça ise ot kesme bıçağıdır. Bu parçanın üzerine toprak içerisindeki hareketinden kaynaklanan aşırı bir kuvvet gelmektedir. O nedenle parça tasarımı yapılırken statik ve simülasyon analizi sonucunda gerekli mukavemet değerleri tespit edilmiş ve bu duruma göre 1200 MPa akma mukavemetine sahip takım çeliğı olan X40Cr14 kullanılması uygun bulunmuştur. Kullanılan çeliğın malzeme tanımlaması Şekil 2.31’de gösterilmiştir.



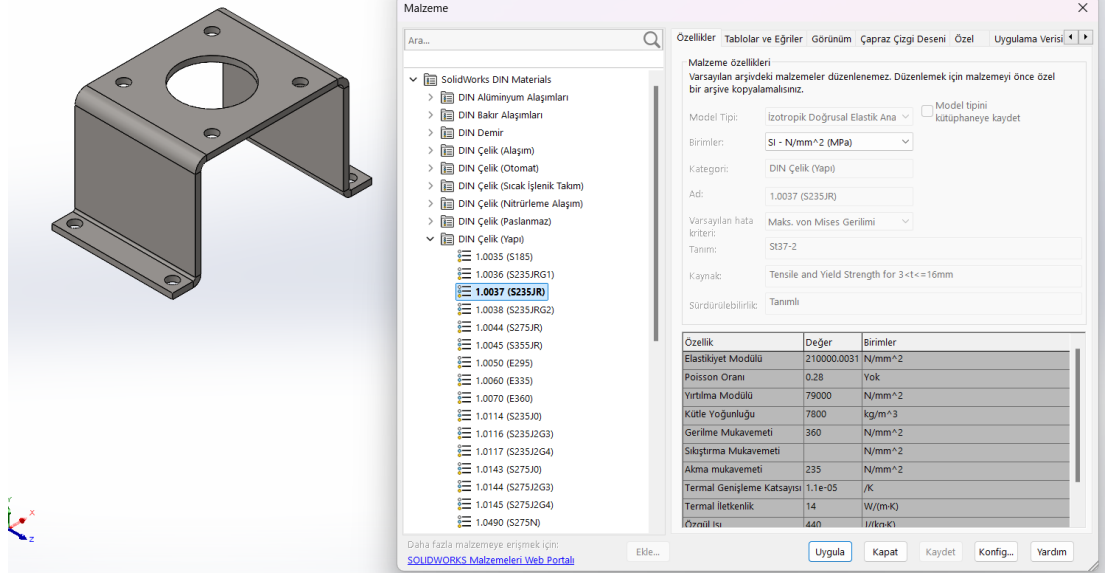
Şekil 2.31: Ot Kesme Bıçağı malzeme tanımlaması

Ot kesme bıçağının aşağı yukarı hareketini sağlayabilmek amacıyla kızak sisteminde S235JR genel yapı çeliğı kullanılmıştır. Malzeme tanımlaması Şekil 2.32’de gösterildiğı gibi yapılmıştır.

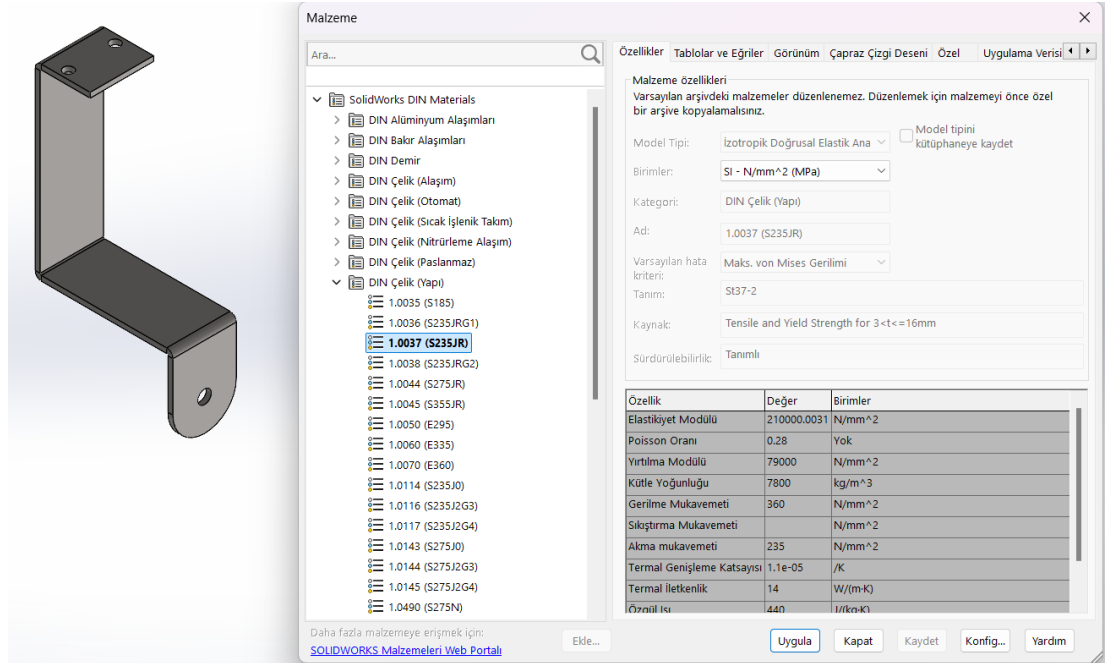


Şekil 2.32: Kızak Sistemi için linear mil malzeme tanımlaması

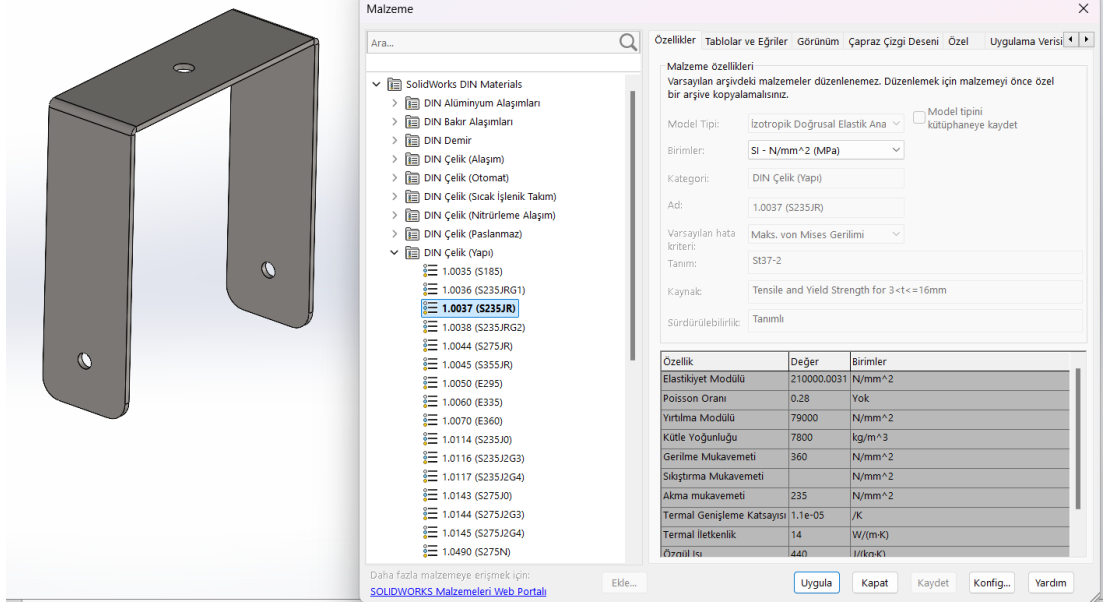
Diğer parçalar üzerinde yapılan analiz sonuçlarında gelen kuvvet ve yüklerin etkisinin az olması nedeniyle piyasada en çok bulunan genel yapı çeliklerinden olan S235JR çeliği tercih edilmiştir. Kullanılan malzemenin tanımlanması işlemleri Şekil 2.33, Şekil 2.34, Şekil 2.35, Şekil 2.36, Şekil 2.37 ve Şekil 2.38’de gösterilmiştir.



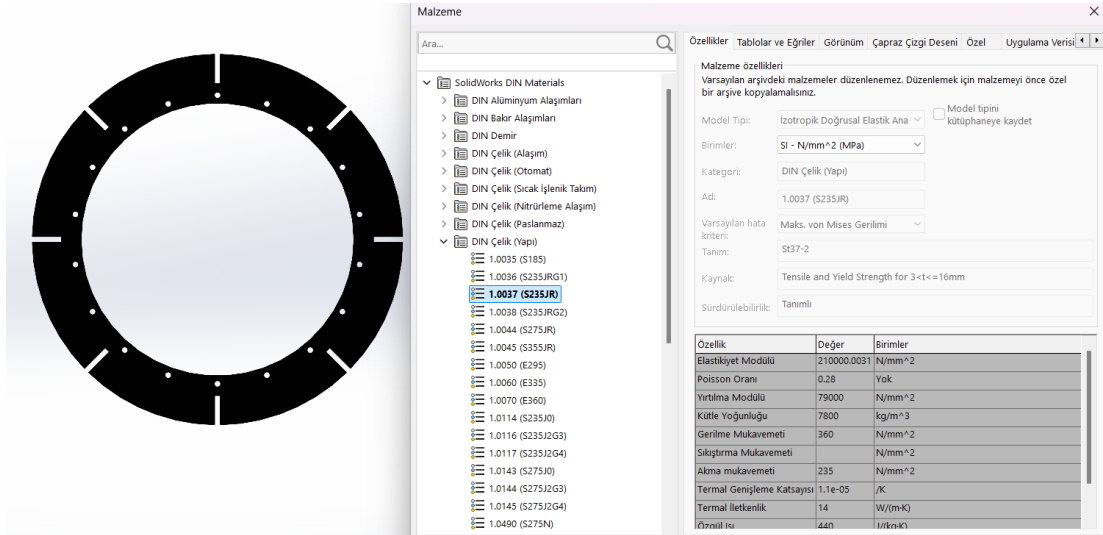
Şekil 2.33: Step motor tutucusunun malzemesinin tanımlanması



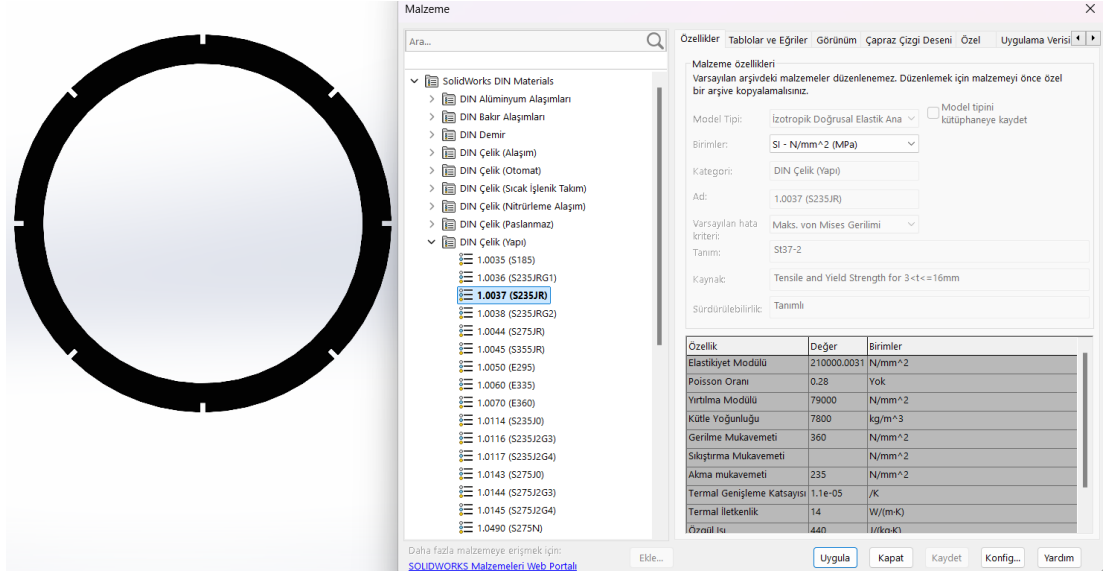
Şekil 2.34: Hub Motor Şase bağlantı parçasının malzeme tanımlanması



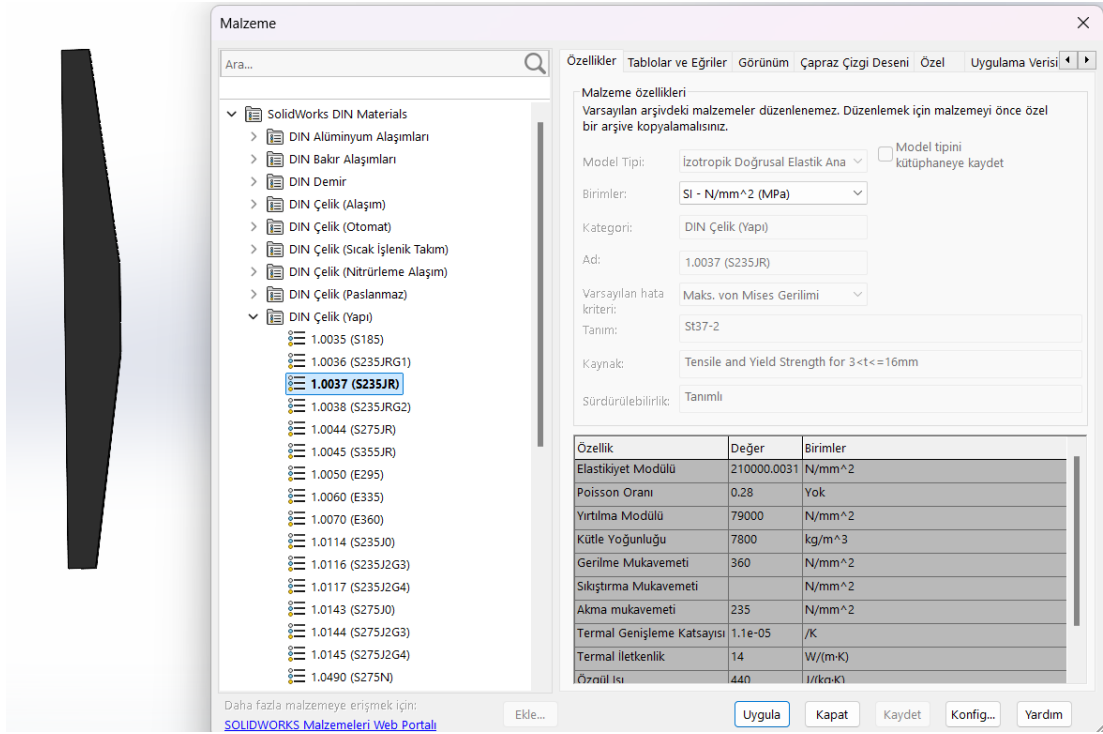
Şekil 2.35: Direksiyon sistemi için hub motor bağlantı parçasının malzeme tanımlaması



Şekil 2.36: Çapa aparatı hub motor bağlantı flanşının malzeme tanımlaması

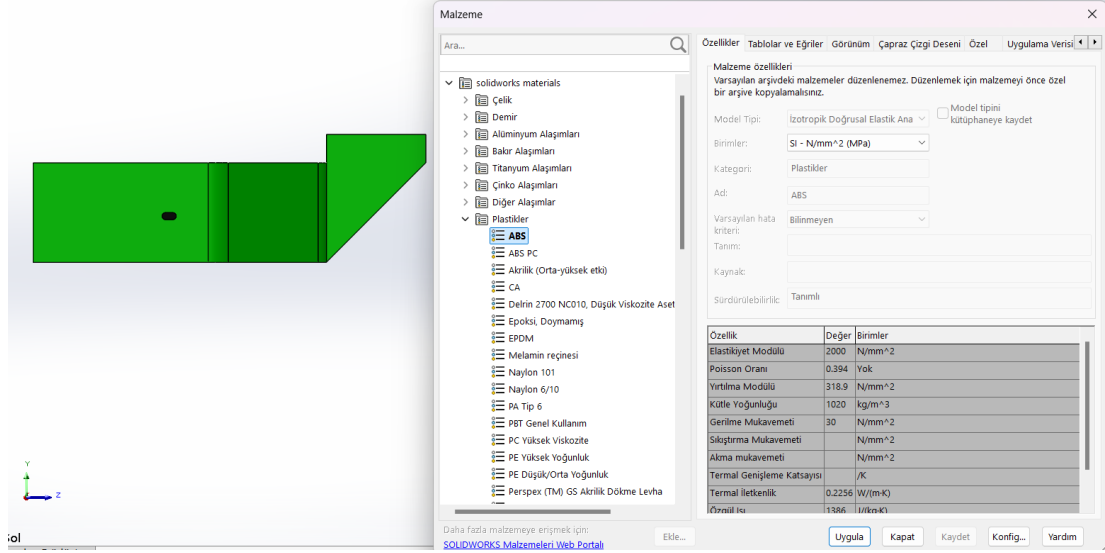


Şekil 2.37: Bıçak bağlantı diskinin malzeme tanımlaması



Şekil 2.38: Çapa bıçaklarının malzeme tanımlaması

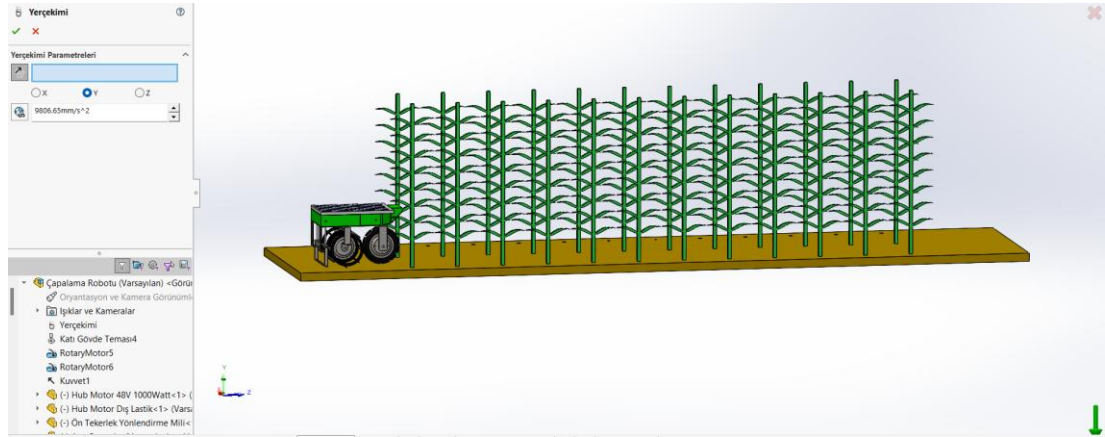
Elektronik ve yazılımsal tertibatın yerleştirileceği ve dışarı etkenlerden koruyacak olan robotun kaportası da diyebileceğimiz parça, ABS plastik malzeme kullanılarak tasarlanmıştır. Plastik malzeme seçiminin nedeni gerekli elektronik yalıtımın sağlanabilmesidir. Malzeme tanımlaması Şekil 2.39’da gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 2.39: Elektronik tıbbi muhafaza parçasının malzeme tanımlanması

2.2.2.2 – Ağırlık etkisinin sisteme girilmesi

Ağırlık etkisinin sisteme girilmesi için yer çekimi kuvvetinin yönü ve şiddeti gerçek değerler kullanılarak verilmiştir. Buna göre kuvvetin yönü düşey eksen yani y eksenini olacak şekilde Şekil 2.40'ta gösterildiği gibi verilmiştir. Yer çekimi ivmesi $9806,65 \text{ mm/s}^2$ olarak sisteme girilmiştir.



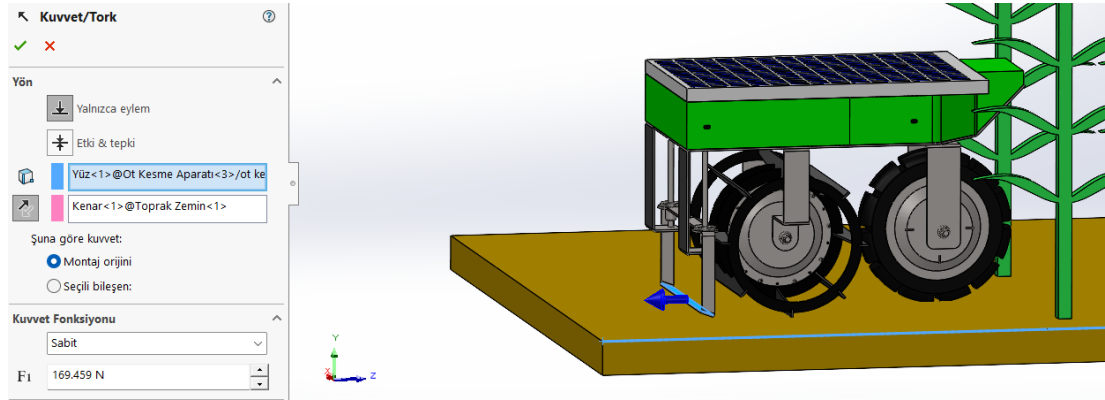
Şekil 2.40: Ağırlık etkisinin sisteme girilmesi

2.2.2.3 – Kesme bıçağına kuvvet etkisinin hesabı ve sisteme girilmesi

Kesme bıçağına gelen kuvvet hesaplanırken orta ağır toprak grubu baz alınmıştır. Orta ağır toprak grubunun özgül toprak direnci 1m/s hız için ortalama 30 kp/dm²'dir (Acar ve diğ. 2014). Birim dönüşüm hesabı yapılabilmesi için kesme bıçağının yüzey alanı tespit edilmiştir.

Kesme bıçağını yüzey alanı statik analiz çalışmaları yapılırken Şekil 2.23'te gösterildiği gibi 5760 mm² olarak tespit edilmişti. Bu alana etkiyen kuvvet statik analiz çalışmaları yapılırken hesaplandığı üzere 169,459 N olarak bulunmuştur.

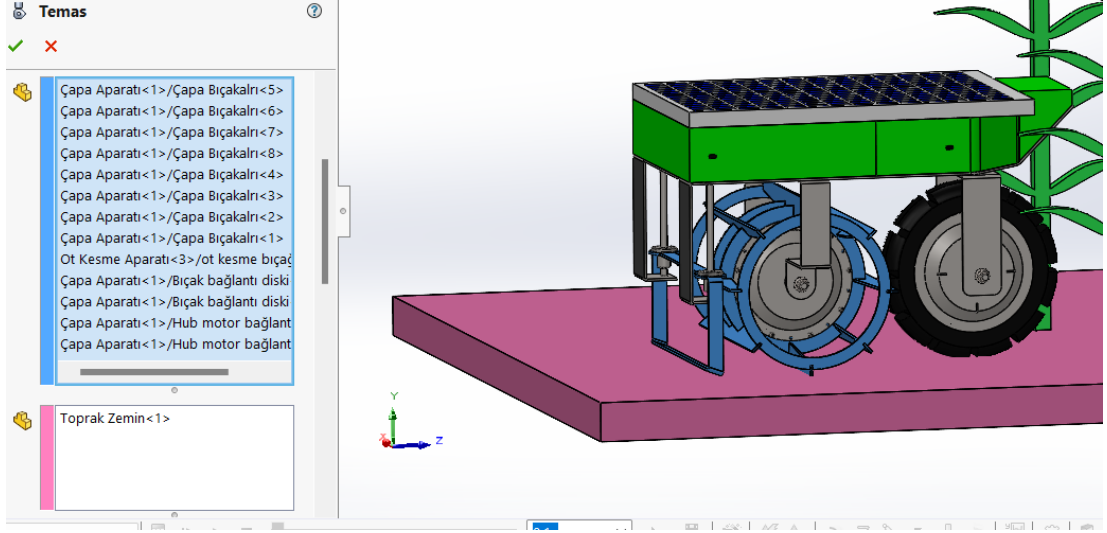
Bu değer sisteme hareket yönünün tersi olan ok yönünde Şekil 2.41'de gösterildiği gibi girilmiştir.



Şekil 2.41: Kuvvet etkisinin sisteme girilmesi

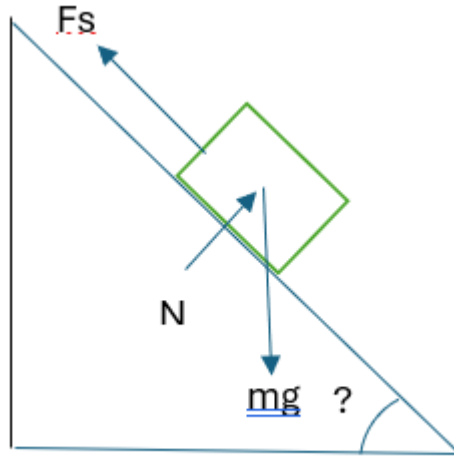
2.2.2.4 – Temas tanımlaması

Temas tanımlaması yapılırken ilk önce robotun toprak yüzeyine temas eden parçaları seçilmiştir. Ardından simülasyon için hazırlanmış olan toprak zemin parçası seçilmiştir. Temas tanımlaması için parçaların seçilmesi işlemi Şekil 2.42'de gösterilmiştir.



Şekil 2.42: Katı gövde teması tanımlaması için parçaların seçilmesi

Katı gövde temasında girilmesi gereken bir diğer parametre sürtünmedir. Sürtünme katsayısının bulunması noktasında çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Araştırmalar sonucunda sürtünme katsayısı hakkında net bir bilgi bulunamamıştır. Araştırılan kaynaklarda yapılan çalışmalar genellikle traktör içindir. Burada yapılan çalışmaya tam olarak uymamaktadır. Bu nedenle çelik ile toprak arasındaki sürtünme katsayısının bulunması için deney yapılmıştır. Şekil 2.43'te deneyin yapılış şekli gösterilmektedir.



Şekil 2.43: Sürtünme katsayısı deneyi için kuvvet dengesi

Şekildeki eğik düzlemdeki sürtünme kuvvetinin değeri $\mu_s \times N$ 'dir. Burada μ_s statik sürtünme katsayısı ve N yüzeyden kütleye gelen tepki kuvvetidir. Sürtünme katsayısının hesaplanması için kullanılan formül aşağıdaki gibidir.

$$F_s = \mu_s \cdot N \quad (2.1)$$

1. denklemden elde edilen değerler kullanılarak yüzeye dik eksendeki kuvvet dengesi yazıldığında;

$$\sum F_n = 0 \quad (2.2)$$

$$N - mg \cos(\theta) = 0 \quad (2.3)$$

$$N - 0,0023 \cdot 9,81 \cdot \cos(\theta) = 0 \quad (2.4)$$

$$N = 0,022563 \cdot \cos(\theta) \text{ Newton} \quad (2.5)$$

Bulunur. Burada N yerden gelen tepki kuvveti, g yerçekimi ivmesi, m kütleyi ve θ ise eğim açısını vermektedir. θ değeri malzemenin kaymaya başladığı andaki yüzeyin yer ile yaptığı açıdır ve deneysel olarak bulunmuştur.

Sürtünme kuvveti ise yüzeye teğet yöndeki kuvvet dengesi yazıldığında bulunabilir. Kuvvet dengesi hesabı ise aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\sum F_t = 0 \quad (2.6)$$

$$F_s - m \cdot g \cdot \sin(\theta) = 0 \quad (2.7)$$

$$F_s - 0,0023 \cdot 9,81 \cdot \sin(\theta) = 0 \quad (2.8)$$

$$F_s = 0,022563 \cdot \sin(\theta) \text{ Newton} \quad (2.9)$$

Bu sonuçları (2.1) denkleminde yerine koyduğumuzda ve sürtünme katsayısını yalnız bıraktığımızda ulaşılan sonuç aşağıda gösterilmiştir.

$$0,022563 \cdot \sin(\theta) = \mu_s \cdot 0,022563 \cdot \cos(\theta) \text{ Newton} \quad (2.10)$$

$$\mu_s = \tan(\theta) \quad (2.11)$$

Statik sürtünme katsayısı $\mu_s = \tan(\theta)$ olarak bulunmuştur.

Yapılan deneyle ilgili çalışma görüntüleri aşağıdaki gibidir. Şekil 2.44'te elik dikdörtgenler prizması Şeklinde elik bir parça görünmektedir.



Şekil 2.44: Sürtünme katsayı deneyi için S235JR malzeme görüntüsü

Şekil 2.45'te, elik parçanın hassas terazi ile kütlesinin belirlenmesi gösterilmiştir. Hassas terazinin modeli Precisa XB 220A'dır. Parçanın kütlesi yaklaşık 2,3 gram olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.45: Sürtünme katsayı deneyi için S235JR malzemenin kütlesinin lm

Şekil 2.46’da S235JR genel yapı çeliği malzeme toprak üzerinde görünmektedir.



Şekil 2.46: Sürtünme katsayı deneyi için S235JR malzeme ve toprak görüntüsü

Deneye başlamadan önce Şekil 2.46’da gösterildiği gibi tarladan alınmış toprak, bir kaba doldurulmuştur. Ardından düz bir yüzeye yerleştirilmiştir. Yüzeyin düzgünlüğü su terazisi ile Şekil 2.47’de gösterildiği gibi doğrulanmıştır.



Şekil 2.47: Deneyi gerçekleştirildiği yüzeyin terazileme işlemi

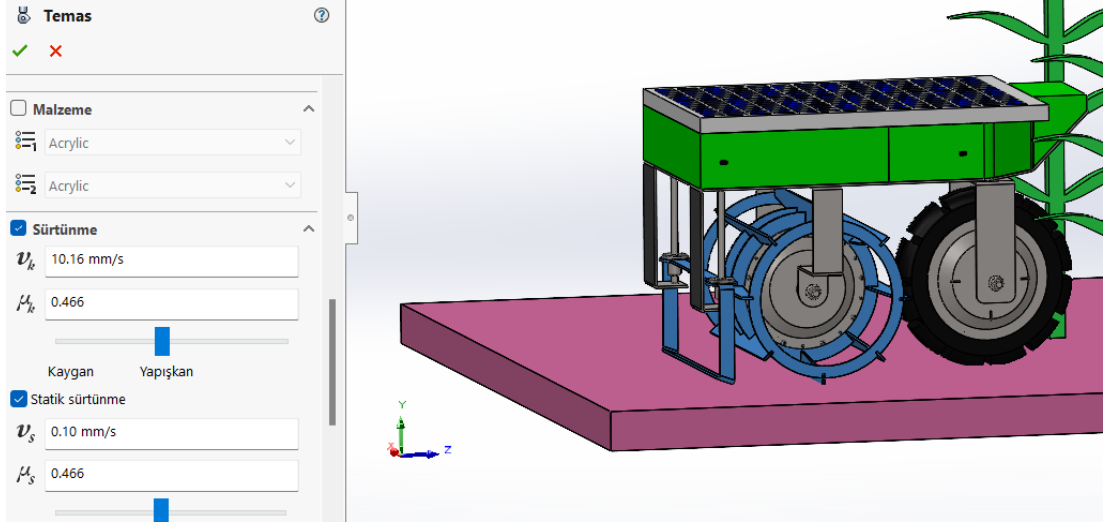
Deneyin devamında Şekil 2.48’de gösterildiği gibi kabın bir köşesi sabit tutulmuş ve diğer köşeden saat ibresi yönünde adım adım kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede bir eğim oluşturulmuştur.



Şekil 2.48: Sürtünme katsayı deneyi açıölçer ile ölçme işlemi

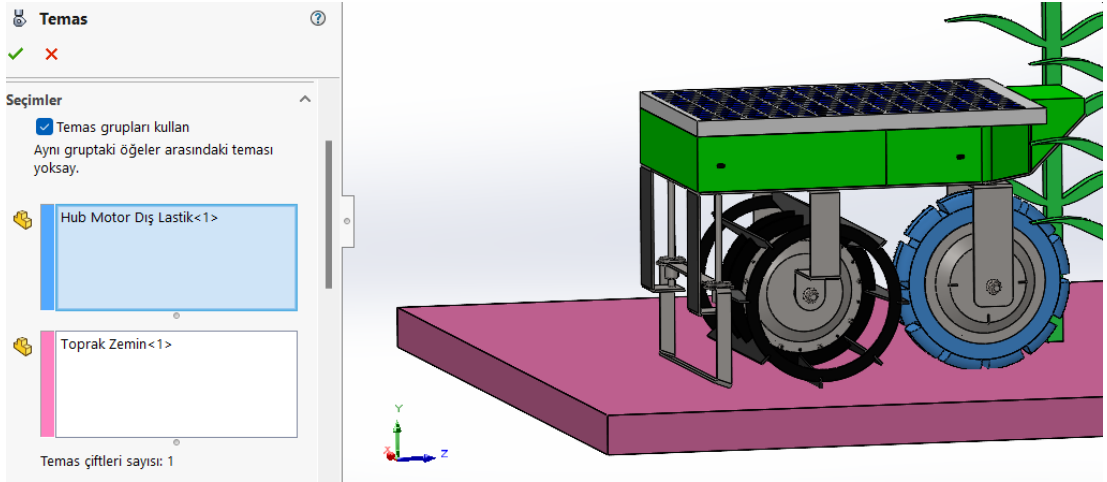
Metal parçanın hareket ettiği andaki açı, parçanın ağırlığından dolayı oluşan kuvvetin sürtünme kuvvetini yendiği açıdır. S235JR metal parçanın hareket ettiği andaki açısı 25 derece olarak tespit edilmiştir. Elde edilen açı değeri (2.11) numaralı denklemde yerine konulduğunda μ_s değerinin 0,466 olduğu tespit edilmiştir.

Deney sonucuna göre orta-ağır topraklarda metal ile toprak arasındaki sürtünme katsayısı 0.466’dır. Bu değer sisteme girilmesi Şekil 2.49’da gösterilmiştir. Kinetik sürtünme katsayısı her ne kadar statik sürtünme katsayısından küçük olsa da bu değer elde edilemediğinden bu değer yerine de statik sürtünme katsayısı değeri yazılmıştır.



Şekil 2.49: Sürtünme etkisinin sisteme girilmesi

Aynı şekilde tekerlek içinde temas tanımlaması yapılması gerekmektedir. Daha önce çapalama aparatı ve ot kesme bıçağı ile toprak arasında temas edilen yüzeyler seçildiği gibi ön tekerlek yüzeyleri ile zemin seçilerek temas yüzeyleri belirlenmiştir. Bu durum Şekil 2.50’de gösterilmektedir.



Şekil 2.50: Ön tekerlek için temas yüzeylerinin tanımlanması

Şekil 2.51’de ön tekerlek malzemesi olan kauçuk bir parça ön tekerlek ile toprak arasındaki sürtünme katsayısının belirlenmesi için yeniden bir deney yapılmıştır.



Şekil 2.51: Sürtünme katsayı deneyi için kauçuk malzeme görüntüsü

Şekil 2.52’de toprak üzerindeki kauçuk parça gösterilmiştir.



Şekil 2.52: Ön tekerlek malzemesi olan kauçuk için sürtünme katsayısı deneyi

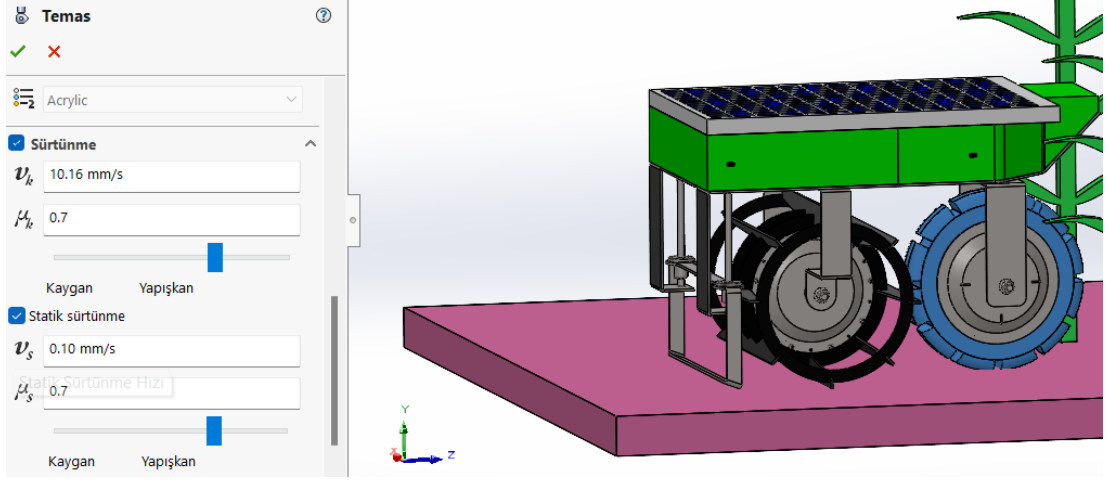
Şekil 2.53’te kauçuk parçanın kütlesinin hassas terazi ile ölçülmesi gösterilmektedir. Parçanın kütlesi yaklaşık 1,25 gram olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.53: Sürtünme katsayı deneyi için kauçuk malzemenin kütlesinin ölçümü

Deneyin yapılışı bir önceki deney düzeneği ile aynı olmakla beraber kullanılan malzeme metal parça yerine kauçuk parça ele alınmıştır. Kauçuk parça için yeniden yapılan deney sonucunda kauçuk parçanın hareket ettiği açı 35 derece olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen açı değeri (2.11) numaralı denklemde yerine konulduğunda μ_s değerinin 0,7 olduğu tespit edilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda bulunan bu katsayı sisteme Şekil 2.54'te gösterildiği gibi girilmiştir.



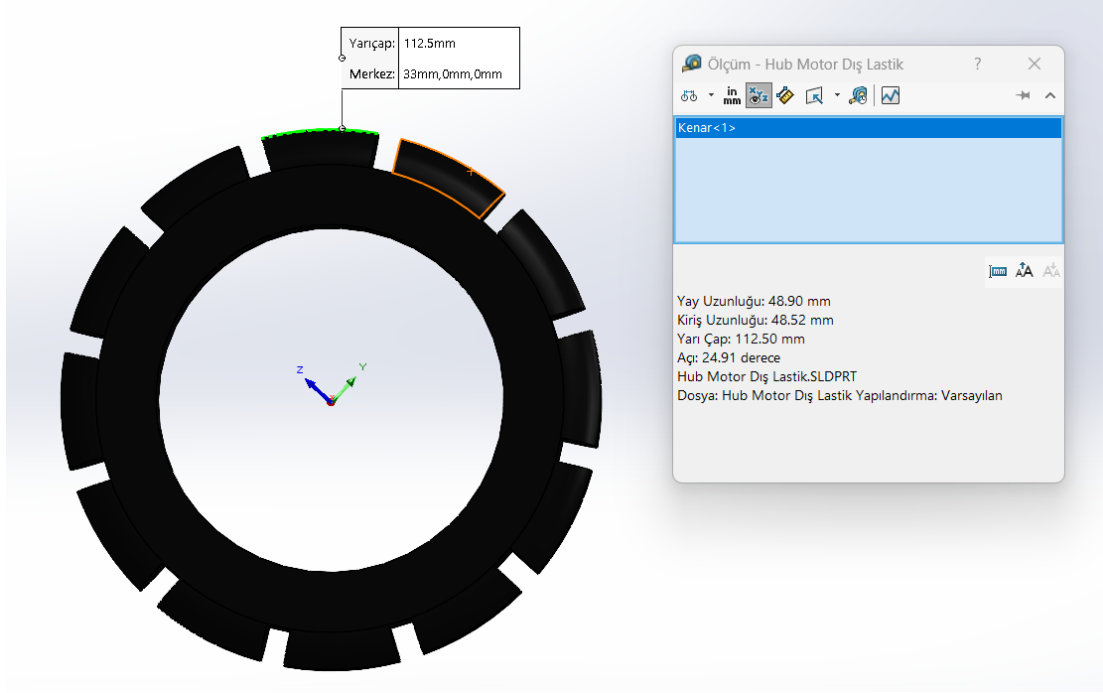
Şekil 2.54: Tekerlek ve toprak zemin arası sürtünme katsayısının sisteme girilmesi

2.2.2.5 – Motorların açısal hızlarının belirlenmesi

Motorların açısal hızlarının belirlenebilmesi için robotun çizgisel hızının 1 m/s olduğu varsayılmıştır. Böylece daha önce 1 m/s hız için topraktan ot kesme bıçağına gelen kuvvet doğru olarak girilebilmiştir.

Robotun 1 m/s hıza ulaşması için gerekli tekerlek açısal hızlarının tespiti için tekerlek yarıçapı önemli bir parametredir. Ön tekerlek ve arka çapalama aparatı yarıçapları farklı gibi görünse de toprak havalandırması için çapalama aparatının bir kısmının toprağa gömülmesi nedeniyle yarı çapların eşit olduğu varsayılarak hesaplamada ön tekerlek esas alınmıştır. Çapalama aparatı çevresi daha büyük olsa da toprak içerisinde tutunması istenmemektedir. Ayrıca ön tekerleğinde toprağa iyi tutunabilmesi için malzemesi kauçuk olarak belirlenmiştir. Çapalama aparatının görevi toprağı yumuşatmaktır. Bu nedenle çapalama aparatı toprak içerisinde tekerleğe göre ilerlemekte ve aradaki fark kadar patinaj yapmaktadır. Bu sayede toprağın yumuşamasını sağlamakta ve arkadan gelen ot kesme bıçağının yükünü hafifletmektedir.

Tekerleğin çevre hesabı için gerekli olan parametre yarıçaptır. Bu değer Şekil 2.55'te görüldüğü gibi 112.5mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.55: Tekerlek yarıçap ölçümü

Hız hesabı için hesaplamalar metre üzerinden yapılmıştır. Bu nedenle milimetre metreye dönüştürülmüştür.

$$112,5 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 0,01125 \text{ m}$$

Tekerleğin çevre uzunluğunun formülü ve hesabı aşağıdaki gibidir.

$$Dairenin Çevre Uzunluğu = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (2.12)$$

$$Dairenin Çevre Uzunluğu = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1125$$

$$Dairenin Çevre Uzunluğu = 0,7065 \text{ m}$$

Buna göre tekerlek 1 tur attığında 0,7065 metre yol almaktadır.

Robotun 1 metre yol alabilmesi için atması gereken tur sayısı aşağıdaki gibidir.

$$\frac{1}{0,7065} = 1,415$$

Tekerlek 1 saniyede 1,415 devir ile dönerse robot 1 saniyede 1 metre yol almaktadır. Programda açısal hız birimi olarak derece/sn birimi kullanıldığından bu birime çevrilmelidir. Bu dönüşüm aşağıdaki gibi yapılmıştır.

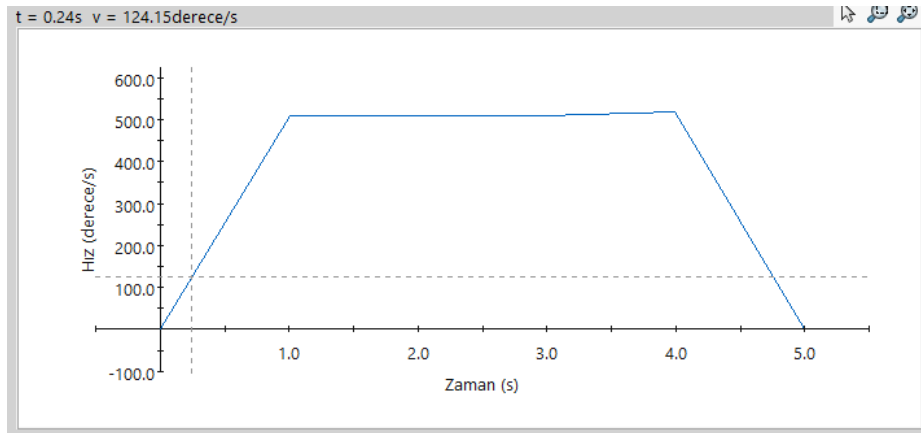
$$1.415 \frac{\text{devir}}{\text{saniye}} \times 360 \frac{\text{derece}}{\text{devir}} = 509.4 \frac{\text{derece}}{\text{saniye}}$$

Böylece 5 sn'lik bir ilerleme için açısal hız profili programa Şekil 2.56'da gösterildiği gibi girilmelidir.

Zaman (s)	Değer
0s	0.00derece/s
1s	509.40derece/s
2s	509.40derece/s
3s	509.40derece/s
4s	509.40derece/s
5s	0.00derece/s
sıra eklemek için tıklayın	

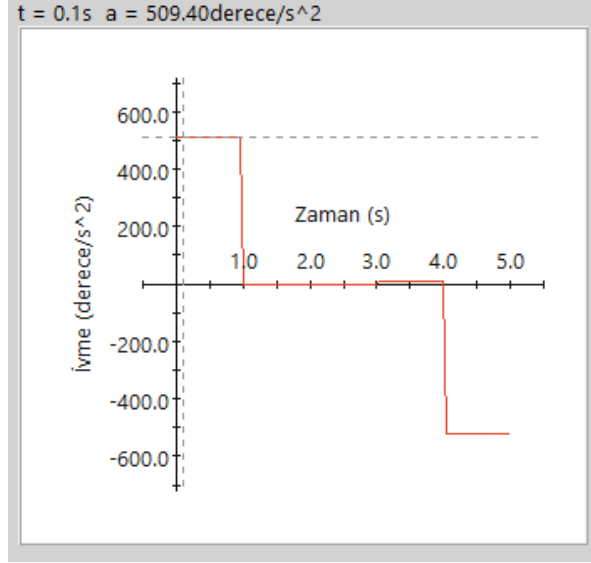
Şekil 2.56: Programda açısal hız değerlerinin 5 sn boyunca girilmesi

Bu değerlere göre oluşan açısal hız grafiği derece/saniye birimi üzerinden Şekil 2.57'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.57: Hız grafiği

Verilen açısal hız grafiğine göre program tarafından hesaplanan açısal ivme grafiği Şekil 2.58'de verilmiştir.



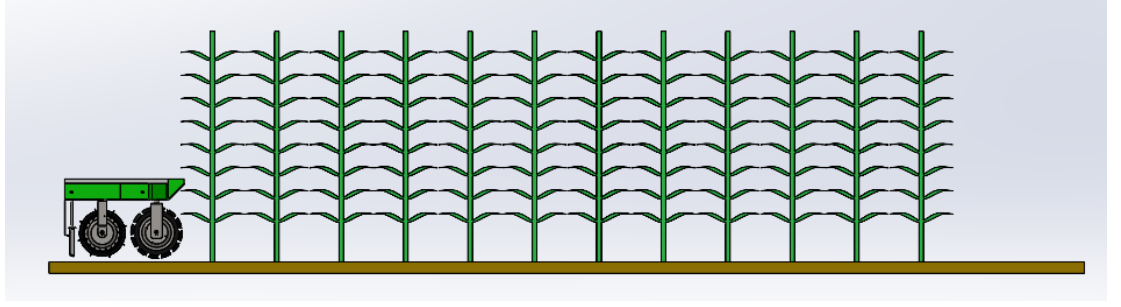
Şekil 2.58: Açısal ivme Grafiği

2.2.2.6 – Hareket Analizi Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Mekanik analizin yapılması sonucunda robot üzerinde kullanılan parçaların dayanımları hesaplandığından dolayı, gerekli görülmesi durumunda parça boyutlarında değişiklik, malzeme üzerinde ısıl işlem yapılması veya malzemenin tamamen değiştirilmesi gibi revizyonlar yapılmaktadır. Bu nedenle mekanik analiz tüm mekanik tasarım çalışmalarında önemli yer almaktadır.

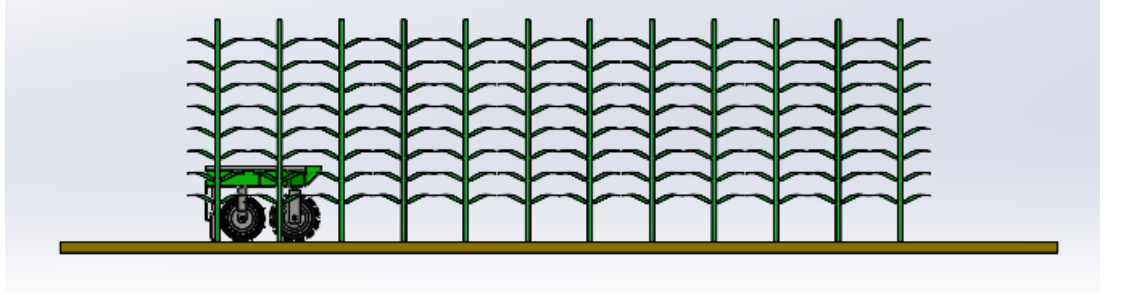
Yapılan tez çalışması kapsamında tasarımda kullanılan motor gücünün belirlenmesi önemli bir konudur. Motor seçimi için güç hesabındaki en önemli faktörde ihtiyaç duyulan en yüksek tork ihtiyacının belirlenmesidir. Bu torkun tespit edilebilmesi için farklı toprak türlerinin özgül toprak direnci araştırılmıştır ve orta ağır topraklar için ortalama bir değer kabul edilmiştir. Orta ağır topraklarda bu değer 30kp/dm²'dir (Acar ve diğ. 2014). Bu değere göre robotun harekete geçtiği andan itibaren toprak tarafından robota uygulanan kuvvet değeri daha önce statik kuvvet analizinin yapıldığı bölümde 169,459 N olarak hesaplanmıştı.

SolidWorks programının hareket analizi yapılması için gerçek ortama uygun bir simülasyon ortamı Şekil 2.59'ta gösterildiği gibi hazırlanmıştır.

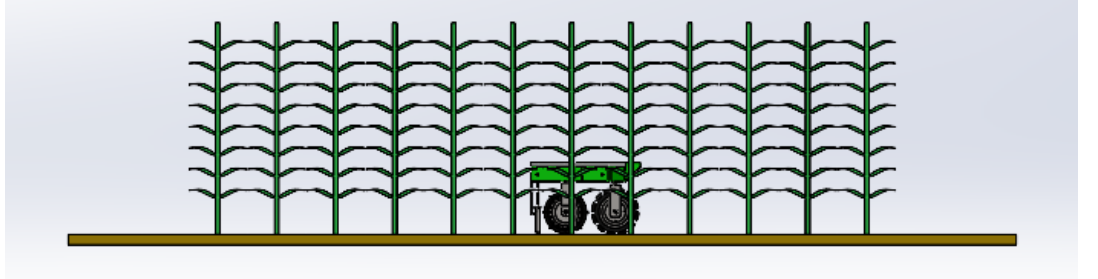


Şekil 2.59: Simülasyon 0. Saniye görüntüsü

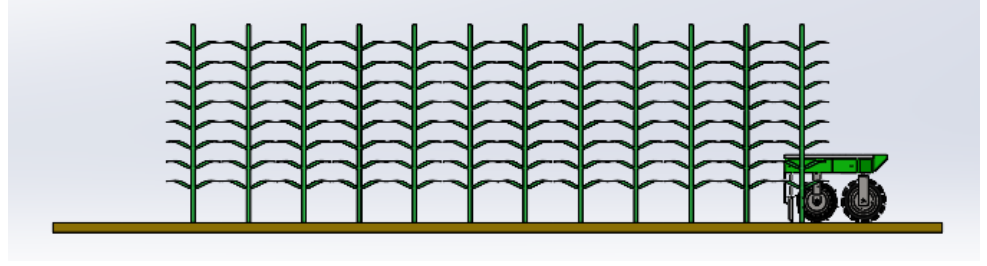
Robotun hareket etüdü çalıştırıldığında robotun, hareketi beklendiği şekilde yaptığı görülmüştür. Şekil 2.60, Şekil 2.61 ve Şekil 2.62’de robotun 1. 3. ve 5. saniyelerdeki vaziyetleri gösterilmiştir



Şekil 2.60: Simülasyon 1. saniyedeki görüntüsü



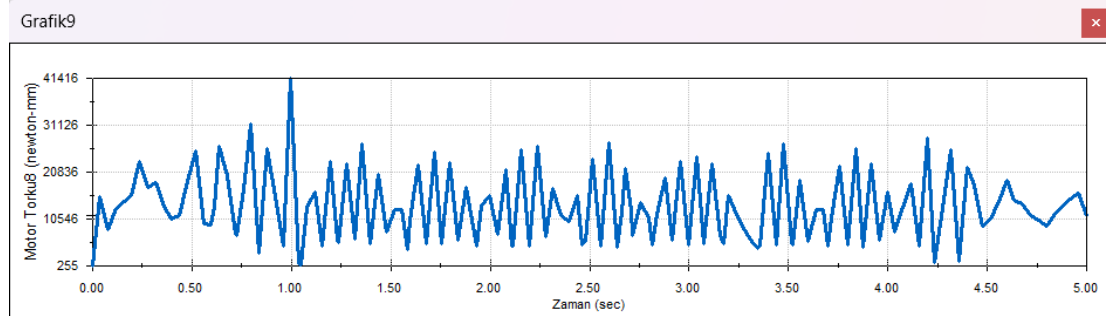
Şekil 2.61: Simülasyon 3. saniyedeki görüntüsü



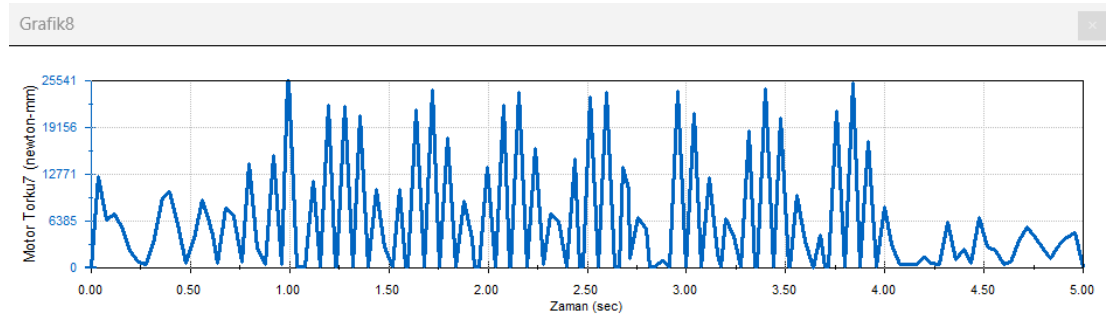
Şekil 2.62: Simülasyon 5. saniyedeki görüntüsü

Simülasyon için gerekli olan temas tanımlamaları, yerçekimi ivmesinin etkisi, hız profili vb. gibi veriler girildikten sonra toprağın uyguladığı 169,459 N'luk kuvvette girilmiştir. Robotun hızı özgül toprak direncinin baz alındığı 1m/s çizgisel hıza göre ayarlanmıştır. Tüm bu değerlere göre yapılan simülasyon sonucunda ortaya çıkan maksimum tork ihtiyacı belirlenmiştir.

SolidWorks hareket analizi neticesinde ön ve arka motorların gereksinim duyduğu tork ihtiyacı 5 saniye boyunca Şekil 2.63 ve Şekil 2.64'teki grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 2.63: Ön motor tork grafiği

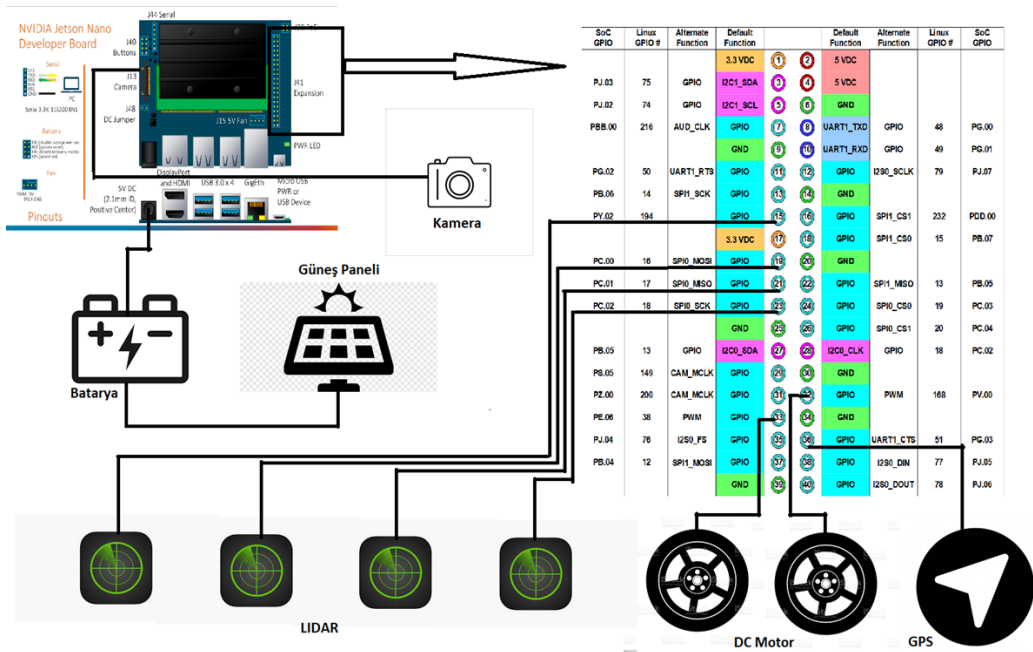


Şekil 2.64: Arka motor tork grafiği

Analiz sonucunda görüldüğü gibi maksimum tork ihtiyacı yaklaşık olarak 41,416 Nm dir. Bu nedenle 41,416 Nm den büyük tork ihtiyacını karşılayacak BLDC HUB Motor tercihi yapılmalıdır. Böylece 50 Nm'lik 500 watt gücünde BLDC HUB motor tercihi yapılmıştır.

2.3 Elektronik Tasarım

Elektronik tasarım ve otomasyon yapılırken öncelikle taslak bir çalışma yapılmıştır. Yapılan taslak çalışma ile robotun çalışma prensibine uygun bir ön çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ile robotun hareketini nasıl gerçekleştireceği üzerine çeşitli senaryolar düşünülmüştür. Ardından otonom hareket için dış dünyadan alınması gereken bilgiler hangi sensörler aracılığıyla elde edileceğine karar verilmiştir. Böylece dışarıdan alınan bilgiler ile robotun tahriki için gerekli motor seçimi yapılmıştır. Ardından robotun arazi üzerinde hareketini gerçekleştirmesine yönelik ekipmanlar belirlenmiştir. Böylece bir donanım şeması oluşturulmuştur. Tasarımı yapılan mobil robotun genel donanım şeması Şekil 2.65'te gösterildiği gibidir.



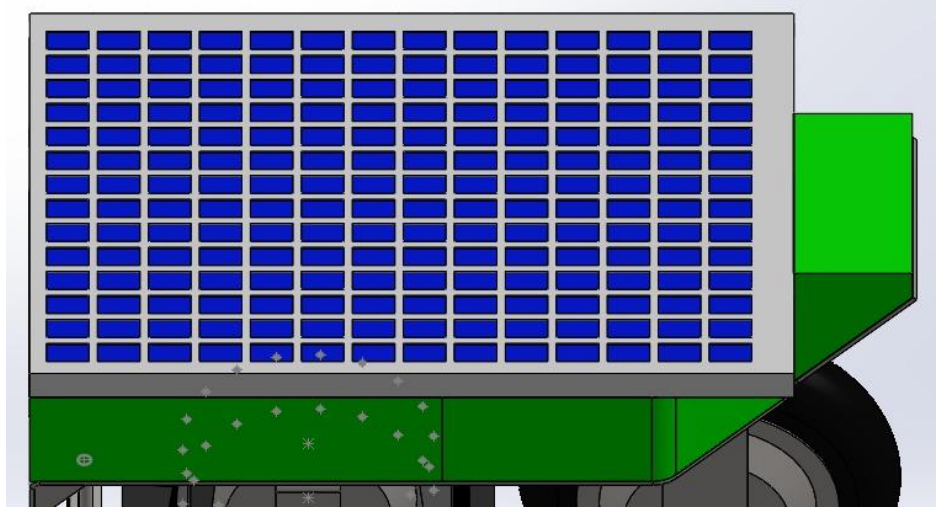
Şekil 2.65: Otonom mobil tarım robotu donanım elemanları

Robotun elektronik donanımları batarya, step motor, hub motor, mini bilgisayar, kamera, mesafe sensörü, motor sürücü ve regülatörlerden oluşmaktadır.

Hub motorlar mekanik analiz sonuçlarının bulunmasının ardından 50 Nm torka sahip olacak şekilde seçilmiştir. BLDC Hub motorlar 36 volt ile çalışmaktadır. Bataryadan gelen voltaj 12 voltur. Bu nedenle motorların çalıştırılabilmesi için 12volt-36volt dönüştürücü regülatör kullanılmıştır.

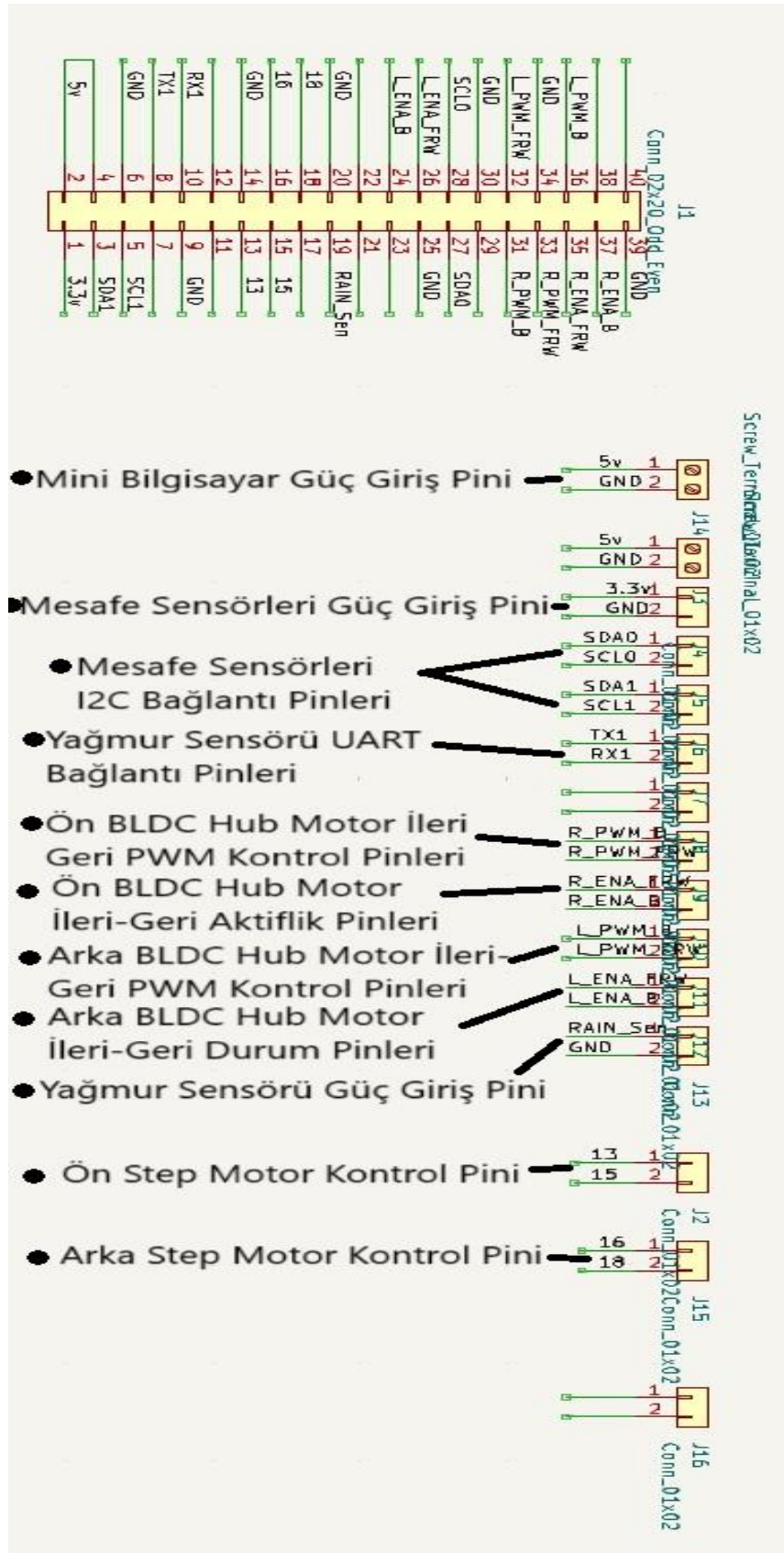
Mini bilgisayar olarak Jetson Nano geliştirme kartı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında Jetson Nano kullanmanın birçok nedeni vardır. Jetson Nano görüntü işleme ve yapay zeka projeleri için özel geliştirilmiş bir karttır. Yazılım dışında bu kart üzerinde robotik projeleri uygulayabilmek amacıyla 40 adet giriş çıkış pini bulunmaktadır. Jetson Nano, yazılımla kontrol edilebilen bu pinler sayesinde motor kontrolü, sensör verilerini okuma gibi çeşitli uygulamaları yapabilmektedir. Jetson nano üzerinde yerleşik olarak bulunan 2 adet pwm dalga üretebilen pin bulunmaktadır. Pwm pinleri sayesinde hub motorların kontrolü ve hız ayarı yapılabilmektedir. Ayrıca kamera bağlantısı için 2 adet CSI kamera portu bulunmaktadır. Bu sayede kamera bağlantısını hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Jetson Nano, 5 volt 4 amper ile çalışmaktadır. Bu nedenle jetson nanoyu çalıştırabilmek için 12volt-5volt dönüştürücü regülatör kullanılmıştır.

Ayrıca şase üzerinde görüntü işleme kamerası, elektronik kart ve kabloların yerleştirilebilmesi için delikler ve boşluklar bırakılmıştır. Şase üzerinde ayrıca elektronik aksamaların montajını gerçekleştirebilmek amacıyla geniş bir boşluk bulunmaktadır. Bu sayede şase üzerine otomasyon işlemleri gerçekleştirilebilmiştir. Bunun yanında robotun kendi enerjisini üretebilmesi için güneş enerjisi sisteminin bulunması planlanmıştır. Güneş panelinin şase üzerine sabitlenebilmesi için plastik takozlar yerleştirilmiştir. Güneş paneli, şasede elektronik tertibat üzerinde bulunmaktadır. Şase üzerindeki güneş panelinin yerleşim konumu Şekil 2.66'da gösterilmiştir.



Şekil 2.66: Robot şasesi üzerindeki güneş panelinin yerleşim konumu

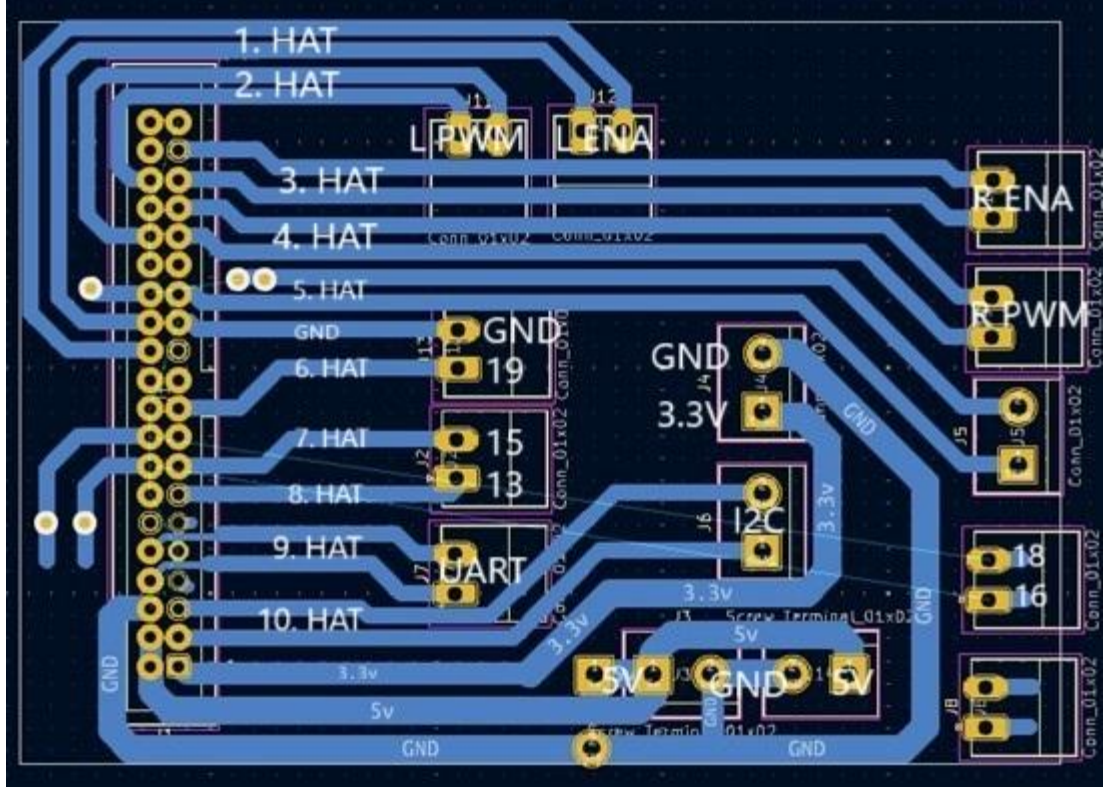
Şekil 2.67’de mini bilgisayardan gelen 40 pin bağlantı uçlarının dağılımı şematik olarak gösterilmiştir. Bu şeklin üst kısmı jetson nanonun pin numaralarını ve isimlerini göstermektedir. Alt kısmı ise pinlerin bağlandığı konnektörleri göstermektedir.



Şekil 2.67: Mini bilgisayar bağlantı şeması

Bu şematiğe göre jetson nano, 2 ve 4 numaralı pinleri üzerinden gelen 5v ile çalışmaktadır. 1 numaralı pin mesafe sensörlerinin güç ihtiyacını karşılamaktadır. 3 ve 5 numaralı pinler mesafe sensörlerinin I2C bağlantısının yapılabilmesi için SDA ve SCL pinleridir. Bu pinler jetson nano üzerinde yerleşik olarak bulunmaktadır. Böylece çoklu sensör görevleri yerine getirilebilmektedir. 8 ve 10 numaralı pinler yağmur sensörü ile haberleşmeyi sağlayan pinlerdir. Yağmur sensöründen verileri UART haberleşme ile alınmaktadır. 13 ve 15 numaralı pinler, ön step motorun açma ayarını yapıldığı pinlerdir. 16 ve 18 numaralı pinler ot kesme bıçağına bağlı step motorun hareketi için kullanılan pinlerdir. 19 numaralı pin yağmur sensörünün güç girişi pinidir. 24 ve 26 pinleri, çapalama aparatına bağlı hub motor için motor sürücüyü durum ve hareket bilgisi veren pinlerdir. 32 numaralı pin, jetson nano üzerinde yerleşik olarak var olan ve pwm dalgası üretmeye yarayan pindir. 32 numaralı pin çapa aparatına bağlı hub motor için ileri hareket pwm dalgası oluşturan pindir. 36 numaralı pin ise 32 numaralı pin üzerinden oluşturulan pwm dalgasının geri hareket pwm dalgası olarak hesaplanması için kullanılan pindir. 35 ve 37 numaralı pinler, direksiyon sistemine bağlı hub motor için motor sürücüyü durum ve hareket bilgisi veren pinlerdir. 33 numaralı pin, jetson nano üzerinde yerleşik olarak var olan ve pwm dalgası üretmeye yarayan pindir. 33 numaralı pin, direksiyon sistemine bağlı hub motorun ileri hız ayarının yapılabilmesi için kullanılmaktadır. 31 numaralı pin 33 numaralı pin üzerinden oluşturulan pwm dalgasını geri hareket için kullanmaya yarayan pindir.

Şekil 2.68'de mini bilgisayardan gelen 40 pin bağlantı uçlarının konnektörlere dağılımı devre şeması üzerinden gösterilmiştir.



Şekil 2.68: Mini bilgisayar bağlantı devresi

Bu pcb devre tasarımı gerçek hayata uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Bu kart sayesinde jetson nano üzerinde var olan giriş çıkış pinleri bağlantı konnektörlerine dağılmaktadır. Bu bağlantılar kablo uçlarına bağlanan kablo pabuçları ile gerçekleştirilebilir. Bağlantıların nasıl olacağı devre şeması üzerinde görülmekte ve ayrıca aşağıda anlatılmaktadır.

Bağlantı devresinde birinci hat üzerinden ön motorun durum konnektörlerine ulaşılmaktadır. İkinci hat üzerinden ön motorun ileri ve geri pwm konnektörlerine ulaşılmaktadır. Üçüncü hat üzerinden arka motorun durum konnektörlerine ulaşılmaktadır. Dördüncü hat üzerinden arka motorun ileri ve geri pwm konnektörlerine ulaşılmaktadır. Altıncı hat, 19 numaralı pine uzanmaktadır ve yağmur sensörünün güç giriş konnektörüdür. Yedinci hat, 15 numaralı pine uzanmaktadır ve bu ön step motorun yön konnektörüdür. Sekizinci hat, 13 numaralı pine uzanmaktadır ve ön step motorun hız ayar konnektörüdür. Onuncu hat, mesafe sensörlerinden bilgi alabilmek için I2C konnektörüne uzanmaktadır. 18 numaralı pin, atlama teliyle bağlıdır ve arka step motorun yön konnektörüdür. 16 numaralı pin, atlama teliyle bağlıdır ve arka step motorun hız ayar konnektörüdür.

Şekil 2.68'deki devre üzerinde görüldüğü üzere jetson nano giriş gücü için kullanılan hat diğerlerinden daha kalın çizilmiştir. Bunun nedeni jetson nanonun çalışabilmesi için 4 amper ihtiyacı duyulmaktadır. Bu akımı taşıyabilecek kapasitede devre yolu tasarımı yapılmıştır. Devre yolunun akımı taşıyamaması durumunda uygulama esnasında devre yolunu lehim ile doldurmak gerekebilir.

2.4 Yazılım Tasarımı

Otonom mobil robotun yapımında en kritik aşama kontrol yazılımının oluşturulmasıdır. Kontrol yazılımının amacı, robotun üzerindeki sensörler aracılığıyla çevresini tanımayı ve robotun hareketlerini yönetmeyi sağlamaktır.

Kontrol yazılımının hazırlanmasından önce sensörlerin mini bilgisayara tanıtılması gerçekleştirilmiştir. Robot üzerinde kamera, mesafe sensörleri, fotosel ve yağmur sensörü bulunmaktadır. Bu sensörlerden kamera ve mesafe sensörleri robotun hareketlerini yönetmektedir. Fotosel ve yağmur sensörü dış şartlara göre robotun çalışır durumda olup olması gerektiği bilgisini vermektedir. Bu sensörlerin amaçları aşağıda ifade edilmiştir.

Yağmur sensörü aktif olduğunda robot çalışmasını durdurmaktadır. Böylece robotun çamurlu arazi şartlarında çalışmasının önüne geçilmiştir. Fotosel, ışık şiddetini ölçmektedir. Böylece ışık şiddeti düştüğünde (örneğin gece olduğunda) robot kamerasından gelen verilerin yanlış olma ihtimaline karşı robotu uyku moduna geçirmektedir. Daha açık bir ifade ile ışık şiddetinin düşmesi neticesinde bitkinin algılanamayıp, robotun bitkiye zarar vermesi engellenmektedir. Sonuç olarak fotosel ve yağmur sensörü güvenlik amacıyla kullanılmıştır.

Kamera ve mesafe sensörleri robotun arazi içerisinde hangi pozisyonda olduğunu bilmesini sağlamaktadır. Kameradan gelen görüntü mini bilgisayarda işlenmektedir. Buradan elde edilen veriler sayesinde robotun tarım arazisinde olup olmadığı, sıra arasında olup olmadığı veya sıra arasını araması gerektiğini bildirmesi gerekmektedir.

2.4.1 Tütün Bitkisinin Tespiti

Görüntü işleme çalışması için öncelikle Şekil 2.69'da gösterilen kameradan alınan görüntü işlenmelidir. Diğer bir ifade ile kamerada görünen bitkiler tespit edilmelidir. Tespit işlemi için tek katmanlı bir derin öğrenme algoritması olan YOLO (You Only Look Once) algoritması kullanılmıştır. YOLO algoritmasının tercih edilmesinin nedeni düşük işlem güçlerinde bile hızlı ve güvenilir sonuçlar çıkarmasıdır. Bunun nedeni YOLO algoritmasının görüntüdeki pikselleri belirli boyutta kutu şeklinde okumasıdır. Her kutu içinde nesne olup olmadığını kontrol etmektedir. Ardından görüntü sinir ağından geçerek bir vektör oluşturulmaktadır. Bu vektör, kutu içerisinde aranan nesnenin olma olasılığını, nesnenin merkez noktasını, nesnenin eni ve yüksekliği ile ilgili bilgiler sunar. Nesnenin olma olasılığının 0 olması durumunda diğer parametrelerin bir önemi kalmamaktadır. Nesnenin olma olasılığı 1 ise diğer parametrelerde hesaplanmaktadır. Bu bilgiler sayesinde aranan nesnenin görüntüdeki yeri tespit edilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında YOLO algoritmasının eğitilmesi için araziden çeşitli görüntüler uygun bir şekilde günün farklı zamanlarında çekilmiştir. Bu görüntüler robotun bakış açısına uygun bir şekilde çekilmiştir. Görüntüler günün farklı zamanlarında çekilmiştir. Çünkü güneşin geliş açısı görüntüdeki piksellerde ton farklılıklarına neden olmaktadır. Günün tek bir saatinde çekilen fotoğraflar, derin öğrenme algoritmasının başarı oranını düşürecektir. Çünkü robot farklı zamanlarda çalıştığında, otomatik olarak görüntüdeki bitkileri farklı algılayacaktır. Bu nedenle farklı zaman aralıklarında görüntü elde edilmesi önemlidir. Şekil 2.69'da kameradan alınan örnek bir görüntü gösterilmiştir.



Şekil 2.69: Kameradan alınan örnek görüntü

Elde edilen görüntüler üzerinden eğitim ve test verileri oluşturulmuştur. Ardından eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ağırlık verileri elde edilmiştir. Bu veriler daha sonra YOLO algoritmasına verilerek kameradan elde edilen görüntü üzerindeki tütün bitkileri tespit edilmiştir. Şekil 2.70, Şekil 2.71, Şekil 2.72 ve Şekil 2.73'te görüntü işleme ve YOLO algoritmasının kullanımı ile en önsüradaki tütün bitkisinin tespit edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.70: Uzun bitkilerin bulunduğu ortamda kameradan alınan görüntü üzerinden tütün bitkisinin tespiti

Şekil 2.70’te görüldüğü üzere hasat zamanı gelmiş tütün arazisinde en ön sağ ve soldaki tütün bitkileri dikdörtgen içerisine alınarak tespiti yapılmıştır.



Şekil 2.71: Yeni dikilmiş bitkilerin bulunduğu ortamda kameradan alınan görüntü üzerinden tütün bitkisinin tespiti

Şekil 2.71’de görüldüğü üzere dikimi yeni yapılmış fidanların bulunduğu arazide en ön sağ ve soldaki tütün bitkileri dikdörtgen içerisine alınarak tespiti yapılmıştır.



Şekil 2.72: Gelişmekte olan bitkilerin bulunduğu ortamda kameradan alınan görüntü üzerinden tütün bitkisinin tespiti

Şekil 2.72’de dikim aşamasından yaklaşık 1 ay geçmiş gelişmekte olan tütün fidanlarının bulunduğu arazide sağ ve soldaki robota yakın olan tütün bitkileri dikdörtgen içerisine alınarak tespiti yapılmıştır.



Şekil 2.73: Tek tarafta bitki bulunması durumunda kameradan alınan görüntü üzerinden tütün bitkisi tespiti

Şekil 2.73’te gelişmekte olan tütün bitkilerinin bulunduğu arazide sol tarafta tütün bitkisi tespit edilmiştir. Böyle bir durumla karşılaşılması halinde robotun yapacağı davranışlar aşağıda anlatılmıştır. Ayrıca oluşabilecek farklı durumlar açıklanmıştır.

Bitkilerin tespit edilmesinin ardından robotun sıra arasında hareketini sağlamak üzere görüntüdeki bitkinin konum bilgisi elde edilmiştir. Kameradan gelen görüntü sol, orta ve sağ olmak üzere 3 ekrana bölünmüştür. Tütün bitkisinin bu ekranlarda tespit edilmesi durumuna 1 (True) değeri verilmiştir. Tespit edilmeme durumuna ise 0 (False) değeri verilmiştir. Böylece tespit edilen tütün bitkilerine bağlı kombinasyonlar oluşmuştur. Bu kombinasyonlara göre görüntüden elde edebileceği 8 farklı durum oluşmuştur. Bu durumlar Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Tütün tespiti için yapılacak olan faaliyet

Durumlar	Tütünün ekranda tespit edildiği konum			Yapılan Faaliyet
	Ekranın Solu	Ekranın ortası	Ekranın Sağı	
1	X			Sağa Yönelme
2		X		Sağa veya Sola Yönelme
3			X	Sola Yönelme
4	X	X		Sağa Yönelme
5	X		X	Düz İlerleme
6		X	X	Sola Yönelme
7	X	X	X	Sağa veya Sola Yönelme
8				Sağa veya Sola Yönelme

Tablo 2.1'e göre oluşan durumlar aşağıda izah edilmiştir.

1. Durumda tütün bitkisi sol ekranda tespit edilmiştir. Robotun sıra arasında kalabilmesi için sol ve sağ ekranda tütün bitkisi tespit edilmesi gerekmektedir. Orta ekranda ise sıra arasındaki toprak bölge kalacağı için tütün bitkisi olmaması gerekmektedir. Bu nedenle robot sağ ekranda da tütün bitkisi tespit edene kadar sağa yönelme faaliyetini gerçekleştirecektir.

2. Durumda tütün bitkisi orta ekranda tespit edilmiştir. Oluşmasını istediğimiz durum sağ ve sol ekranda tütün bitkisi tespitidir. Bu nedenle robot sağa veya sola yönelmelidir. Burada devreye daha sonra anlatımı yapılan piksel yoğunluk algoritması girmektedir. Sol ekranda yeşil piksel yoğun ise robot sağa yönelmelidir. Çünkü robot sıra arasını aramaktadır. Sıra arasında toprak bölge olduğu için yeşil piksel yoğunluğu az olmalıdır. Robot sağa veya sola yönelme işlemini tütün bitkilerine çarpmamak için yeşil pikselin az yoğun olduğu yöne doğru yapmaktadır.

3. Durumda tütün bitkisi sağ ekranda tespit edilmiştir. Bu nedenle yönelimi sola doğru olmaktadır.

4. Durumda tütün bitkisi sol ve orta ekranda tespit edilmiştir. Robotun tütün bitkilerine çarpıması için yönelimi sağa doğru olmaktadır.

5. Durumda tütün bitkisi sol ve sağ ekranda tespit edilmiştir. Orta ekranda tütün bitkisi tespit edilmemiştir. İstenilen durum gerçekleşmiştir. Bu nedenle robot düz bir şekilde hareket etmektedir.

6. Durumda tütün bitkisi orta ve sağ ekranda tespit edilmiştir. Bu nedenle robot sıra arasını sola dönme faaliyetini gerçekleştirerek bulmaktadır.

7. Durumda tütün bitkisi üç ekranda da tespit edilmiştir. Bunun nedeni robotun tek bir sıraya yönelmesidir. Robot sıra arasını aramaktadır. Bu nedenle yeşil piksel yoğunluğunun az olduğu bölgeye doğru yani sıra arasına hareketini gerçekleştirmektedir.

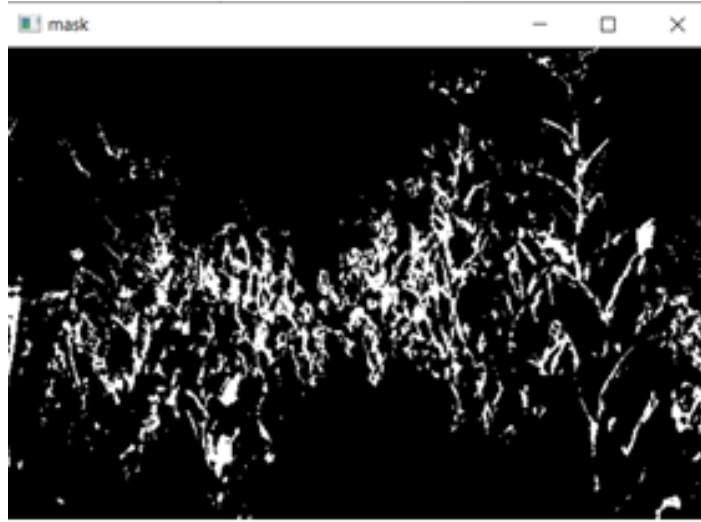
8. Durumda ise robot hiç tütün bitkisi tespiti yapmamıştır. Bu durumda robot belli bir süre sağa veya sola dönme faaliyetini gerçekleştirmektedir. Eğer tütün bitkisi tespiti yapılamadıysa piksel yoğunluk algoritması devreye girmektedir. Robot yönelimlerini piksel yoğunluk algoritması ile tütün bitkilerine yaklaşıp yaklaşarak yapmaktadır. Tütün bitkisi tespiti yapılanaya kadar yeşil piksellerin yoğun olduğu bölgeye hareketini gerçekleştirmektedir. Tütün bitkisi tespiti yapıldıktan sonra diğer durumlar devreye girmekte ve robot gerçekleştireceği faaliyeti açıklanan diğer durumlara göre yapmaktadır.

Tütün bitkisinin tespit edilme durumlarına göre robotun gerçekleştireceği faaliyetler bulunmaktadır. Bu faaliyetlerin tütün bitkisinin tek ekran üzerinden değil de 3 ekran üzerinden gerçekleşmesinin nedeni yazılımsal olarak kontrol edilebilirliktir. Bu sayede robotun yönelimleri kontrol edilmektedir. Robot faaliyetini gerçekleştirirken tütün bitkisine çarpmadan sıra aralarında dolaşmaktadır. Yukarıdaki tabloda faaliyet alanlarında sağa veya sola yönelme faaliyetlerinde kararsızlık meydana gelmektedir. Bu kararsızlığın ortadan kalkması için piksel yoğunluk algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma sayesinde yeşil piksellerin yoğun olduğu bölgelerde tütün bitkisinin olma ihtimalinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu algoritma ile ilgili açıklamalar ayrı bir başlık altında aşağıda anlatılmaktadır.

2.4.2 Yeşil Piksel Yoğunluk Algoritması

Kamera görüntüsünden elde edilen verilerden işlenmesi gereken bir diğer veri yeşil piksel yoğunluğudur. Bu bilgi algoritmada güvenlik amacıyla kullanılmıştır. Çünkü nesne tespit sistemi, görüntüde oluşan kaymalardan dolayı bazı durumlarda tütün bitkisini tespit edememiştir. Uzun süre tütün bitkisi tespiti yapılamadığı durumlarda piksel yoğunluk algoritmasının devreye girmesi planlanmıştır. Ve tütün bitkisi tespit edilene kadar bu algoritma hareketi sağlamaktadır. Piksel yoğunluk algoritması, hareket esnasında nesne tespit algoritmasına güven skoru tanımlaması ile destek sağlayarak, konum bilgisi hatalarının düzeltilmesinde yardımcı olmaktadır.

Piksel yoğunluk algoritması oluşturulmadan önce kameradan gelen görüntü üzerinde bazı ayarlamalar ve iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirmeler sayesinde görüntü 640x480 piksel boyutuna kadar düşürülmüştür. Bu sayede algoritmanın iş yükü azaltılmıştır. Ardından kameradan görüntü sol, orta ve sağ olmak üzere üçe ayrılmıştır ve görüntünün içerisindeki yeşil pikseller ayrıştırılmıştır. Şekil 2.74'te yeşil piksellerin ayrıştırılmış hali gösterilmiştir. Burada yeşil pikseller beyaz ve diğer pikseller siyah olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.74: Kameradan alınan örnek görüntü üzerinde yeşil piksel maskeleme işlemi

Piksel yoğunluk algoritması sayesinde ekrandaki yeşil piksel adedi tespit edilmiştir. Böylece yeşil piksel sayısı, toplam piksel sayısına oranlanarak yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. Piksel yoğunluk algoritmasından elde edilen yoğunluk

değerleri sol, orta ve sağ ekranlar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yeşil piksel sayıları, toplam yeşil piksel sayısı ile oranlanarak bazı varsayımlar yapılmıştır. Öncelikle burada yeşil piksel sayısının görüntüde 1000 adetten fazla olma şartı vardır. Bu şart görüntüden bilgi çıkarımı yapabilmek için yeterli verinin olması gerektiği anlamına gelmektedir. Eğer bu şart sağlanmıyorsa arazide tütün bitkisi yoktur anlamı çıkarılmaktadır. Böylece tütün bitkisini arama yazılımı devreye girmektedir.

Piksel yoğunluk algoritmasında hesaplama şu şekilde yapılmaktadır:

$$\text{Sol Ekran Yeşil Piksel Yoğunluğu} = \text{SoEYPA/TYPA} \quad (2.13)$$

$$\text{Orta Ekran Yeşil Piksel Yoğunluğu} = \text{OEYPA/TYPA} \quad (2.14)$$

$$\text{Sağ Ekran Yeşil Piksel Yoğunluğu} = \text{SaEYPA/TYPA} \quad (2.15)$$

$$\text{SolEYPY} + \text{OEYPY} + \text{SağEYPY} = 1 \quad (2.16)$$

Burada SoEYPA sol ekran yeşil piksel adedini, OEYPA orta ekran yeşil piksel adedini, SaEYPA sağ ekran yeşil piksel adedini vermektedir. TYPA toplam yeşil piksel adedini vermektedir. Yoğunluk değeri tüm pikselin yeşil olması durumunda 1 değerini, yeşil piksel olmama durumunda 0 değerini vermektedir. Buradan anlaşılacağı üzere yoğunluk değeri 0 ile 1 arasında oluşmaktadır.

Bu hesaplardan şu anlaşılmaktadır. Yeşil piksel yoğunluğunun olduğu bölgelerde tütün bitkisi olma ihtimali yüksektir. Bu nedenle mobil robotun tütün bitkilerine çarpmaması için bu bölgelerden kaçması gerekmektedir. Piksel yoğunluk algoritmasına göre ekrandaki 1000 adetten fazla yeşil piksel bulunan kısım hesaplamaya dahil edilmektedir. Bunun nedeni ekranda filtreleme işleminde çok az da olsa farklı renkleri yeşil piksel olarak göstermesidir. Görüntüde yeşil piksel ne kadar çok ise yeşil piksel algoritması o kadar doğru sonuç vermektedir.

Piksel yoğunluk algoritmasında yeşil piksellerin fazla olduğu ekranda tütün bitkisinin olma ihtimali de daha yüksektir. Bu nedenle burada da bir sınırlamaya gidilmiştir. Buradaki sınırlama yeşil piksel adedi 50000'den fazla olan ekranda tütün bitkisi vardır demektir. Böylece robot sadece yoğunluk değeri üzerinden değil sınırlamalar üzerinden de hareketini gerçekleştirmektedir. Bu yöntem sayesinde

ekranın üç bölümünde de yeşil piksel yoğunluğu fazla ise robotun yönü tek bir sıraya bakmaktadır anlamı çıkmaktadır. Bu durumdan çıkmak için robot yeşil piksel yoğunluğunun az olduğu yöne doğru hareket etmesi gerekmektedir. Bu nedenle robot piksel yoğunluk algoritmasından elde edilen verilerle sıra arası yönünü tekrar aramaktadır. Bu sayede robotun bütün bitkisine çarpması engellenmektedir.

Mobil robotun hareketi esnasında yakalamaya çalıştığı durum, sol ve sağ ekranda maksimum yeşil piksel yoğunluğu, ortada ise minimum yeşil piksel yoğunluğu olmasıdır. Bu durum sol ve sağ ekranda bitki olma ihtimali yüksek orta ekranda toprak olma ihtimali yüksek anlamını vermektedir. Robotun hareketi gerçekleştirilmesi istenilen alan toprak alandır. Bu durum yakalanıncaya kadar robot farklı senaryolarla karşılaşmaktadır. Robotun yeşil piksel yoğunluk algoritması çalışırken karşılaşacağı durumlar Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: Yeşil piksel yoğunluğu oluşma durumları

Durumlar	Yoğun yeşil pikselin ekranda bulunma durumu			Yapılan Faaliyet
	Ekranın Solu	Ekranın ortası	Ekranın Sağı	
1	X			Sağa Yönelme
2	X	X		Sağa Yönelme
3	X	X	X	Sağa veya Sola Yönelme
4		X		Sağa veya Sola Yönelme
5		X	X	Sola Yönelme
6			X	Sola Yönelme
7	X		X	Düz İlerleme
8				Sola veya Sağa Dönme

Farklı durum senaryoları için ekran sol, orta ve sağ olmak üzere üç kısma ayrılmıştır. Tabloda X işareti varsa yeşil piksel yoğunluğu hesaplanabilmiş demektir. Yeşil piksel yoğunluğu algoritmasında bütün tespit algoritmasında olduğu gibi kararsızlık durumu oluşmamaktadır. Yeşil piksel yoğunluk algoritmasında genel olarak yeşil piksel yoğunluğunun az olduğu yöne doğru bir yönelim söz konusudur.

Sonuç olarak piksel yoğunluk hesabı sonunda elde edilen oranlar sayesinde robotun hareketi sağlanmaktadır. Örnek bir hareket senaryosu aşağıda verilmiştir.

Sol ekran yeşil piksel yoğunluğu 0.8 orta 0.1 sağ 0.1 olsun. Bu durumda robot sağa dönüş gerçekleştirecektir. Çünkü yeşil piksel yoğunluğunun fazla olduğu bölgede bütün bitkisinin olma olasılığı daha fazladır. Sağa dönüşte gerçekleştireceği dönüş miktarının oranı sol ve sağ ekrandaki oranların birbirinden çıkarılması ile elde edilecek katsayı sayesinde gerçekleştirecektir.

Yani $0.8-0.1 = 0.7$ 'dir.

Elde edilen bu değer sağa dönüş fonksiyonuna verilerek pwm dalgalarının ayarının yapılmasına katkı yapmaktadır. Bu sayede robotun sağa dönüş işlemi kontrollü bir şekilde gerçekleşmektedir. Aynı işlem farklı senaryolar içinde geçerlidir. Eğer sağ ekranda piksel yoğunluğu fazla ise sola dönüş işlemi gerçekleşecektir. Bu durum sol ve sağ ekran eşit ve yüksek yoğunlukta olup orta ekran en düşük yoğunlukta olana kadar devam edecektir. Böylece robotun sıra arasını bulması sağlanmış olacaktır. Sıra arasından çıktığı her an bu optimizasyon gerçekleştirilecek ve robotun sıra arasında kalması sağlanacaktır.

Bütün ekranlarda yeşil piksel olması durumunda robotun bütün bitkisine doğru hareket ettiği düşünülerek robotun sağa veya sola doğru dönmesi sağlanmaktadır. Böylece sıra arası bulunana kadar dönme işlemi devam edecektir. Sıra arasında olma durumu öncelikle bölünmüş ekranlarda solda ve sağda bütün bitkisi olmasını araştırır. Bir tam tur sonucunda eğer bütün bitkisi tespit edilemediyse yeşil piksel yoğunluğu algoritmasının sonuçlarına bakılır. Yine bölünmüş ekranlarda sol ve sağ ekranda yoğunluk fazla ve orta ekranda az olması durumunda mobil robotun sıra arasında olma olasılığı fazladır. Bu nedenle doğrudan ileri yöne doğru hareket etmesi sağlanmalıdır. Böylece robot sıra arasında hareketini gerçekleştirebilecektir. Hazırlanan yazılım Ek-A'da verilmiştir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında mevcut derin öğrenme modellerinden olan YOLO algoritması kullanılarak tütün tarımında sıra aralarında gezerek toprağı çapalayan ve yabancı bitkilerle mücadele etmeyi amaçlayan mobil tarım robotunun prototipi tasarlanmıştır.

Prototip tasarımında robotun mekanik parçalarının dayanımlarının sayısal analizleri, motor gücü hesapları için hareket analizleri, elektronik kartların hazırlanması ve yazılım konuları ele alınmıştır. Yapılan tasarım neticesinde tütün ekim alanında uygun bir şekilde çalışabilecek bir tasarım hazırlanmıştır.

Yapılan tasarım ile ülkemizde tarım sektöründe nispeten az olan otonom bir tarım robotu hazırlanmıştır. Böylece bundan sonra yapılacak çalışmalar için bir örnek teşkil edilmiştir.

4. KAYNAKLAR

Ozer Z., Türkiye I. Herboloji Kongresi Bildirileri Adana, 1993, p.1.

Hernandez, J. D., Barrientos, J., Cerro, J., Barrientos, A. ve Sanz, D., “Moisture measurement in crops using spherical robots”, *Industrial Robot: An International Journal*, 40(1), 59-66, (2013).

Emmi L., Madrid L. P. ve Ribeiro A., “Fleets of robots for precision agriculture: a simulation environment”, *Industrial Robot: An International Journal*, 40(1), 41-58,(2013).

Jensen K., Larsen M., Nielsen S. H., Larsen L. B., Olsen K.S. ve Jorgensen R. N., “Towards an Open Software Platform for Field Robots in Precision Agriculture”, *Robotics* , 3, 207-234,(2014).

Bogue J., “Robots poised to revolutionise agriculture”, *Industrial Robot: An International Journal* , 43(5),450-456,(2016).

Phanomchoeng G., Saadi M., Sasthong P., Tangmongkhonsuk J., Wijayasekara S. K. ve Wuttisittikulij L., “Hardware Software Co-Design of a Farming Robot”, *Engineering Journal* , 24(1), 199-208,(2020).

Dutta A., Roy S., Kreidl O. P. ve Bölöni L., “Multi-Robot Information Gathering for Precision Agriculture: Current State, Scope, and Challenges”, *Open Access Journal* , 9, 161416-161430, (2021).

Bogue R., “Robots poised to transform agriculture”, *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application* , 48(5), 637-642, (2021).

Zimmer D., Plascak I., Barac Z., Jurisic M. ve Radocaj D., “Application of Robots and Robotic Systems in Agriculture”, *Technical Journal* , 15(3), 435-442, (2021).

Meshram A. T., Vanalkar A.V., Kalambe K. B. ve Badar A. M., “Pesticide spraying robot for precision agriculture: A categorical literature review and future trends”, *Journal of Field Robotics*, 39,153-171, (2021).

Bagagiolo G., Matranga G., Cavallo E. ve Pampuro N., “Greenhouse Robots: Ultimate Solutions to Improve Automation in Protected Cropping Systems”, *Sustainability*, 14, 6436, (2022).

Ferehan N., Haqiq A. ve Ahmad M. W., “SmartFarmingSystemBasedonIntelligentInternetofThingsand Predictive Analytics”, *Journal of Food Quality* , 2022, doi: 10.1155/2022/7484088, (2022).

Jawhar I., Mohamed N., Kesserwan N. ve Al-Jaroodi J., “Networking Architectures and Protocols for Multi-Robot Systems in Agriculture 4.0”, *2022 IEEE International Systems Conference*, doi: 10.1109/SysCon53536.2022.9773907, (2022).

Baek E. T. ve Im D.Y., “ROS-Based Unmanned Mobile Robot Platform for Agriculture”, *Applied Sciences*, 12(9), 4335, (2022).

Berger G. S., Teixeira M., Cantieri A., Lima J., Pereira A. I., Valente A., Castro G. G. R. ve Pinto M. F., “Cooperative Heterogeneous Robots for Autonomous Insects Trap Monitoring System in a Precision Agriculture Scenario”, *agriculture*, 13, 239, (2023).

Emmi L., Fernandez R., Santos P. G., Francia M., Golfarelli M., Vitali G., Sandmann H., Hustedt M. ve Wollweber M., “Exploiting the Internet Resources for Autonomous Robots in Agriculture”, *Agriculture 2023*, 13, 1005, (2023).

Cheng C., Fu J., Su H. ve Ren L., “Recent Advancements in Agriculture Robots: Benefits and Challenges”, *machines* , 11, 48, (2023).

Wang Y., Fan J., Yu S., Cai S., Guo X. ve Zhao C., “Research advance in phenotype detection robots for agriculture and forestry”, *Int J Agric & Biol Eng*, 16(1), 14-25, (2023).

Car M., Ferreira B. A., Vuletic J. ve Orsag M., “Structured Ecological Cultivation With Autonomous Robots in Agriculture”, *Toward a Fully Autonomous Robotic Indoor Farming System*, doi: 10.1109/MRA.2023.3315934, (2023).

Leanza A., Galati R., Ugenti A., Cavallo E. ve Reina G., “Where am I heading? A robust approach for orientation estimation of autonomous agricultural robots”, *Computers and Electronics in Agriculture* , doi: 10.1016/j.compag.2023.107888 , 210 , (2023).

Emmi L., Fernandez R. ve Santos P. G., “An Efficient Guiding Manager for Ground Mobile Robots in Agriculture”, *Robotics*, 13, 6, (2024).

Amertet S., Gebresenbet G. ve Alwan H. M., “Optimizing the performance of a wheeled mobile robots for use in agriculture using a linear-quadratic regulator”, *Robotics and Autonomous Systems*, 174, 104642, (2024).

Yerebakan M. O. ve Hu B., “Human–Robot Collaboration in Modern Agriculture: A Review of the Current Research Landscape”, *Advanced Intelligent Systems* , doi: 10.1002/aisy.202300823, (2024).

Acar, A.İ., Güner, M. ve Öztürk, R., *Tarım Alet ve Makinaları, Eskişehir, Anadolu Üniversitesi*, 76-80, (2014).

Yıldız, T., Özkaraman, F. ve Kandemir, D., “Organik Tarımda Bazı Yeni Yöntemlerle Yabancı Ot Kontrolü”, *Türk Tarım- Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 213-218, (2018).

Sabancı, K. ve Aydın, C., “Görüntü İşleme Tabanlı Hassas İlaçlama Robotu”, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(2014), 406-414, (2014).

EKLER

5. EKLER

EK A Otonom Hareket Algoritması

```
#Kütüphaneler

import cv2

import numpy as np

import RPi.GPIO as GPIO

#Fonksiyonlar

def ileri(pwm1,pwm2):

    ...

def soladonus(pwm1,pwm2):

    ...

def sagadonus(pwm1,pwm2):

    ...

def geri(pwm1,pwm2):

    ...

def konum tespiti():

    ...

def mesafe tespiti():
```



```

...

return mesafe

def tutuntespialgoritmasi():
...

return tutunkonumnoktalari

def yesilpikselyogunlukalgoritmasi():
...

return pikselyogunlukdegerleri

def yesilpikselyogunlukhareketalgoritmasi():
...

#Kameradan Görüntü Alma

dispW = 640

dispH = 480

flip=2

camSet='nvarguscamerasrc ! video/x-raw(memory:NVMM), width=3264,
height=2464, format=NV12, framerate=21/1 ! nvvidconv flip-method='+str(flip)+' !
video/x-raw, width='+str(dispW)+'', height='+str(dispH)+'', format=BGRx !
videoconvert ! video/x-raw, format=BGR ! appsink'

cam= cv2.VideoCapture(camSet)

#Mobil Robot Hareket Algoritması

while True:

```

```

ret, frame = cam.read()

frame = cv2.resize(frame, (640, 480))

konum tespiti()

mesafe tespiti()

tutuntespialgoritmasi()

yesilpikselyogunlukalgoritmasi()

solekran = False

ortaekran = False

sagekran = False

for konum in tutunkonumnoktalari:

    if int(tutunkonumnoktalari[konum]) < 220:

        solekran = True

        if          220<=int(tutunkonumnoktalari[konum])          and
int(tutunkonumnoktalari[konum]) <= 440:

            ortaekran = True

            if 440 < int(tutunkonumnoktalari[konum]):

                sagekran = True

        pwm1          =          (solekranpikselyogunlukdegeri*100          +
solekrantutunkonumdegeri*100) / 2

        pwm2          =          (sagekranpikselyogunlukdegeri*100          +
sagekrantutunkonumdegeri*100) / 2

```

```

if (solekran == True and ortaekran == True and sagekran == True):

    if (solekranpikselyogunluk < sagekranpikselyogunluk):

        soladonus(pwm1,pwm2)

    else:

        sagadonus(pwm1,pwm2)

elif (solekran == True and ortaekran == True and sagekran == False):

    sagadonus(pwm1, pwm2)

elif (solekran == True and ortaekran == False and sagekran == True):

    ileri(pwm1,pwm2)

elif (solekran == True and ortaekran == False and sagekran == False):

    sagadonus(pwm1,pwm2)

elif (solekran == False and ortaekran == True and sagekran == True):

    soladonus(pwm1,pwm2)

elif (solekran == False and ortaekran == True and sagekran == False):

    if (solekranpikselyogunluk < sagekranpikselyogunluk):

        soladonus(pwm1,pwm2)

    else:

        sagadonus(pwm1,pwm2)

elif (solekran == False and ortaekran == False and sagekran == True):

    soladonus(pwm1,pwm2)

```

```
else:

    yesilpikselyogunlukhareketalgoritmasi()

cv2.imshow("Detection Window", frame)

cv2.imshow("Sol Ekran Piksel Yoğunluk", solekranpikselyogunluk)

cv2.imshow("Orta ekran Piksel Yoğunluk", ortaekranpikselyogunluk)

cv2.imshow("Sağ Ekran Piksel Yoğunluk", sagekranpikselyogunluk)

if cv2.waitKey(1000) & 0xFF == ord("q"):

    break

cap.release()

cv2.destroyAllWindows()
```