

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**HİDROLİK ETKİLİ TOPRAK KAZI MAKİNESİNİN (SKREYPER)
MUKAVEMETE DAYALI BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Gökhan ERAVCI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**HİDROLİK ETKİLİ TOPRAK KAZI MAKİNESİNİN (SKREYPER)
MUKAVEMETE DAYALI BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Gökhan ERAVCI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROLİK ETKİLİ TOPRAK KAZI MAKİNESİNİN (SKREYPER)
MUKAVEMETE DAYALI BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Gökhan ERAVCI
TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez **28 /06 /2022** tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK (Danışman) :

Prof. Dr. İbrahim AKINCI :

Prof. Dr. Deniz YILMAZ :

ÖZET

HİDROLİK ETKİLİ TOPRAK KAZI MAKİNESİNİN (SKREYPER) MUKAVEMETE DAYALI BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Gökhan ERAVCI

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

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK

Haziran 2022; 78 sayfa

Bitkisel üretimde ilk arazi hazırlığında yer alan tesviye süreci, zemini bozuk arazilerde kaba tesviye işlemleri ile başlamaktadır ve bu işlem toprak işleme iş sıralamasının en başında gelmektedir. Tarımsal arazi tesviyesi için birçok tarımsal makine ve alet çeşidi mevcuttur ancak bu bağlamda kullanılan ilk tarımsal iş makineleri toprak kazı makineleridir. Toprak kazı makineleri, iş ve inşaat makineleri kategorilerinde yer alabildiği gibi tarımsal alan hazırlama işlemleri için kullanılan toprak işleme makineleri grubunda da sınıflandırılabilir. Bu makine tiplerinin çoğunluğu hidrolik etkilidir ve çeşitliliği açısından ise iş hacmine göre kapaklı ya da kapaksız modeller olarak imal edilebilmektedir. Ülkemiz özelinde ise yaklaşık 40-45 kW güç aralığında traktörlerin çekebileceği bu tip makinelerin geneli yalnızca kazanlı, yani kapaksızdır ve çalışma alanlarında kullanılan hidrolik etki ve kapak mekanizması olan kazı makineleri Türkiye traktör parkı ortalama gücünün üzerinde bir güç gereksinimi duymaktadır.

Özellikle kaba toprak tesviyesi ile ilgili olarak toprak işleme sırasında kullanılan bu tip makinelere ait elemanlar yüksek reaksiyon kuvvetleri altında çalışmaktadır. Bu tip makinelerin işlem sırasında ilgili fonksiyonları yerine getirmenin yanında bu reaksiyon kuvvetlerine karşı mukavim olarak tasarlanması gerekmektedir. Tekniğine uygun şekilde boyutlandırma, malzeme bilgisi, bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik araçları ile tasarlanan ve yapısal olarak optimize edilen makine elemanları ile bu tip yüksek reaksiyon kuvvetlerinin sebep olabileceği makine hasarlarının önüne geçilmesi mümkün olabilmekte ve tarlada çalışma sırasında bu tip makinelerin iş başarısı daha da yükseltilebilmektedir. Bu noktada Mukavemete dayalı makine tasarımı yaklaşımı öne çıkmaktadır. Ancak, bu tip makineler ile ilgili, özellikle mukavemete dayalı bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik, hızlı prototipleme uygulamalarının yer aldığı ve imalat resimlerinin hazırlandığı özgün tasarım çalışmalarının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, tarım makineleri tasarımı ve imalatı araştırma alanı özelinde, bitkisel üretimde kullanılan hidrolik etkili bir toprak kazı makinesinin (skreyper) mukavemete dayalı bilgisayar destekli tasarımı üzerine özgün bir araştırma

yürütülmüştür. Araştırma sürecinde tarım alet ve makine tasarımlarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi süreçlerine katkıda bulunabilecek özgün bir bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik uygulama algoritması kurulmuştur. Teknik olarak ülkemizde kullanılan kazı makinelerinde genellikle kazıma, taşıma ve boşaltma işlemleri birden fazla hareket mekanizması kullanılarak yapılmaktadır. Çalışmada, hidrolik etkili hareket sisteminin özgün tasarlanan mekanizması yardımı ile bahsedilen üç aşama tek bir mekanizma ile gerçekleştirilebilmiş, pratik ve kullanışlı çekilir tip bir toprak kazı makinesinin imalata hazır tasarım çıktıları ortaya konmuştur. Elde edilen tasarım çıktıları ardından makinenin üç boyutlu 1:15 ölçekli bir prototip modeli katmanlı imalat tekniği ile imal edilerek tasarım fiziksel olarak değerlendirilmiş ve 1:1 ölçekli ilk prototip imalatının yapılabileceği imalat/teknik resimleri hazırlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Arazi tesviyesi, Bilgisayar Destekli Tasarım ve Mühendislik, Hidrolik Skreyper, Kinematik Analiz, Mukavemete Dayalı Tasarım, Sonlu Elemanlar Analizi, Tarım Makineleri Tasarımı, Toprak Kazı Makinesi

JÜRİ: Doç. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK

Prof. Dr. İbrahim AKINCI

Prof. Dr. Deniz YILMAZ

ABSTRACT

A RESEARCH ON STRENGTH BASED COMPUTER AIDED DESIGN OF A HYDRAULIC SCRAPER

Gökhan ERAVCI

**MSc Thesis in Department of Agricultural Machinery and Technology
Engineering**

Supervisor: Assoc Prof. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK

June 2022; 78 pages

Levelling process, which takes place in the first agricultural land preparation in crop production, starts with rough levelling on uneven ground, and this process is at the top of the tillage work order. There are many types of agricultural machinery and tools for agricultural land levelling, but the first agricultural machinery used in this context are soil excavation machines. Soil excavation machines can be classified in the categories of heavy work and construction machines, as well as in the group of soil tillage machines used for agricultural field preparation operations. The majority of these machine types are hydraulically effective and in terms of variety, they can be manufactured as models with or without cover, depending on the material volume to be operated. In Turkey, these types of machines, which can be pulled by tractors in the power range of about 40-45 kW, are generally only with a housing, that is without a cover, and excavation machines with hydraulic effect and cover mechanism used in the working areas need a power above the average power of the Turkish tractor park.

The elements of this type of machinery used during tillage, especially in relation to coarse soil levelling, operate under high reaction forces. This type of machines should be designed to be resistant to these reaction forces as well as to fulfil the relevant functions during the process. With machine elements designed and structurally optimized with proper sizing, material knowledge, computer-aided design and engineering tools, it is possible to prevent machine damage that may be caused by such high reaction forces, and the work success of such machines can be further increased while working in the field. At this point, the strength-based machine design approach comes to the fore. However, it is seen that the original design studies for this type of machines, especially strength-based computer-aided design and engineering, rapid prototyping applications, and production drawings are quite limited.

In this thesis, an original research was carried out on the strength-based computer aided design of a hydraulically effective soil excavation machine (scraper) used in crop production, specific to the research area of agricultural machinery design and manufacture. During the research process, a unique computer-aided design and engineering application algorithm was established that can contribute to the development and improvement of agricultural tool and machine designs. Technically, in excavation machines used in Turkey, generally scraping, transporting and unloading operations are

performed by using more than one movement mechanism. In the study, the production-ready design outputs of a practical and useful trailed type soil excavation machine, which can be realized with a single mechanism with the help of the originally designed mechanism of the hydraulically effective motion system, have been revealed. After the design outputs obtained, a three-dimensional 1:15 scale prototype model of the machine was manufactured using the additive manufacturing technique, and the design was physically evaluated and the manufacturing/technical drawings were prepared, where the first prototype in 1:1 scale could be manufactured.

KEYWORDS: Land Levelling, Computer Aided Design and Engineering, Hydraulic Scraper, Kinematic Analysis, Strength-Based Design, Finite Element Analysis, Design of Agricultural Machinery, Earth Moving Machinery

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK

Prof. Dr. İbrahim AKINCI

Prof. Dr. Deniz YILMAZ

ÖNSÖZ

Bitkisel üretim alanlarının ilk hazırlığının gereği bir şekilde yapılması takip eden bitkisel üretim basamaklarının mekanizasyona uygun bir şekilde yürütülebilmesinin temeli olarak kabul edilebilir. Bu durum bitkisel üretim alanlarının ilk hazırlığı olan arazi tesviyesi işlemlerinin ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Artan teknoloji hızıyla yeni ve daha teknolojik makineler tasarlanmakta, imal edilmekte ve hızlıca kullanım alanlarında kendilerine yer bulmaktadır. Tamamlanan bu tez çalışmasında tarımsal arazide tesviye amaçlı kullanılan hidrolik etkili bir toprak kazı makinesinin (skreyper) mukavemete dayalı bilgisayar destekli tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çeşitli kaynaklardan ve kişisel makine tasarım tecrübelerinden faydalanılarak bilimsel araştırma yöntemleri çerçevesinde imalata yönelik bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik teknikleri hakkında bilgiler verilmiş ve tarım makineleri tasarım ve imalat sektörüne somut çıktıları olan faydalı bir uygulama örneği sunulmuştur.

Bu tez çalışmada ele alınan, hidrolik etkili toprak kazı makinesinin (skreyper) mukavemete dayalı bilgisayar destekli tasarımı konusu, ulusal ve uluslararası makine tasarım ve imalat sektöründe edindiğim tecrübeler ve gözlemlerim doğrultusunda uzun süredir üzerine düşündüğüm bir konudur. Bu nedenle, bu konun tez araştırma konusu olarak belirlenmesinden araştırmanın tamamlanmasına kadar geçen tüm süreçlerde sonsuz desteğini ve teknik tecrübelerini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hüseyin Kürşat ÇELİK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ek olarak, lisans ve yüksek lisans eğitimim sürecinde altyapı ve bilimsel tecrübelerinden yararlandığım Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümüne, bana daima destek veren ve yanımda olan eşim Matematik Öğretmeni Gülsüm EREL ERAVCI'ya, tez yazım işlemlerinde benimle tecrübelerini paylaşan ve bu sürece katkı sunan değerli arkadaşım Zir. Yük. Müh. Gökhan KUNT'a, akademik eğitim hayatım boyunca bana maddi ve manevi destek sağlayan sayın Mark LANDER beyefendiye, son olarak tüm yaşamım boyunca birçok fedakarlıklar yapan babam Mustafa ERAVCI ve annem Mediha ERAVCI'ya sonsuz teşekkürler ederim.

Yapılan bu tez çalışmasının ilgili makine tasarım ve imalat sektöründe çalışanlara ve ilgili alanda yer alan araştırmacılara faydalı olmasını temenni ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Arazi Tesviyesi Tanımı ve Amacı	1
1.2. Arazi Tesviyesi İşlemi	1
1.3. Tesviye Sınıfı Alet ve Makineler	1
1.3.1. Tesviye Kürekleri.....	1
1.3.2. Tesviye Küreği Çeşitleri	2
1.4. Toprak Kazı Makineleri	3
1.4.1. Toprak Kazı Makineleri Tipleri	3
1.4.2. Hidrolik Etkili Toprak Kazı Makineleri (Skreyper) Tanımı ve Çeşitleri....	3
1.4.2.1. Skreyper Çalışma Prensibi	4
1.4.2.2. Skreyper Genel Tasarım Özellikleri	4
1.5. Tasarım	6
1.6. Makine Tasarımı.....	6
1.7. Mukavemet.....	7
1.8. Mekanizma Hareket ve Kuvvet Analizi	7
1.9. Bilgisayar Destekli Tasarım	9
1.10. Sonlu Elemanlar Yöntemi	10
1.11. Katmanlı İmalat ve Hızlı Prototipleme	12
1.12. Teknik Resim	13
2. KAYNAK TARAMASI	14
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Uygulama Algoritması ve Adımları	21
3.2. Skreyper Başlangıç Tasarımı ve 3 Boyutlu (3D) Parametrik Katı Modelleme.....	22

3.3.	Tasarım Özelinde Tanımlanan Skreyper için İşlem Basamakları	26
3.4.	Skreyperin Temel Elemanları.....	27
3.5.	Skreyperin Sonlu Elemanlar Analizi İçin Tanımlanan Malzemeler ve Özellikleri.....	31
3.6.	Skreyper FEA Senaryoları ve Mekanizma Analizi İçin Sınır Koşulları	32
3.6.1.	Kazı Pozisyonu FEA Sınır Koşulları	32
3.6.2.	Kazan Hacmi Boş ve Dolu Pozisyonlarında Yerçekimi Etkisinde Sınır Koşulları.....	34
3.6.3.	Skreyperin Boş ve Dolu Hacimli Kazanın Kaldırılması İçin Gerekli Hidrolik Piston Kuvvetine bağlı Sınır Koşulları.....	35
3.6.4.	Skreyperin Kazan Hacmi Boş ve Dolu İken Hidrolik Pistonun Çalışması Durumundaki Sınır Koşulları.....	36
3.6.5.	FEA için FE Modelinin (Ağ örgüsü-Mesh Yapısı) Oluşturulması	37
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
4.1.	FEA Senaryoları Çözüm İşlemleri ve Analiz Çıktıları.....	38
4.1.1.	Hidrolik Piston ile Çalışan Mekanizma Yapısının İncelenmesi	38
4.1.2.	Skreyperin Gerilme Analizleri, Deformasyon Davranışları ve Güvenlik Faktörleri (FOS) Çıktılarının İncelenmesi.....	38
4.1.2.1.	Skreyperin Kazı Durumundaki Analiz Çıktıları.....	38
4.1.2.2.	Skreyperin Kazan Hacmi Boş ve Dolu Olduğu Pozisyonlardaki Yerçekimine Dayalı Analiz Çıktıları	42
4.1.2.3.	Skreyperin Boş ve Dolu Hacimli Kazanın Kaldırılması İçin Gereken Hidrolik Piston Kuvvetinin Hareket Analizi Çıktısı	45
4.1.2.4.	Skreyperin Boş ve Dolu Hacimli Kazanın Kaldırılması İçin Gereken Hidrolik Piston Kuvveti Uygulamasıyla ve Yerçekimine Dayalı Analiz Çıktıları.....	46
4.2.	Skreyperin Katmanlı İmalat Yöntemi ile 3D Hızlı Prototip Uygulaması	48
4.3.	Skreyper Tasarım Analizi Sayısal Çıktılarının Değerlendirilmesi	49
5.	SONUÇLAR.....	51
6.	KAYNAKLAR	53
7.	EKLER.....	58
7.1.	Skreyperin İmalat Teknik Resimleri	58
ÖZGEÇMİŞ		

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hidrolik Etkili Toprak Kazı Makinesinin (Skreyper) Mukavemete Dayalı Bilgisayar Destekli Tasarımı Üzerine Bir Araştırma” başlıklı çalışmanın akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

28/06/2022

Gökhan ERAVCI



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Alan
BG	: Beygir Gücü
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Saat
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kW	: Kilowatt
m	: Metre
N	: Newton
Nç	: Çeki gücü
P	: Çeki kuvveti
V	: Çalışma hızı
W	: Watt

Kısaltmalar

ISO : International Organization for Standardization
(Uluslararası Standartlar Teşkilatı)

MEB : Milli Eğitim Bakanlığı

MEGEP: Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi

CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

FDM : Fused Deposition Modelling (Eriyik Yığılma Modelleme)

FEA : Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Analizi)

FOS : Factor of Safety (Güvenlik Faktörü)

GÇK : Güvenli Çalışma Katsayısı

LKTM: Lazer Kontrollü Tesviye Makinesi

SBA : Sera Bitkisi Askısı



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Asılır tip tesviye küreği örneği	2
Şekil 1.2. Lazer kontrollü tesviye makinesi (LKTM).....	2
Şekil 1.3. Hidrolik Etkili Toprak Kazı Makinesi (Skreyper).....	3
Şekil 1.4. İtici aracın ön kısmına bağlanan örnek skreyper	5
Şekil 1.5. Hidrolik etkili bir skreyper tasarım örneği	5
Şekil 1.6. Tasarım Kavramı	6
Şekil 1.7. Kinematik yer değişim ile elde edilebilen dört farklı mekanizma.....	8
Şekil 1.8. Örnek montaj tasarımların hareket analizi ve simülasyon çıktıları	8
Şekil 1.9. Cisimlerin Sonlu Elemanlara Ayrılması.....	10
Şekil 1.10. Düğüm noktaları	10
Şekil 1.11. Eleman sayısının sonlu eleman modellenmesinde etkisi.....	11
Şekil 1.12. Sonlu elemanlar uygulama adımları	12
Şekil 2.1. Tüm yapıda bulunan eşdeğer gerilmelerin dağılımı	14
Şekil 2.2. Modellenen şasenin gerilme analizi görsel ve sayısal çıktısı	15
Şekil 2.3. Dipkazan aletinin katı modeli ve plastik deformasyonu gösteren analiz çıktıları	16
Şekil 2.4. Sera bitkisi askılarının 15 mm çekme etkisi altındaki simülasyon ve çekme deneyi sonuçları	16
Şekil 2.5. Hafifletilmiş pulluk gövde modelinin simülasyon çıktıları	17
Şekil 2.6. 4 farklı kültivatör kazayağı uç demirlerinin 6 farklı senaryodaki simülasyonlarına bağlı gerilme ve deformasyon çıktıları	17
Şekil 2.7. Traktör vincine ait gerilme analizi sonuçları	18
Şekil 3.1. Tez çalışması kapsamında kurgulanan uygulama algoritması.....	21
Şekil 3.2. Hidrolik etkili toprak kazı makinesinin (skreyper) üç boyutlu katı modeli ...	24
Şekil 3.3. Skreyperin genel boyutları (kazı pozisyonu).....	25
Şekil 3.4. Skreyperin genel boyutları (kazan dolu pozisyonu)	25
Şekil 3.5. Skreyper işlem basamakları.....	26
Şekil 3.6. Skreyperin temel elemanları	27
Şekil 3.7. Çeki Kancası Elemanı.....	28
Şekil 3.8. Çeki oku.....	28
Şekil 3.9. Ana şase	28
Şekil 3.10. Kazan	29

Şekil 3.11. Kazan bıçağı	29
Şekil 3.12. Mekanizma yapısı	29
Şekil 3.13. Mekanizma destek elemanı.....	30
Şekil 3.14. Kazan kapağı	30
Şekil 3.15. Hidrolik piston	30
Şekil 3.16. Destek Teker Tertibatı	31
Şekil 3.17. Kazı pozisyonu sınır koşulları	33
Şekil 3.18. Boş kazan ile taşıma pozisyonu	34
Şekil 3.19. Dolu kazan ile taşıma pozisyonu	35
Şekil 3.20. Kazan boş iken hidrolik pistonunun kuvvete başlamadan önceki pozisyonu	35
Şekil 3.21. Kazan dolu iken hidrolik pistonunun kuvvete başlamadan önceki pozisyonu	36
Şekil 3.22. Skreyperin boş kazan hacmiyle hidrolik pistonun etkisi altındaki sınır koşulları.....	36
Şekil 3.23. Skreyperin dolu kazan hacmiyle hidrolik pistonun etkisi altındaki sınır koşulları.....	37
Şekil 3.24. Skreyper FEA’de uygulanan sonlu eleman modeli özellikleri	37
Şekil 3.25. Skreyperin FEA sonlu eleman modeli	37
Şekil 4.1. Skreyperin kazan mekanizmasının kazımadan boşaltmaya kadar olan hareketi	38
Şekil 4.2. Skreyperin kazı işlemine başlarken oluşan gerilme analizi çıktısı	39
Şekil 4.3. Skreyperin kazı işlemine başlarken oluşan gerilmenin maksimum olduğu bölge	39
Şekil 4.4. Skreyperde kazı işlemine başlarken oluşan deformasyon sonuçları.....	40
Şekil 4.5. Skreyperin kazı durumunda çeki oku üzerindeki maksimum deformasyon değerleri.....	40
Şekil 4.6. Skreyperin kazı durumunda kapak ve mekanizma yapısı üzerindeki maksimum deformasyon değerleri.....	41
Şekil 4.7. Skreyperin kazı durumundaki güvenli çalışma katsayısı dağılımları	41
Şekil 4.8. Farklı yükleme durumları için önerilen güvenli çalışma katsayısı değerleri..	42
Şekil 4.9. Skreyperin kazanı boş iken elde edilen gerilme analizi çıktısı.....	43
Şekil 4.10. Skreyperin kazanı dolu ve yük altında iken elde edilen gerilme analizi çıktısı	43

Şekil 4.11. Skreyperin kazanı boş veya yüksüz iken yerçekimine dayalı analiz sonucu elde edilen deformasyon çıktısı.....	43
Şekil 4.12. Skreyperin kazanı dolu veya yüklü iken yerçekimine dayalı analiz sonucu elde edilen deformasyon çıktısı	44
Şekil 4.13. Skreyperin boş veya yüksüz taşıma durumundaki güvenli çalışma katsayısı	44
Şekil 4.14. Skreyperin dolu veya yüklü taşıma durumundaki güvenli çalışma katsayısı	44
Şekil 4.15. Skreyper üzerindeki hidrolik pistonlardan bir tanesinin kazanın boş olduğu pozisyonda hareket analizine dayalı gereken kuvvet dağılımı.....	45
Şekil 4.16. Skreyper üzerindeki hidrolik pistonlardan bir tanesinin kazanın 3000 kg materyal ile dolu olduğu pozisyonda hareket analizine dayalı gereken kuvvet dağılımı	45
Şekil 4.17. Skreyperin kazanı boş iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı gerilme çıktısı.....	46
Şekil 4.18. Skreyperin kazanı dolu iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı gerilme çıktısı.....	46
Şekil 4.19. Skreyperin kazanı boş iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı deformasyon çıktısı	47
Şekil 4.20. Skreyperin kazanı dolu iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı deformasyon çıktısı	47
Şekil 4.21. Skreyperin kazanı boş iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı güvenli çalışma katsayısı çıktısı.....	47
Şekil 4.22. Skreyperin kazanı dolu iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı güvenli çalışma katsayısı çıktısı.....	48
Şekil 4.23. Skreyperin 1:15 ölçeğinde imal edilmiş hızlı prototip örneği	48
Şekil 4.24. Skreyperin 3D FDM katmanlı imalat cihazı.....	49
Şekil 7.1. Çeki oku yapısı	58
Şekil 7.2. Çeki oku ana sacı	59
Şekil 7.3. Çeki oku şase flanşı	59
Şekil 7.4. Çeki yeri bağlantı sacı	60
Şekil 7.5. Çeki oku şase borusu	60
Şekil 7.6. Kazan	61
Şekil 7.7. Kazan ana sacı	61
Şekil 7.8. Kazan yan sacı	62
Şekil 7.9. Kazan üst köşebent	62

Şekil 7.10. Kazan ara bölme sacı	63
Şekil 7.11. Kazan kazıma bıçağı.....	63
Şekil 7.12. Kazan yan destek sacı.....	64
Şekil 7.13. Kazan menteşe destek burcu.....	64
Şekil 7.14. Kapak.....	65
Şekil 7.15. Kapak kol sacı.....	65
Şekil 7.16. Kapak yan sacı.....	66
Şekil 7.17. Kapak ana sacı	66
Şekil 7.18. Kapak dayama mili	67
Şekil 7.19. Kapak dayama sacı	67
Şekil 7.20. Kapak dayama destek sacı	68
Şekil 7.21. Mekanizma yapısı	68
Şekil 7.22. Mekanizma yapısı ana kolon sacı	69
Şekil 7.23. Mekanizma yapısı kolon dış sacı	69
Şekil 7.24. Mekanizma yapısı profili.....	70
Şekil 7.25. Mekanizma menteşe destek sacı.....	70
Şekil 7.26. Mekanizma menteşe kolon sacı	71
Şekil 7.27. Mekanizma menteşe kolon sacı	71
Şekil 7.28. Dingil mili kaynaklı	72
Şekil 7.29. Dingil aksı.....	72
Şekil 7.30. Dingil poryası	73
Şekil 7.31. Dingil porya kapağı	73
Şekil 7.32. Ana şase	74
Şekil 7.33. Şase-dingil bağlantı plakası	74
Şekil 7.34. Manivela bağlantı sacı	75
Şekil 7.35. Şase mekanizma menteşe burcu	75
Şekil 7.36. Şase piston bağlantı sacı	76
Şekil 7.37. Hidrolik piston ve menteşe pimi.....	76
Şekil 7.38. Şase-mekanizma menteşe pimi.....	77
Şekil 7.39. Kapak dayama rulo burcu.....	77
Şekil 7.40. Kapak dayama rulo pimi.....	78
Şekil 7.41. Kazan manivela sacı	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Traktör üç nokta askı bağlantı düzeni standart kategorileri (TS ISO 730).	23
Çizelge 3.2. Skreyperin yapısında kullanılan malzemelerin özellikleri	31
Çizelge 4.1. Skreyper tasarım analizi sayısal çıktıları	50



1. GİRİŞ

1.1. Arazi Tesviyesi Tanımı ve Amacı

Genel bir tanım olarak arazi tesviyesi, taban yüzeyinin şekillendirilmesi anlamına gelmektedir (Helming et al. 1998). Yani topografik kabartma ve yüzeyin dengelenmesidir. Havaalanları ve diğer inşaat alanları gibi birçok alanda tesviye işlemleri uygulanmaktadır. Ayrıca otoyolların ve demiryollarının bakım onarımı, su kanalları yapımı, şehir planlaması ve tarımsal arazi oluşturulması gibi uygulamalar için de arazi tesviyesi yapılmaktadır. Arazi tesviyesi işleri büyük çaplı peyzaj değişikliklerinden arazideki küçük dalgalanmaların giderilmesine kadar çeşitli işleri kapsamaktadır. Bu işlerde boşluk veya çukurları doldurmak için çıkıntılı kısımlar kesilir. Bu işlem çok amaçlı bir uygulama biçimidir. Çünkü arazi düzensizliklerinin giderilmesi, birincil toprak işleme işlemleri, uygun yüzey drenajının sağlanması ve sulamanın iyileştirilmesine yardımcı olmayı amaçlamaktadır (Hamad ve Ahmed 1990). Bununla birlikte yüzeydeki toprağın bir yerden başka bir yere taşınması da tesviye olarak nitelendirilebilir (Reddy, L.R. 1996). Arazi tesviyesi, mümkün olduğunca doğal eğimi bozmadan ve verimliliği azaltmadan arazi yüzey düzensizliğinin toprak işleme ve sulamanın gerektirdiği eğim derecelerine göre düzenlenmesi şeklinde gerçekleştirilmedir (Güngör ve Yıldırım 1987).

1.2. Arazi Tesviyesi İşlemi

Arazi tesviyesi sırasında zemin işlemleri farklı tip alet veya makineler ile yapılmaktadır. Bunlar el ile kullanılan aletler, kazı makineleri, zemin sıkıştırma ve tesviye makineleri, teraslama makineleri, drenaj makineleri ve taş toplama makineleri olarak sınıflandırılabilir (Tezel ve Güzel 1993). Tesviye işleminde kullanılan makinelerin ortak özelliği, toprağı kesmek için sert bir bıçak düzenine ve kesilen materyali taşımak için sac metal bir küreğe sahip olmalarıdır (İrsel ve Altınbalık 2018).

1.3. Tesviye Sınıfı Alet ve Makineler

1.3.1. Tesviye Kürekleri

Tesviye kürekleri düzeltme, serme, kanal açma ve kapatma gibi işler için kullanılan alet veya makinelerdir. Asma tip, çekilir tip ve kendinden motorlu olarak sınıflandırılabilir. Yaygın kullanılan örnek bir asılır tip tesviye küreği Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Asılır tip olan bu aletler ülkemizde daha çok tarım arazilerinde kullanılmaktadır. Bu tip kürekler kazılmış toprağı sürükleyerek taşıma ve yere doğru dağıtma işleminde kullanılmaktadır (Megep 2015).

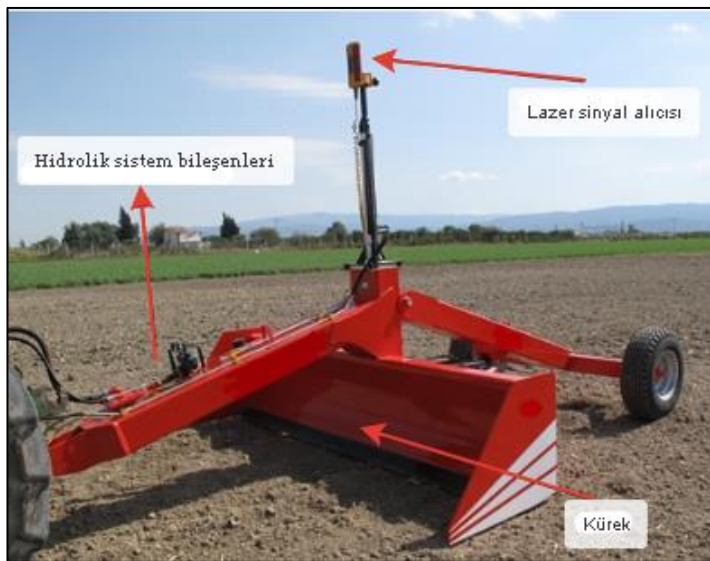


Şekil 1.1. Asılır tip tesviye küreği örneği

1.3.2. Tesviye Küreği Çeşitleri

Asılır tip tesviye küreklerinde mekanik ve hidrolik kumandalı tipler, çekilir tip tesviye küreklerinde ise lazer kontrollü, hidrolik kumandalı tipler ile karşılaşmak mümkündür.

Genel bir lazer kontrollü tesviye makinesi Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Bu tip makineler hidrolik ekipman, borular ve manometreleri üzerlerinde taşırlar. Traktörün hidrolik pompası, alıcı kulenin yukarı ve aşağı hareketini sağlar. Bu hareket, operatör tarafından manuel olarak gerçekleştirilir. Traktör tarafından çalıştırılan ikinci pompa, lazer kontrollü tesviye makinesinin bıçağının aşağı ve yukarı hareketini gerçekleştiren hidrolik pistonu çalıştırır. Bıçağın bu hareketi manuel olarak kontrol edilir veya lazer kontrollü otomasyon sistemi ile otomatik olarak hareket ettirilir (İrsel ve Altınbalık 2018).



Şekil 1.2. Lazer kontrollü tesviye makinesi (LKTm)

1.4. Toprak Kazı Makineleri

1.4.1. Toprak Kazı Makineleri Tipleri

Toprak kazı makineleri, ekskavatör, dozer, ripper, hidrolik etkili toprak kazı makineleri (Skreyper), greyder ve yükleyiciler olarak sınıflandırılabilir.

1.4.2. Hidrolik Etkili Toprak Kazı Makineleri (Skreyper) Tanımı ve Çeşitleri

Tarımsal arazi tesviyesi için birçok tarımsal makine ve alet çeşidi mevcuttur. Bunların başında kaba tesviye amaçlı olarak bilinen toprak kazı makineleri grubunda hidrolik etkili toprak kazı makineleri (Skreyper) gelmektedir. Bu işlemlerde genellikle büyük hacimli toprak kazıma ve taşıma kapasiteli olan makineler kullanılmaktadır.

Skreyperler, toprak taşıma ve hassas tesviye için kullanılmaktadır. Bu makineler, tesviye işlemlerini materyalin taşınması ve gerekli yere dökülmesi işlemleri ile birlikte yapabilecek bir şekilde tasarlanan makinelerdir. Güçlendirilmiş şase, yüksek beygir güçlü traktör ve ağır yük taşıma kapasiteleri gözetilerek uygun tasarım kurallarına göre tasarlanması önem taşımaktadır (İlgi Tarım Makineleri, 2019). Skreyperlerin küçük tip mekanik ya da hidrolik etkili, büyük kapasiteli vagon tipi, mesnetli tesviye küreği tipi ve motorlu kendi yürür tipleri mevcuttur (Megep 2015). Şekil 1.3'te örnek bir hidrolik etkili toprak kazı makinesi (Skreyper) gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Hidrolik Etkili Toprak Kazı Makinesi (Skreyper)

Skreyperler, toprağın kazınması, yüklenmesi, taşınması ve serilmesi için geliştirilmiş makineler olup, arazi yüzeyini ince tabakalar halinde kazarak, kova yardımı ile kazılan toprağı istenilen yere taşıyarak zemin üzerinde tabakalar halinde düzeltme işlemi yapan makinelerdir (Tezel ve Güzel 1993; Önal 1991). Skreyperler, arazi tesviyesinde derin kazı ve büyük hacim dolgularında kullanılan oldukça verimli tesviye makineleridir. Tesviye yapılacak arazide yüksek yerdeki fazla toprağı kazıyıp taşıyarak çukur yerlere götürüp döker ve yayma işlemi gerçekleştirir (M.E.B 2013).

Skreyperlerin kullanım alanları; tarımsal arazi tesviye işlemlerinde yol ve havaalanı inşaat alanları, madenler, çöp biriktirme alanları, sulak su akış kontrol alanları, konut inşaat alanları, hayvan çiftlikleri ve plajlar sayılabilir (IMC Scrapers U.S).

Skreyperlerin; küçük tip mekanik veya hidrolik, büyük kapasiteli çekme tip (vagon), mesnetli (skreyper-floot) ve kendi yürür (motorlu) çeşitleri bulunmaktadır (Megep, 2015).

1.4.2.1. Skreyper Çalışma Prensibi

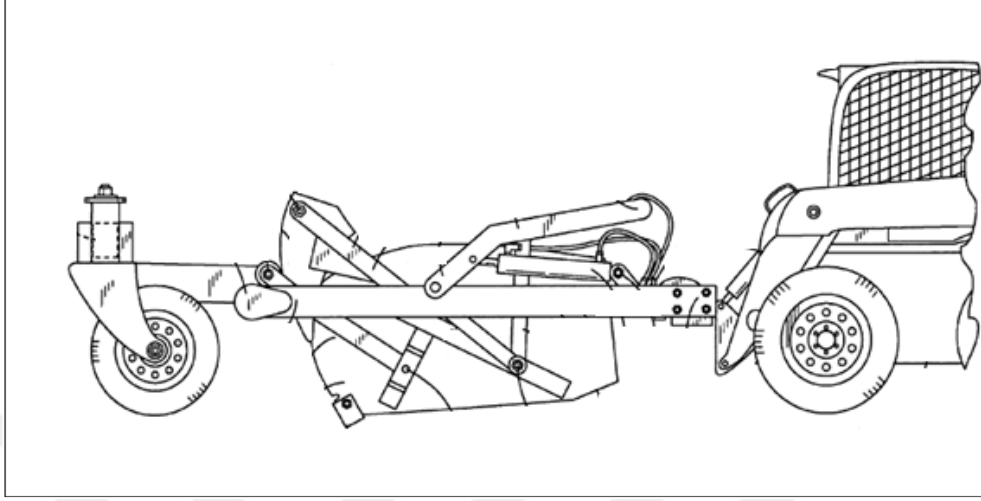
Traktöre bağlanan veya kendi yürür tip skreyperler, tesviye edeceği arazi yüzeylerinde ilk olarak kazıma işlemi gerçekleştirirler. Kova üzerinde zemini kazımaya veya sıyırmaya yarayan bıçak mevcuttur (Önal 1991). Bu bıçağın zeminde sürekli tesviye işlemi yapılabilmesi için mekanik kol veya hidrolik kumanda kullanılır. Sıyırma ya da kazıma işlemi gerçekleştiği süre boyunca skreyper kovaya toprak biriktirmektedir. Bu toprağı boşaltıp serebilmesi için makinenin orta hızda giderek kova kilit mekanizmasını açması gerekmektedir. Serilen toprak ince tabaka halinde kovanın altında kalarak boşaltılma işlemi gerçekleştirir (Önal 1991). Skreyperler, paletli veya lastik tekerlekli traktörler ile çekilerek kullanılabilirler. Toprak taşıdığı kazan üzerinde kazıyıcı bir bıçak bulunmaktadır. Kazıyıcı bıçak zemini kazır ve toprağı kazana doldurur. Şase üzerinde ve kazanın önünde bulunan kapak hidrolik etki ile kapatılır, boşaltılacak materyal istenilen yere taşınır ve boşaltılır (İrsel 2013).

1.4.2.2. Skreyper Genel Tasarım Özellikleri

Skreyperlerin temel tasarımları ile ilgili özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde çeşitli çalışmalar yapılmış ve patentler alınmıştır. Ülkemizde ise bu tip makineler için yapılan tasarım ve imalat çalışmaları genellikle yeni bir tasarım sürecinden ziyade tasarım model alma (Tersine mühendislik) ile hayata geçirilmektedir. Günümüzde göreceli olarak küçük ve orta ölçekli bu tip makinelerin imalatının çoğunlukla tarım makineleri imalatçıları tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir. Bunun en büyük sebebi ülkemizde ele alınan tarımsal alanların tesviyesinde ortaya çıkan arazi düzenleme ve genişleme ihtiyacı gösterilebilir. Daha büyük kapasiteli ağır tip olarak sınıflandırılan skreyperler ise ülkemizde daha çok inşaat alanları için kullanılmaktadır ve inşaat ve kazı makineleri sınıfında anılmaktadırlar (ISO 7133:2013).

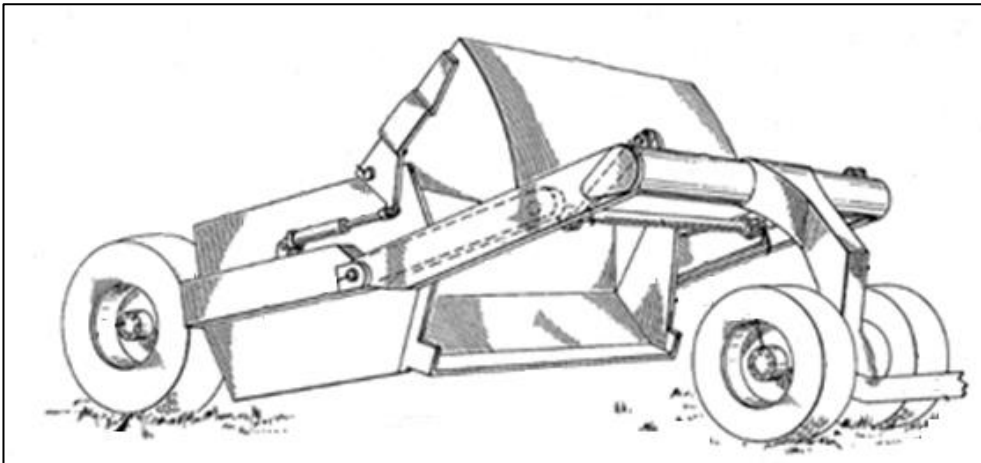
Çeşitli skreyper tasarımlarına örnek olarak itici bir aracın ön kısmına bağlanabilen skreyperin şematik görseli Şekil 1.4'de gösterilmiştir. Bu örnekte, tek noktadan dönüşlü ve aracın ön kısmına bağlanabilen şekilde bir skreyper tasarımı gerçekleştirilmiştir. Makine, kazıcı sistemleri taşımak ve bağlamak için bir şase yapısı içermektedir. Skreyperin ön kısmına, araziye uyum sağlayabilecek şekilde bir destek tekeri monte edilmiştir. Arazi üzerinde bölgeler arası toprak taşımayı sağlamak ve kazıcı sistemi yukarı kaldırmak için makine üzerinde hidrolik etkili mekanizma düzenlenmiştir. Kazan içinde taşınan toprağı muhafaza etmek için ise ön uç kısma kapak bağlanmaktadır. Yönlendirici

araç skreyperle hızlı bağlantı tertibatı ile bağlanmıştır. Böylece skreyper şasesi, üzerinden geçilen toprak ile kesici bıçak arasındaki basıncı değiştirebilmekte ve yönlendirilebilir hale gelmektedir (Smith 2008).



Şekil 1.4. İtici aracın ön kısmına bağlanan örnek skreyper

Skreyper tasarımlarına örnek olarak Şekil 1.5'te diğer bir örnek gösterilmektedir. Bu tip skreyperler, üzerinde kazıdığı ve sonra da taşıdığı malzeme yükünü iterek boşaltmak amacıyla üzerinde uzunlamasına kaydırılabilen bir gövdeye sahiptir. Kapak, bir çift hidrolik pistona bağlı manivela ile ileri geri hareket ettirilir. Geri çekilebilen ve genişletilebilen güç yardım mekanizması kapağa bağlıdır. Kapak geri konumundayken geri çekilmiş enerji depolama durumundadır. Güç destek mekanizmasında depolanan enerjinin serbest bırakılması kapağın açılma ve yükün boşaltma durumuna geçmesini sağlamaktadır (Steiger 1977).

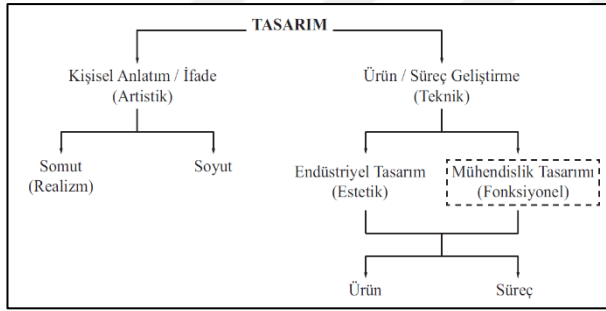


Şekil 1.5. Hidrolik etkili bir skreyper tasarım örneği

1.5. Tasarım

Tasarım kelimesi, Latince “Designare” sözcüğünden gelmektedir. Anlamı belirtmek ya da işaretlemektir. Tasarım; kavram, icat, görselleştirme, hesaplama, ayrıntıların belirlenmesi ve ürün formu gibi tüm süreçleri ifade etmektedir. Tasarım, genel olarak bir ihtiyaç ya da gereksinim ile başlar. Bir ürünün üretilmesi ve kullanılmasını sağlayan süreçleri tarif eden bir dizi çizim veya bilgisayar gösterimidir (Childs 2004).

Tasarım, kavramsal açıdan artistik (sanatsal) ve teknik olarak iki şekilde gruplandırılmaktadır. Artistik tasarım çoğunlukla heykel, resim, peyzaj ve iç mimari ve dekorasyon vb. gibi bireye özgü sanatsal anlatımlar içermektedir. Teknik tasarım ise bir ürünün veya sürecin oluşturulmasını, aynı zamanda geliştirilmesini kapsamaktadır. Teknik açıdan tasarım, endüstriyel ve mühendislik olarak alt grup halinde ikiye ayrılmaktadır. Endüstriyel tasarım için bir ürün veya sürecin estetik ve/veya ergonomi konularını ele almaktadır. Mühendislik tasarımında ise ürün veya sürecin geliştirilmesi, fonksiyonel, yenilikçi ve teknolojik konuları üzerinde durulmaktadır. Bu açıklamalara göre tasarım kavramı Şekil 1.6’daki gibi gruplandırılmıştır ve tasarım süreci, yaratıcılığa bağlı, çok disiplinli, geri bildirimli, daima gelişmeye dayalı, insan ihtiyaçlarına odaklı bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır (Çelik 2013; Kunt 2019).



Şekil 1.6. Tasarım Kavramı

1.6. Makine Tasarımı

Makine tasarımı, güvenilir bir biçimde ve tanımlanan fonksiyonları istenildiği gibi yerine getiren makinelerin tasarlanması ve imal edilmesi ile ilgilidir. Teknik bir terim olarak nitelendirilen makine, birbirleri ile etkileşim halinde olan ürünlerin oluşturduğu bir alet veya hareket ve kuvveti değiştiren bir cihaz niteliğinde tanımlanmaktadır (Norton 2006). Türk Dil Kurumuna (TDK)’a göre makine, herhangi bir enerji türünü farklı bir enerjiye dönüştürmek, belirli bir güç kullanılarak bir iş yapmak veya etki oluşturmak için çark, dişli ve birtakım parçalardan oluşan düzenekler bütünüdür. Örnek olarak bir aletin veya taşıtın hareket etmesini sağlayan mekanizmadır. Bu çalışmadaki tasarım kavramı, bir tarım veya iş makinesi sisteminin veya elemanının tasarımı olarak ele alınmıştır.

1.7. Mukavemet

Mukavemet, şekil değiştiren katı cisimlerin mekaniğini incelemektedir. Cisimlerin veya parçaların şekilleri belli bir kuvvet altında değişmektedir (Karagöz 2007). Mukavemet, makine, inşaat ve uçak mühendisliği v.b. gibi temel alanlarda mühendislik yapıları üzerinde etkili yükler altında görevlerini yapacak şekilde boyutlandırılma sorusuna cevap veren temel bir mühendislik bilimidir (Kocatürk 2007).

Bir cisim dış kuvvetler etkisi altında, sonsuz küçük bir alanına gelen iç kuvvetlerin yönü ve büyüklüğü değişmektedir. Vektörel olan bu iç kuvvetler dış kuvvetler ile denge halindedir. Cisimlerin mukavemeti özelinde iç kuvvetlerin farklı konumlardaki yoğunluğunu belirlemek önem arz etmektedir. Çünkü malzemenin özelliğine bağlı şekil değişimi ve yük taşıma kapasitesi bu kuvvetlerin yoğunluğu ile alakalıdır. Bu yoğunluk gerilme olarak ifade edilmektedir (Yayla 2001).

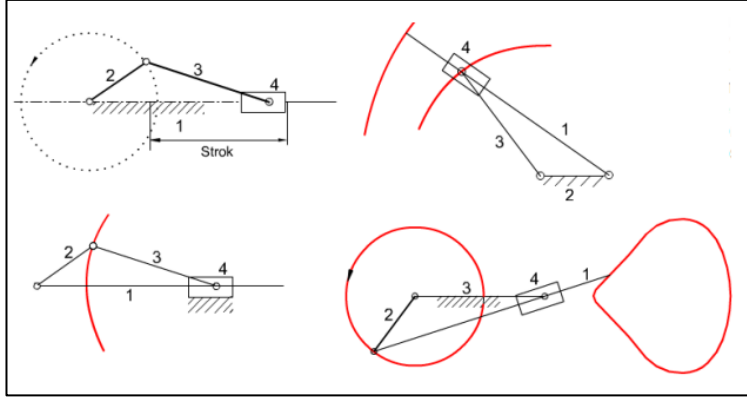
Gerilmeye bağlı eşitlik: $\lim_{\Delta \rightarrow A} \frac{\Delta F}{\Delta A}$

Kuvvet birimi [N], alan birimi ise [m²] olarak alınırsa gerilme birimi N/m², Pa ve katları olarak ifade edilmektedir.

1.8. Mekanizma Hareket ve Kuvvet Analizi

Kinematik analiz, mevcut olan bir mekanizmanın konum, hız ve ivme gibi parametrelerin kinematik olarak bulunmasıdır. Mekanizmaların dinamik analizi için ilk etabı temsil etmesiyle birlikte mekanizmaların sentezi için bir temel teşkil etmektedir (Doğan 2021). Kinematik, kuvvet etkisi altında olan bir cismin hareketlerini ve sonuçlarını inceleyen bir bilim dalıdır. Kinematik cismin kuvvetini değil yalnızca hareketini incelemektedir. Kuvvetten bağımsız olarak cismin konumu, hızı ve ivmesi kinematik analizler ile bulunmaktadır. Örneğin ivmeli bir hareket incelendiğinde hız-zaman grafiğinde bir noktanın türevi (eğimi) alındığında o anki hızı, grafiğin belli bir andaki integrali alınırsa aldığı konum bilgisi bulunur. Kinematiğe örnekler bu açıklamalar ile verilmektedir (Tufan 2021). Kinematik, geometri hareket ilişkilerini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak Kinematik analiz, bir mekanizma üzerinde hareketli eleman üzerindeki noktanın hız, konum ve ivmesini bulmak olarak ifade edilebilir. Bu analizde mekanizmanın var olduğu ve tasarlandığı kabul edilmektedir.

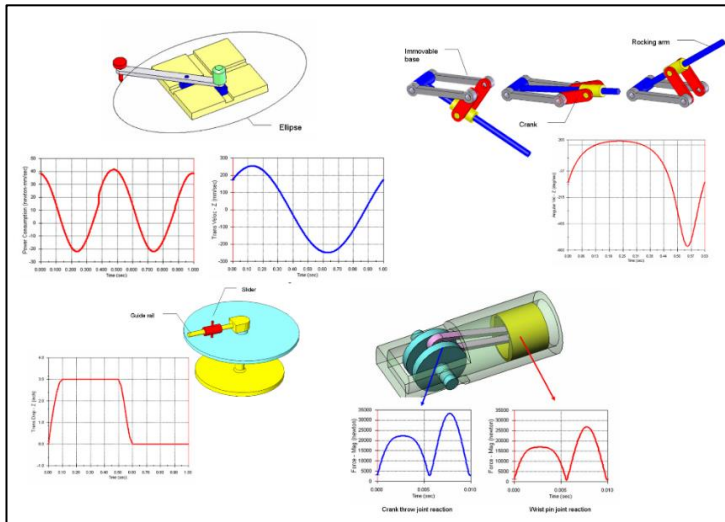
Kinematik yer değişim, mekanizmayı oluşturan kinematik zincir içerisindeki farklı uzuvların sabit kalmasını veya sabit olarak varsayarak diğer uzuvların sabit varsayılan uzuvlara göre hareketlerinin incelenmesi için yapılan işlemdir. Bu yöntem sayesinde mekanizmaların analizleri de yapılabilmektedir. Şekil 1.7’de örnek olarak aynı uzuvların kullanıldığı kinematik yer değişim ile elde edilebilecek dört farklı mekanizma gösterilmiştir (Bilgin 2019).



Şekil 1.7. Kinematik yer değişim ile elde edilebilen dört farklı mekanizma

Bugün, mekanik ürünlerin artan karmaşıklığı ve yeni tasarımları pazara daha hızlı sunmak için ortaya çıkan artan şiddetli rekabetçilik nedeniyle tasarım mühendisleri çalışmalarını temel mukavemete dayalı analizlerin ötesine genişletmek için baskı hissetmektedirler. Bu tip analizlerin yanı sıra fiziksel prototipler oluşturulmadan önce yeni ürünlerin kinematığı ve kuvvete bağlı dinamiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Katı cisim dinamiği olarak da bilinen hareket analizleri ve sayısal yöntem simülasyonları bu sorunları çözmeye olanak sağlamaktadır. Günümüz mühendislik yazılımları ile bilgisayar destekli tasarım montajında montaj ilişkileri tanımlandıktan sonra hareketlerini montaj animatörü ile gözlemlemek mümkündür. Fakat hız, ivme, mafsal tepkileri ve güç gereksinimlerini bulmak için tasarımcıların daha güçlü bir araca ihtiyaçları olmaktadır ve hareket simülasyonu (motion simulation) bunu karşılayabilmektedir (solidworks.com).

Bilgisayar destekli tasarım montajında montaj ilişkileri tanımlandıktan sonra hareket analizi ve simülasyonu yapılan örnek ürünlere ait bazı görsel çıktılar Şekil 1.8’de verilmiştir (solidworks.com).



Şekil 1.8. Örnek montaj tasarımların hareket analizi ve simülasyon çıktıları

Hareket analizi, hareket çalışması yapacak öğeleri montaj ilişkileri ile birleştirmektedir. Yani hareket kısıtlamaları, malzeme özellikleri, kütle, kuvvet bileşenlerin birbirleri ile teması hareket kinematik çözücü hesaplamalarına dahil edilebilmektedir (solidworks.com).

1.9. Bilgisayar Destekli Tasarım

Bilgisayar destekli tasarım, bir ürünün imalatının yapılmasına yardımcı olmak için bilgisayar sistemlerinin kullanılmasıdır. Yani üretimi planlanan bir ürünün bilgisayar ortamında hazırlanması işlemidir (Olgun ve Yılmaz 2014). Bilgisayar ile ilgili teknolojilerin gelişmesinde son yıllarda teknik resim, üç boyutlu ve iki boyutlu modelleme, görselleştirme, simülasyon ve animasyon amacı ile oluşturulan yazılımlarda oldukça büyük gelişmeler yaşanmıştır. Ayrıca bu teknolojiler halen yeni teknoloji olarak görünmekte ve geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bilgisayar teknolojilerine entegre edilen tasarım ve imalat uygulamaları klasik yöntemler ile karşılaştırıldığında aşağıda sıralanan yararları sağlamaktadır (Çelik 2013).

- Bilgisayar teknolojileri ile gerçekleştirilen tasarım çalışmaları toplam maliyetlerinde %15-30 arasında azalma
- Parça imalatı başına tasarım ve imalat sürelerinde %30-60 arasında azalma
- Ortalama süreçte verimliliğin %40-70 arasında artması
- Ürünlerin kalitesinin artması ile fire ve hurda miktarının %20-50 arasında azalması
- Bilgisayar destekli tasarım teknolojilerine entegre edilen sayısal yöntemlerin mühendislik hesaplamaları hızlarında 3-30 kat artış
- Tasarlanan veya hayal edilen ürünlerde yapılan karşılaştırma ve değerlendirme uygulamalarındaki verim artışları

Bilgisayar destekli grafik-tasarım yazılımları, bir ürün tasarımının oluşturulmasına, değiştirilmesine, analizine ve optimizasyonuna yardımcı olmak için kullanılan bilgisayar yazılımlarıdır. Bu yazılım tasarımının üretkenliğini ve tasarımın kalitesini artırmak, doküman halinde iletişimi sağlamak ve imalat için veri tabanı oluşturmak için kullanılmaktadır. Tasarımlar üç boyutlu ve iki boyutlu olarak farklı yazılımlarda oluşturulmakta ve kullanılmaktadır (Narayan K.Lalit 2008).

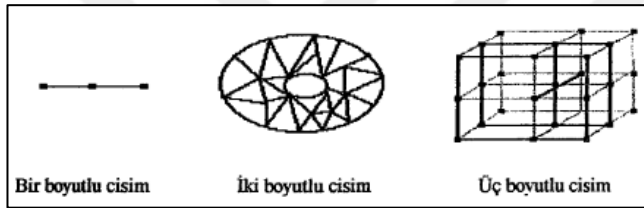
Computer Aided Design (CAD) dilimizde ise bilgisayar destekli tasarım, çizim veya tasarımı kolaylaştırmak, kalitesini artırmak ve işlemleri hızlandırmak amaçlı kullanılan bir araç olarak bilgisayardan faydalanma olarak ifade edilmektedir. Doğru kararlar verildiği sürece matematik ve geometri becerisi ile çizgiler ve bunların bileşenleri olan 2 ve 3 boyutlu nesneler oluşturulabilmekte, kusursuz bir biçimde kağıda veya dijital ortama aktarılabilen ve gerektiğinde düzenlenebilmektedir (Şen ve Özçilingir 2007).

1.10. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, farklı alanlardaki mühendislik problemlerine çözüm üretmek için 1950'li yıllarda geliştirilmiş sayısal bir analiz tekniğidir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte bilgisayarların güçlenmesi sayesinde bu yöntem yaygınlaşmış ve günümüzde birçok farklı disiplin içerisinde aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem ile çözüm verebilen birçok ticari bilgisayar yazılımı da geliştirilmiştir. Bunların bazıları, ANSYS, SOLIDWORKS SIMULATION, ABAQUS, NASTRAN yazılımları olarak örneklendirilebilir (Kunt 2019).

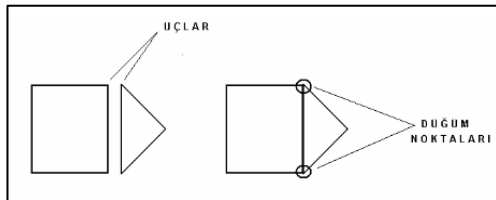
Yöntem temelinde, uzayda üç boyutta tarif edilen cisimlerin hayali çizgilerle ayrılmış eleman ve elemanların düğüm noktalarından oluştuğu varsayılmaktadır. Eleman ve düğüm noktalarının uzay boşluğundaki koordinatları açıklanabilirse, cisimlerin gerçek yapısı ve koordinatları belirtilmiş olmaktadır (Nath 1974).

Cisimler uzayda bir, iki ve üç boyuta sahip ise bu boyutlara göre sonlu elemanlar sistemlerine ayrılırlar. Şekil 1.9'da boyutlara göre cisim şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Cisimlerin Sonlu Elemanlara Ayrılması

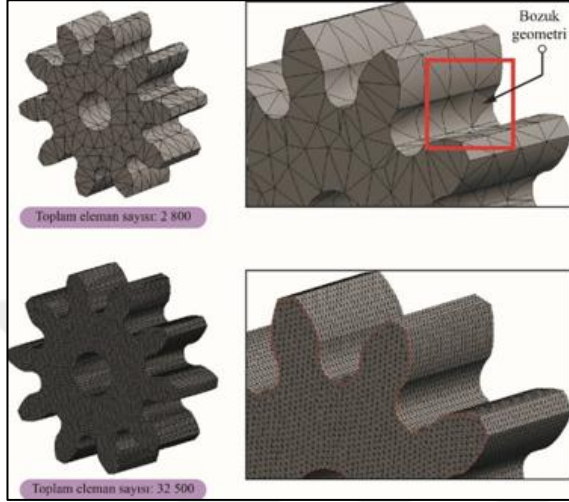
Sonlu elemanlar yönteminde yapı ‘n’ adet elemana ayrılmaktadır. Elemanların birbirlerine bağlantısı düğüm noktaları ile olmaktadır. Düğüm noktaları ‘nod’ olarak isimlendirilmektedir. Şekil 1.10’da düğüm noktaları ile ilgili detay gösterim belirtilmiştir. Bu yapı ile matematiksel denklemler elde edilmektedir. Elemanlar modelin şekline göre bir, iki veya üç boyutlu olabilmektedir (Çelik, 2006).



Şekil 1.10. Düğüm noktaları

Sonlu elemanlar yönteminde elemanların yapısı ve sayılarındaki seçimler önemli faktörlerdir. Çünkü elemanlar, analizi yapılacak modelin geometrik yapısına, çözücü bilgisayarın kapasitesine bağlı olarak optimum düzeyde olmalıdır. Teorik olarak model

üzerinde oluşturulan elemanların sayıları artırılıp, ebatları küçültüldüğünde model daha iyi tanımlanmakta ve analiz doğruluğu artırılabilir. Fakat eleman sayısını oldukça fazla artırarak çözüm işlemi zorlaşabilmektedir. Buna benzer durumlarda model üzerinde kritik bölgelerde eleman sayısı artırılıp, etkisi az olan bölgelerde ise eleman sayısı azaltılarak çözüm işlemini mümkün kılabilir. Şekil 1.11’de örnek bir modelin eleman sayısının çözüm doğrulamasına etkisi gösterilmiştir (Çelik, 2013).



Şekil 1.11. Eleman sayısının sonlu eleman modellenmesinde etkisi

Sonlu elemanlar ile ilgili çözüm yapan tüm yazılımlardaki işlem basamakları temelde aynıdır. Bu adımlar, işlem öncesi (pre-processing), çözüm (solution) ve işlem sonrası (post-processing) basamaklarıdır (Kunt 2019).

İşlem Öncesi (Pre-Processing): Bu adım modelin geometrik yapısında, sonlu elemanlar yöntemi ağ yapısı kurularak analize hazır hale getirilmesi içi yapılan tüm işlemleri kapsamaktadır. Bu adımda takip edilen basamaklar; modelleme, malzeme tanımlama, yükler ve sınır koşulları belirlenmesi, sonlu eleman modelinin oluşturulması olarak belirtilir (Çelik 2013).

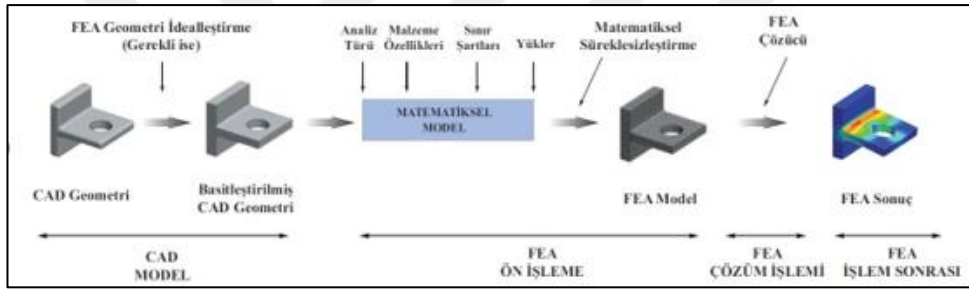
- **Modelleme:** Bu işlem adımında bilgisayar destekli tasarım uygulamasında ilgili geometri oluşturulur ve analiz yazılımına uygun formatta çıktı alınarak veya entegre bir şekilde geometri verisi aktarılabilir. Bununla birlikte modelin geometrik modeli analiz yazılımlarının CAD modülleri içerisinde de oluşturulabilir.
- **Malzeme Tanımlama:** Bu işlem ilgili geometrik modele yazılım üzerindeki kütüphaneden aktarılan veya dışarıdan tanımlanabilen ilgili malzeme özellikleri verilerinin (elastisite modülü, poisson oranı, akma dayanımı vb. gibi) tanıtılması basamağıdır.

- **Yükler ve Sınır Koşulları Belirlenmesi:** Bu işlem adımı modelin ilgili çalışma koşullarına göre yüklerin ve mesnet sınır koşullarının (hareket serbestliği, temas tanımları vb.) tanımlandığı adımdır.
- **Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması:** Bu işlem adımında modelin geometrik yapısı belirli sayıda ve boyutta elemanlara bölünerek sonlu eleman modeli (mesh yapısı) oluşturulur. Bu elemanların özellikleri analiz yazılımı içerisinde otomatik olarak veya tasarımcı tarafından modele özgü eleman seçimleri ile ayarlanabilir.

Çözüm: Bu adım, işlem öncesi adımları tamamlanan modele ait elemanlar arası kurulan denklemlerin çözülmesi ve tüm model kurgusu için sonuçların kayıt edilmesi adımdır.

İşlem Sonrası (Post-Processing): Bu aşamada analiz sonuçlarına göre görsel ve sayısal çıktılar ortaya konulur ve değerlendirilir. Analiz yazılımları ilgili sonuçları çeşitli sayısal değerler ve görsel animasyonlar şeklinde raporlayabilmektedir.

Temel olarak sonlu elemanlar yöntemi uygulama adımları Şekil 1.12’de gösterilmiştir (Çelik 2013).



Şekil 1.12. Sonlu elemanlar uygulama adımları

1.11. Katmanlı İmalat ve Hızlı Prototipleme

Katmanlı imalat, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ortamında hazırlanan 3 boyutlu bir modelin, stereolitografi (STL: stereolitografi) olarak isimlendirilen formata dönüştürülerek, özel yazılımlar aracılığıyla katmanlara dilimlendikten sonra tabandan başlayarak katmanlar halinde, polimer, seramik ve metal gibi hammaddelerden imal edilmesi işlemi olarak tarif edilebilir (Kunt 2019). Torna, freze vb. takım tezgahlarındaki hammadde üzerindeki uygulanan talaşlı imalat tekniklerinden farklı olarak bilgisayar ortamında tasarlanan ürünlerin katmanlı imalat tekniği ile oluşturulması işlemidir. (Zhang ve Jung 2018 autodesk.com).

Hızlı prototipleme, imalatı istenen bir ürünün bire bir ya da farklı ölçekte bir örneğinin, ürün değerlendirmesi veya tanıtımı amacıyla imal edilmesi işlemi olarak ifade edilebilir (Gebhardt 2011). Bu işlem günümüzde daha çok katmanlı imalat teknikleri ile anılmaktadır. Diğer bir deyişle hızlı prototipleme bilgisayar ortamında hazırlanan 3 boyutlu modelin somut hale dönüştürülmesine olanak sağlayan somut 3 boyutlu bir katmanlı imalat prototipleme yöntemidir (Chua ve Chee Kai 2003).

1.12. Teknik Resim

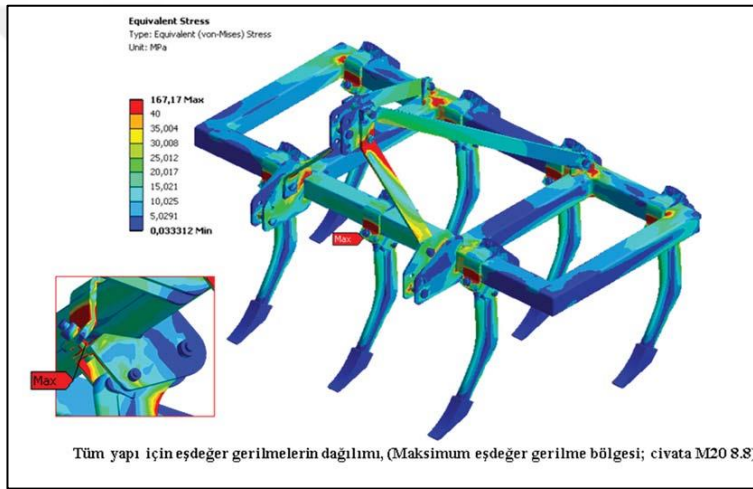
Teknik resim, teknik elemanların mesleki görevlerini icra edebilmeleri için aktarmak istedikleri teknik hususların şekil ve ölçü belirtmede kullandıkları çizgisel anlatım dilidir. Tarihi, milattan önce 30 yıllarına dayanmaktadır. Fakat günümüzde kullanılan iz düşüm kurallarının temeli olan teknik resim çizimleri ilk olarak Gaspard Monge tarafından 1795 yılında kullanılmıştır. Teknik resim, dil ve ülke fark etmeksizin teknik ile ilgilenen herkesin aralarında anlaşabilmeleri için kullanılan uluslararası ortak bir dil olarak tarif edilebilir. Özellikle imalat sektöründe çeşitli işlerin hızlı yapılması ve düzen sağlanması için gerekli standardizasyon şartının sağlanması açısından önem teşkil etmektedir (Dilik, 2005). Bu nedenle teknik resim, teknik elemanlar tarafından makine veya makineye ait alt parçaların imalatı için kullanılan çizgi lisanı olarak değerlendirilebilir (hamitarслан.com).



2. KAYNAK TARAMASI

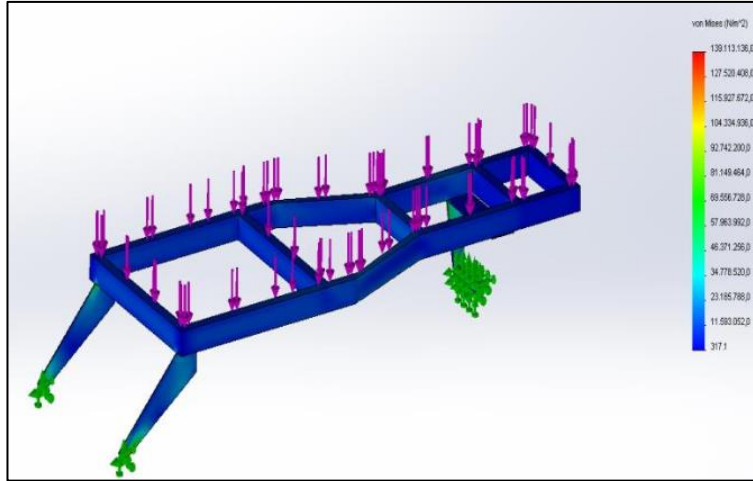
Gerçekleştirilen bu tez çalışması konusu ile ilgili bazı mukavemete dayalı bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik simülasyonu uygulamalarına ait literatür örnekleri aşağıda verilmiştir.

Çelik vd. (2007), yaptıkları çalışmada bir çizel aletinin yapısal ve işlevsel bileşenleri üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada örnek bir çizel aleti bilgisayar destekli tasarım yazılımında tüm elemanları ile üç boyutlu olarak modellenmiş, çalışma koşullarına bağlı olarak alet için mukavemet analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak her bir elemanın güvenlik faktörü çıkartılmış, simülasyon sonuçlarına göre modellenen çizel aletinin hasar almadığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen örnek bir eşdeğer gerilme yığılmalarını görsel ve sayısal çıktı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Tüm yapıda bulunan eşdeğer gerilmelerin dağılımı

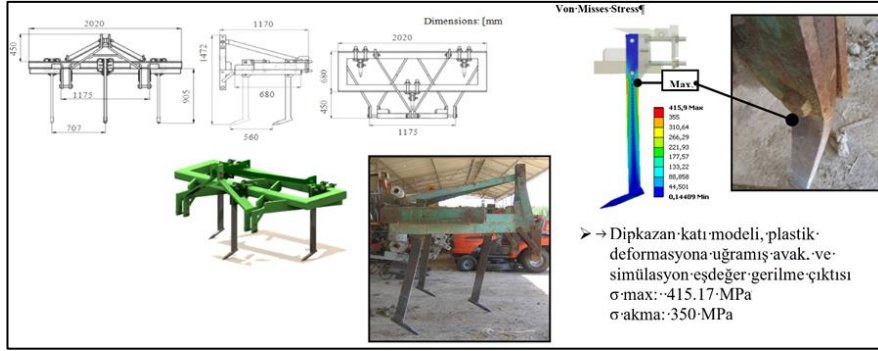
Akdeniz (2015), hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde hayvan kapasitesi az olan işletmeler için traktör ile çalıştırılan yem karma ve dağıtma makinelerine alternatif olarak kendi yürür bir yem karma ve dağıtma makinesinin tasarımını amaçlanmıştır. Bu makinenin şase ve bağlantılarının sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada statik ve dinamik yüklenmelere dayanıklı, sorunsuz ve ekonomik ömürlü bir şase yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada üç boyutlu model SolidWoks CAD, analizler ise SolidWorks Simulation yazılımında yapılmış, tasarım sonucu elde edilen değerlere göre güvenli bir şase yapısının elde edileceği sonucuna varılmıştır. Şasenin gerilme analizi sonucu elde edilen örnek bir görsel ve sayısal çıktısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Modellenen şasenin gerilme analizi görsel ve sayısal çıktısı

Çetinkaya (2011), hazırladığı yüksek lisans tezinde, bilgisayar destekli tasarım yazılımı (SolidWorks) ile bir biçerdöverin üç boyutlu modelinin oluşturulmasını ve bu modelin içinde bulunan sarsak mekanizmasının sonlu elemanlar yöntemi ile kinematik analizinin gerçekleştirilmesini amaçlamıştır. Analiz SolidWorks ile entegre çalışan COSMOSMotion modülünde yapılmıştır. Bu sayede doğrudan modelleme ortamı kullanılabilmiştir. Yapılan analizler sonucunda sarsak ve krank milinin maruz kaldığı gerilme değerlerine göre güvenli çalışma katsayılarının, makinenin tasarımında kabul edilebilecek sınırlarda olduğu ortaya konulmuştur. Fakat sarsak ve krank mili üzerinde oluşan yer değiştirme değerleri sınır değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Bu nedenle hesaplanan yer değiştirme değerlerinin daha düşük çıkmasını sağlamak için sarsakta yüksek dayanımlı alüminyum alaşımı kullanılması ve tasarımda değişikliğe gidilerek diğer parçalarının yapısal olarak optimize edilmesi önerilmiştir.

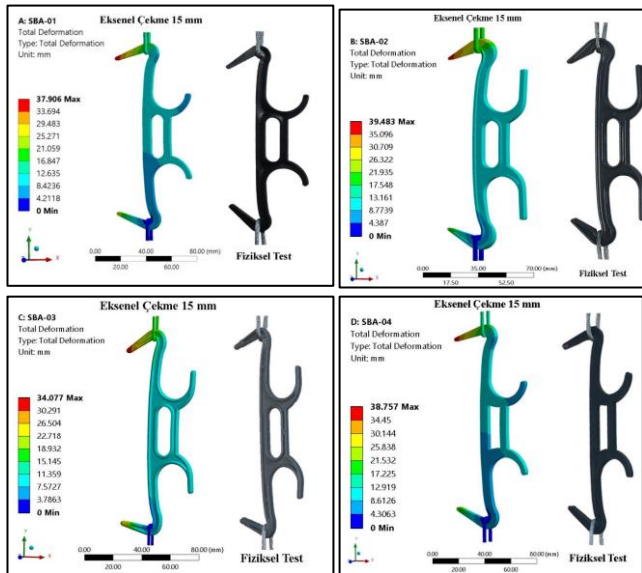
Çelik vd. (2008), yaptıkları çalışmada 3 ayaklı bir dip kazan aletinin katı modellemesini gerçekleştirmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak aletin çalışma koşullarını simüle etmişlerdir. Çalışmada ele alınan aletin maruz kaldığı maksimum çeki kuvveti tarla denemelerinde deneysel olarak ölçülmüştür. Elde edilen değerler sonlu elemanlar analizlerinde kullanılmış, dipkazan aleti için ilgili gerilme analizleri çıktıları elde edilmiştir. Analizler sonucu, toprak işleme sonrası dipkazan ayakları üzerinde plastik deformasyonlar tespit edilmiş ve görsel çıktılar ile doğrulanmıştır. Çalışmaya ait örnek katı model ve analiz simülasyon çıktıları Şekil. 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Dipkazan aletinin katı modeli ve plastik deformasyonu gösteren analiz çıktıları

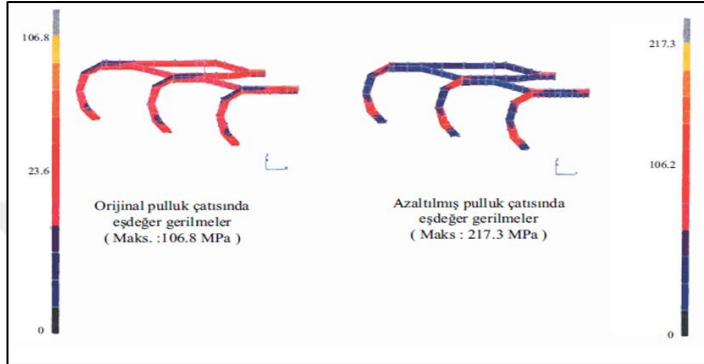
Brown vd. (1989), 10 m iş genişliği olan bir pulluk üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizleri gerçekleştirmişlerdir. Bu analizlere göre elde edilen değerlerde pulluk metal ayak kalınlığının 6.35 mm'den 4.76 mm'ye indirilmesinin uygun olduğunu değerlendirmişler ve yeni parametrelerin gerilme dağılımlarında sınır gerilme değerleri içerisinde kaldığını göstermişlerdir.

Kunt (2019), hazırladığı yüksek lisans tezi çalışmasında sera bitkisi askılarının optimum tasarımı amacıyla sonlu elemanlar yöntemi destekli deneysel bir çalışma sunmuştur. Çalışmada sayısal yöntem simülasyon ve deneysel analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre örnek ürünün optimum dayanım değerleri elde edilmiş ve katmanlı imalat prototip doğrulamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma içerisinde elde edilen fiziksel deformasyon değerlerinin referans alındığı simülasyon doğrulama görselleri Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Sera bitkisi askılarının 15 mm çekme etkisi altındaki simülasyon ve çekme deneyi sonuçları

Değirmencioğlu (1998), pulluklar üzerinde yaptığı çalışmada 3 ayaklı bir pulluk için sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel gerilme analizi ile aletin gerçek çalışma koşullarındaki deformasyon davranışı incelemiş ve kullanılan malzeme tasarrufu yönünde analizler gerçekleştirmiştir. Bu analizler sonucunda pulluk gövde modeli üzerinde yaklaşık %17.6 değerinde bir ağırlık tasarrufu elde edilmiştir. Örnek olarak, hafifletilmiş yapının eş değer gerilme ve hareket yönüne ters yer değiştirme değerlerinin simülasyon çıktıları Şekil 2.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Hafifletilmiş pulluk gövde modelinin simülasyon çıktıları

Şahin vd. (2018), sundukları araştırmada 4 farklı firmanın ürettiği kültivatör kazayağı uç demiri örneklerinde, 6 farklı yük altında ortaya çıkan gerilme ve deformasyonları incelenmiştir. Farklı uç demirleri sabit ayaklara 2 cıvata ile bağlanmış, kesme yapan her bir uç demiri yüzeyine ise 6 farklı statik yüklenme senaryosu kurgulanmıştır. Senaryolar sırasıyla S1, S2, S3, S4, S5, S6 olarak adlandırılmıştır. Bunlara bağlı kuvvet değerleri de sırasıyla 500N, 1000N, 1500N, 2000N, 2500N, 3000N'dur. Gerçekleştirilen analizler sonucu açığa çıkan gerilme ve yer değiştirme değerleri tabloları Şekil 2.6.'da verilmiştir. Sonuç olarak kazayağı uç demirlerinde maksimum eşdeğer gerilme değerleri genelde bağlantı bölgelerinde olduğu gözlemlenmiştir.

YÜK (Kuvvet) (N)	GERİLME (Stress, Von Mises) (MPa)			
	A	B	C	D
S1	63.397	155.327	73.665	129.344
S2	65.859	159.185	73.922	129.624
S3	68.381	162.1740	74.224	129.913
S4	70.932	163.036	74.570	130.181
S5	70.513	166.311	74.964	130.465
S6	76.135	169.996	75.416	130.746
σ_{akma}	350.0	673.0	350.0	367.0
K_{em} (S6 için)	4.60	3.96	4.64	2.80

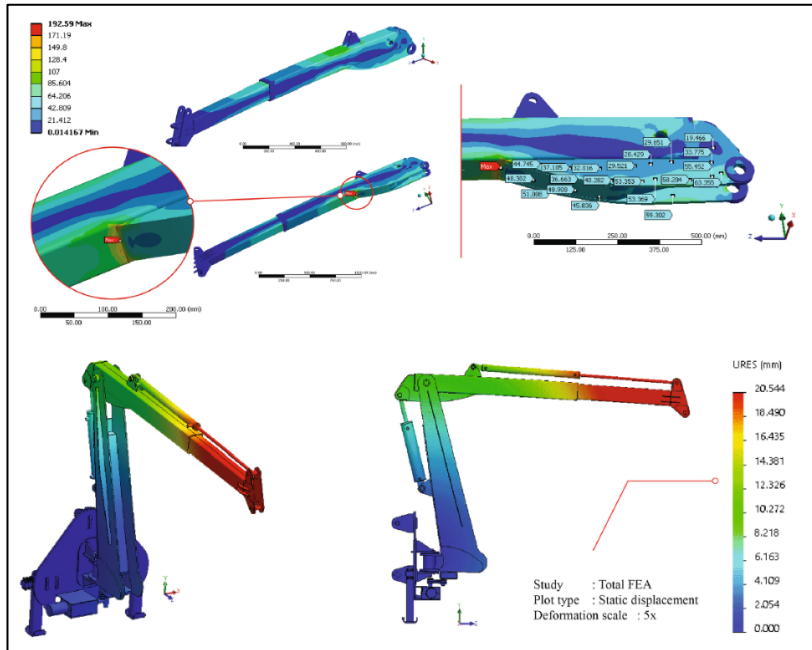
YÜK (Kuv- vet) (N)	YER DEĞİŞTİRME (Ortalama yer değiştirme, URES) mm			
	A	B	C	D
S1	0.115	0.115	0.197	0.042
S2	0.115	0.138	0.202	0.073
S3	0.116	0.142	0.208	0.105
S4	0.118	0.149	0.215	0.136
S5	0.122	0.159	0.223	0.167
S6	0.126	0.171	0.232	0.198

Şekil 2.6. 4 farklı kültivatör kazayağı uç demirlerinin 6 farklı senaryodaki simülasyonlarına bağlı gerilme ve deformasyon çıktıları

Kütük ve Özaraç (2015), kazıcı bir iş makinesinin çalışma kuvvetlerine bağlı olarak taşıyıcı yapı (bum) ve kol tasarımında oluşan gerilmelerin incelenmesi ve elemanların iyileştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi ile makinenin kritik konumuna göre simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya göre ürünün maruz kaldığı kuvvetlere dayanarak sınır gerilme değerinin altında kalmasını ve optimum malzeme kullanılması amaçlanmıştır. Çalışma sonunda tasarım ve imalat süreci kısaltılmış, güvenilir ve ekonomik ömürlü ürün tasarım çıktıları sunulmuştur.

Yeter (2009), hazırladığı yüksek lisans tezinde kazıcı ve yükleyici bir aletin analiz mukavemetinin güçlendirilmesini amaçlanmıştır. İlk olarak maksimum piston kuvvetlerinin etkisiyle kolların bağlantı noktalarında tepki kuvvetleri hesaplanmıştır. Hesaplanan sınır koşullarına göre Ansys Workbench yazılımı aracılığıyla sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gerilmelerin yoğun olduğu bölgelerde güçlendirmeler yapılmıştır. Analizi yapılan elemanlardan birinde güçlendirilmeden önce çıkan gerilme analizi sonucu 222.83 MPa'dır. Bu elemanın 1. güçlendirme işlemi sonrasında elde edilen gerilme analizi sonucu 171.13 MPa olarak elde edilmiş ve iyileştirmeye gidilmiştir.

Çelik (2017), yaptığı çalışmada traktör üç nokta bağlantı düzenine bağlanan teleskopik yapıları bir vincin sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel gerilme analizi ile mukavemet analizi gerçekleştirmiştir. Çalışmada materyal olan vinç tasarımı, bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Model üzerindeki (vinç) maksimum yük altındaki gerilme ve yer değiştirme değerleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda vincin kalıcı hasara uğramadan çalışabileceği sınırlar belirlenmiş, her bir vinç elemanı için güvenli çalışma katsayıları çıkartılmıştır. Çalışmada kullanılan vinç analizi simülasyon çıktılarına ait örnek görsel Şekil 2.7'te verilmiştir.



Şekil 2.7. Traktör vincine ait gerilme analizi sonuçları

Uzunoğlu (2006), hazırladığı yüksek lisans tezinde üç parçalı bir kardan şaftının kritik düzeydeki hızı ve burulma yapısının bulunması amacıyla, bilgisayar ortamında modellenen bu şaftın sonlu elemanlar analizlerini (M.S.C NASTRAN) gerçekleştirmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarının birtakım ampirik formüller ile karşılaştırıldığında hesaplanan değerlerin birbirlerine yakın olduğu gösterilmiştir.

Can (2021), hazırladığı yüksek lisans tezinde damperli kamyonların üst yapı şasi tasarımı ve mukavemet analizi üzerine bir araştırma yürütmüştür. Araştırmada bilgisayar ortamında yeni bir şasi tasarımı üzerine çalışılmış, bu tasarım sonlu elemanlar analizi ile farklı yükler altında analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve şasi üzerinde yapısal revizyonlar gerçekleştirilmiştir.

Patel vd. (2013), yaptığı çalışmada bir kamyon şasesinin yapısal optimizasyonuna yönelik sayısal yöntem analizi temelli bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmada katı modelleme için Pro-E, sayısal yöntem analizi için sonlu elemanlar yöntemi temel alan Ansys Workbench yazılımı kullanılmıştır. Çalışma neticesinde şase üzerinde ağırlık azaltmaya yönelik yapısal optimizasyon parametrelerine ait görsel ve sayısal çıktılar sunulmuştur.

Çelik vd. (2018), yaptıkları çalışmada hasar görmüş bir traktör kuyruk mili üzerinde tasarım analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada elemanın en çok yük altında kaldığı burulma zorlanması için sonlu elemanlar yöntemi temelli gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz neticesinde mil üzerindeki gerilme dağılımları sayısal ve simülasyon görsel çıktılar elde edilmiş, mil üzerindeki hasar bölgesi anlaşılır bir biçimde ortaya koymuştur. Çalışma neticesinde statik yükleme değerlerinin malzeme sınır gerilme değeri içerisinde kaldığı ancak asıl hasar nedeninin aşırı şok burulma yüklenmesi ile oluştuğu sonucuna varılmıştır.

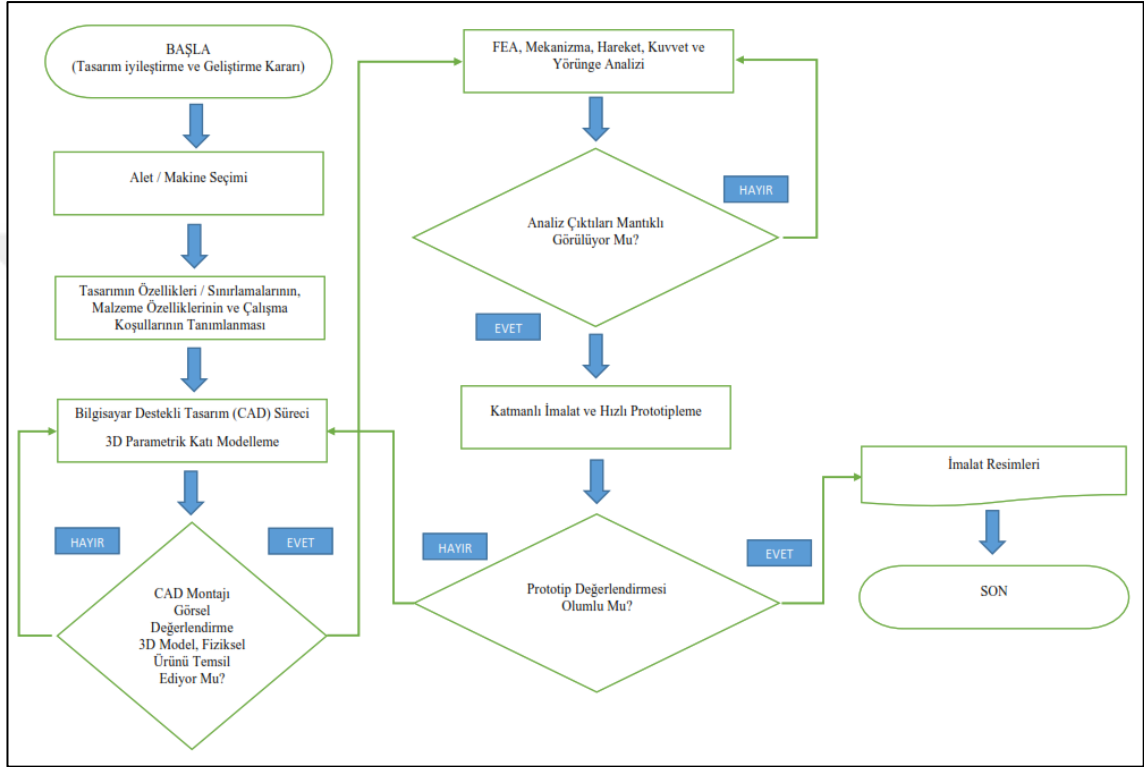
3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında bitkisel üretimin toprak hazırlığı aşamasında kullanılan hidrolik etkili bir toprak kazı makinesi (skreyper) materyal olarak ele alınmıştır. Traktöre bağlanabilir, çekilir tip olarak planlanan bu makinenin büyüklüğü, haznelerinde bulunan malzemelerin hacmine göre anılmaktadır. Hacim, kazanın oluşturduğu iç boyuta dayanmaktadır. Bu yöntem, kapasiteleri karşılaştırmanın tutarlı bir yolu olarak ifade edilmektedir (ISO 6485:1980). Bununla birlikte bu tip bir makinede çatinın arka tarafında taşıyıcı tekerlekler bulunmaktadır. Araştırma konusu olan skreyper, yaklaşık 2.2 m³ hacim kapasiteli olarak planlanmıştır, çekilir tip ve tek akslıdır.

Çalışmada, ele alınan makine özelinde mukavemete dayalı bilgisayar destekli tasarım örneği için tarım makineleri tasarımı ve imalatına özgü bir ürün tasarımı uygulama algoritması oluşturulmuştur. Bu bağlamda, örnek uygulamada verilen aşamalarda algoritmik bir yaklaşım benimsenmiş ve geliştirilen uygulama algoritmasında yer alan adımlar sistematik bir şekilde adım adım takip edilerek araştırma bulgularında detaylandırılmıştır. Çalışmada, bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik için üç boyutlu parametrik katı modelleme ve sonlu elemanlar yöntemi temelli yazılımlar, hızlı prototipleme işlemi için katmanlı imalat yöntemi kullanılmıştır.

3.1. Uygulama Algoritması ve Adımları

Bu tez çalışmasında tarım alet ve makineleri tasarımlarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde kullanılacak imalata yönelik mukavemete dayalı bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik tekniklerini referans alan bir uygulama algoritması kurgulanmıştır. Bu algoritma Şekil 3.1’de işlem basamakları halinde gösterilmiştir. Tez çalışmasında ele alınan tasarım uygulama örneğinde bu algoritma adımları sırası ile takip edilmiştir.



Şekil 3.1. Tez çalışması kapsamında kurgulanan uygulama algoritması

Uygulama Başlangıcı: Bu adım bir başlangıç karar alma adımındır. Bu adımda tarım alet ve makineleri özelinde mukavemete dayalı bilgisayar destekli tasarım, mühendislik ve hızlı prototipleme uygulamaları ile tasarlanacak bir ürünün imalata hazır hale getirilmesi kararı alınmıştır.

Alet / Makine Seçimi: Bu uygulama adımı, tarım alet ve makineleri özelinde tasarlanacak makine seçimi aşamasıdır. Bu çalışmada tasarım çalışmasının hidrolik etkili toprak kazı makinesi (skreyper) üzerinde yürütülmesine karar verilmiştir.

Çalışma Koşulları ve Tasarımın Özellikleri: Bu aşama, hidrolik etkili kazıma, taşıma ve dökme işlemleri ile arazi tesviyesi yapabilecek bir makine özelinde çalışma koşullarının tanımlandığı ve tasarım özelliklerinin belirlendiği aşamadır.

Bilgisayar Destekli Tasarım Süreci: Bu aşama, ele alınan makine özelinde, tüm makine elemanlarının ve ilgili mekanizma sisteminin bilgisayar ortamında tasarıma ait başlangıç geometrik ölçülendirmelerinin ve katı modellemelerinin yapıldığı aşamadır.

3D CAD Montajı ve Değerlendirme: Bu aşama, tanımlanan tasarım özelliklerine göre geometrik tasarımı yapılan elemanların ve alt montaj modellerin sistematik bir şekilde tüm montaj haline getirildiği aşamadır. Bu bağlamda ürünün toplam montajı elde edilerek 3 boyutlu görsel ve boyutsal uyum değerlendirmeleri yapılmaktadır.

FEA, Mekanizma Kuvvet, Hareket ve Yörünge Analizi: Tasarlanan makinenin sonlu elemanlar yöntemi temelli mukavemet analizinin, üzerinde bulunan mekanizma yapısının çalışma esnasında ihtiyaç duyduğu tahrik kuvvetinin hesaplandığı ve mekanizma sisteminin hareket ve yörünge analizinin yapıldığı aşamadır.

Katmanlı İmalat ve Hızlı Prototipleme Süreci: Parametrik katı modellenen makinenin 1:15 ölçeğinde 3 boyutlu katmanlı imalat örneğinin hazırlandığı aşamadır.

İmalat Resimlerinin Hazırlanması: Bu adım tasarlanan ürünün imalatı aşamasında kullanılması için gerekli teknik/imalat resimlerin hazırlanması adımıdır ve bu adım ile birlikte toplam süreç sonlandırılmaktadır.

3.2. Skreyper Başlangıç Tasarımı ve 3 Boyutlu (3D) Parametrik Katı Modelleme

2021 Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK) verilerine göre 2021 yılı Türkiye toplam traktör sayısı 1481461 olarak verilmiştir. 2021 yılı içerisindeki 35-50 BG güç grubunda 523718 adet, 51-70 BG güç grubu içerisinde 555536 adet, 70+ BG güç grubu içerisinde 205488 adet traktör bulunmaktadır. 2021 yılı traktör parkı ortalama traktör gücü ise yaklaşık 52 BG olarak hesaplanmaktadır (TUIK 2021). Bu verilere göre en yüksek traktör sayılarının 35-50 BG ve 51-70 BG gücündeki traktörler grubunda yer aldığı ve bu iki gruptaki traktör sayılarının göreceli olarak birbirlerine yakın olduğu söylenebilmektedir.

Buna ek olarak traktör üç nokta askı bağlantı düzeni boyutları, bu düzene bağlanan tarım makineleri için boyutsal tasarım parametresi olarak ele alınmaktadır. Tarım traktörlerine bağlama sınıflandırılmasında kullanılan sınıflandırmalardan bir diğeri traktör gücünü referans alan, üç nokta askı bağlantı düzeni boyutlarına göre yapılan sınıflandırmadır.

Günümüzde traktör üç nokta askı bağlantı düzeni boyutlarını tanımlayan TS 660 standardı TS ISO 730 (ISO 730:2009/Amd-1:2014) standardı ile güncellenmiştir. Bu güncellenen sınıflandırmada traktör üç nokta askı bağlantı düzeni boyutları 4 ana kategori altında 8 başlıkta toplanmıştır (Çizelge 3.1) (Keçecioğlu vd. 2005; Gültekin Yıldız, 2019).

Türkiye’de en çok kullanılan skreyper tiplerinin tasarımları incelendiğinde, bu tip makinelerin Türkiye traktör parkı ortalama güç grubu veya daha büyük güç grubu traktörler için tasarlanmış olduğu görülmektedir. Bu durumda Türkiye’de daha küçük yüz ölçüme sahip tarım arazileri hazırlığında bu makinelerin kullanımı boyutsal ve ekonomik

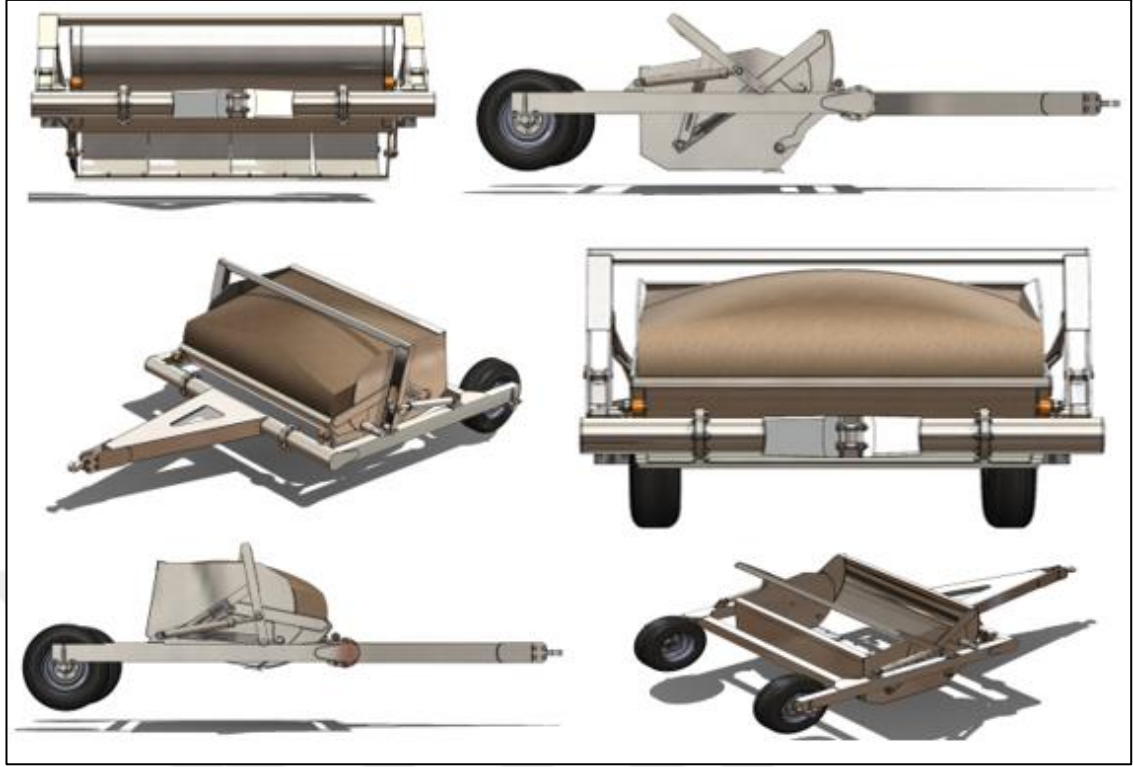
nedenlerden dolayı sınırlı düzeyde kalabilmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında ele alınan makine tasarımı Traktör üç nokta askı bağlantı düzeni Kategori-II boyutları ve traktör parkı ortalama traktör gücü olan 52 BG güç değeri altında kalan 35-50 BG aralığı güç gruplarında yer alan bir traktör için çekilir tip, hidrolik etkili olarak planlanmıştır. Böylelikle tasarlanan makine daha küçük ölçekli tarım arazilerinin hazırlığında ve bu ölçekte üretim yapan işletmelerin kullanabileceği büyüklükte bir makine olarak ortaya konabilecektir.

Çizelge 3.1. Traktör üç nokta askı bağlantı düzeni standart kategorileri (TS ISO 730)

<i>Tanım</i>	<i>No.</i>	<i>Kategori</i>							
		<i>1N</i>	<i>1</i>	<i>2N</i>	<i>2</i>	<i>3N</i>	<i>3</i>	<i>4N</i>	<i>4</i>
Yan kol yerden yükseklik en alt	14	200 max.	200 max.	230 max.	230 max.	230 max.	230 max.	230 max.	230 max.
Hareket aralığı	18	610 min.	610 min.	650 min.	650 min.	735 min.	735 min.	760 min.	760 min.
Yan kolyerden yükseklik en üst	19	600 min.	600 min.	950 min.	950 min.	1065 min.	1065 min.	1200 min.	1200 min.
Yan kol ile lastik arasındaki mesafe	20	90 min.	100 min.	100 min.	100 min.	100 min.	100 min.	100 min.	100 min.

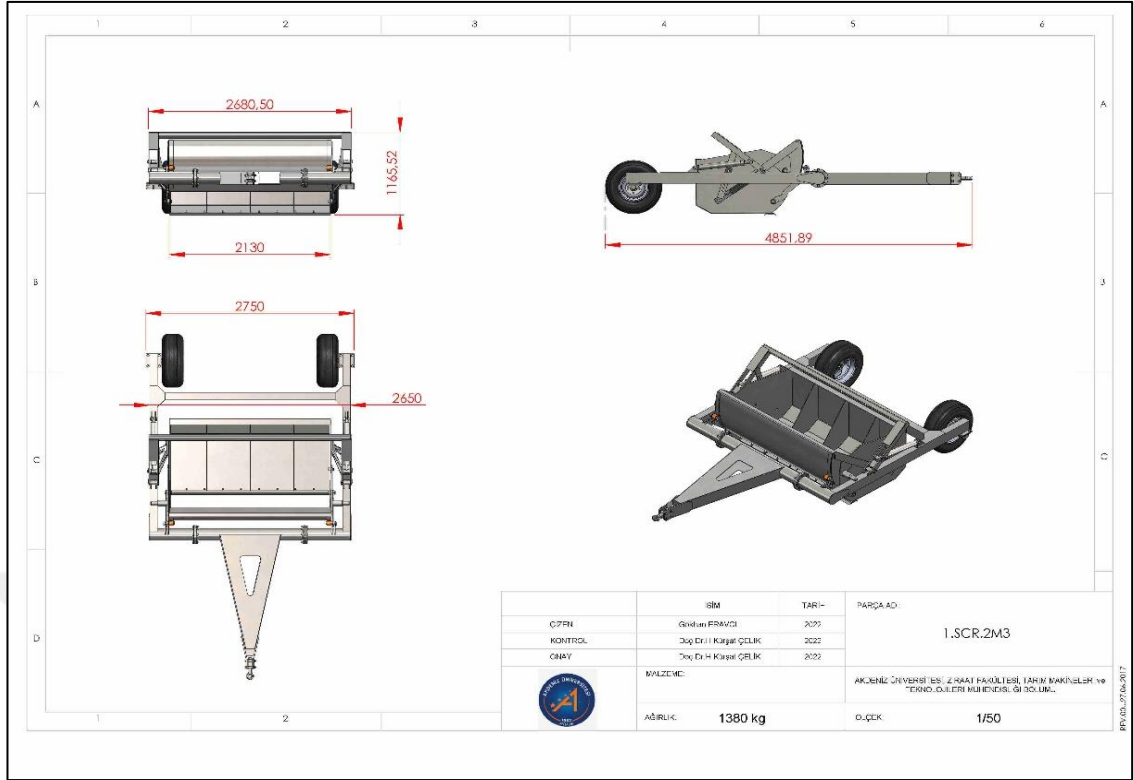
Ele alınan skreyperin tasarım sürecinde ulusal ve uluslararası alanlarda yer alan benzer hidrolik etkili skreyperler incelenmiştir ve makinenin tasarım özellikleri tanımlanan çalışma koşulları altında en iyi tasarımı elde etme yönünde değerlendirmeler yapılarak düşünülmüştür. İncelemeler neticesinde makine özelinde kazana bağlı mekanizmalı bir model tasarımına karar verilmiştir. Traktör üzerindeki hidrolik prizler vasıtasıyla makine üzerindeki hidrolik pistonlar mekanizmaya hareket vermektedir. Bu nedenle makinenin çalışma ve trafik durumu askı düzeni ile değil, makine üzerindeki hidrolik piston ile sağlanmaktadır.

Bu değerlendirmeler ışığında, skreyper'in başlangıç bilgisayar destekli tasarım/katı modelleme işlemleri SolidWorks üç boyutlu (3D) parametrik katı modelleme yazılımı kullanılarak, bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Skreyper tasarımına ait bazı görseller Şekil 3.2'de verilmiştir.

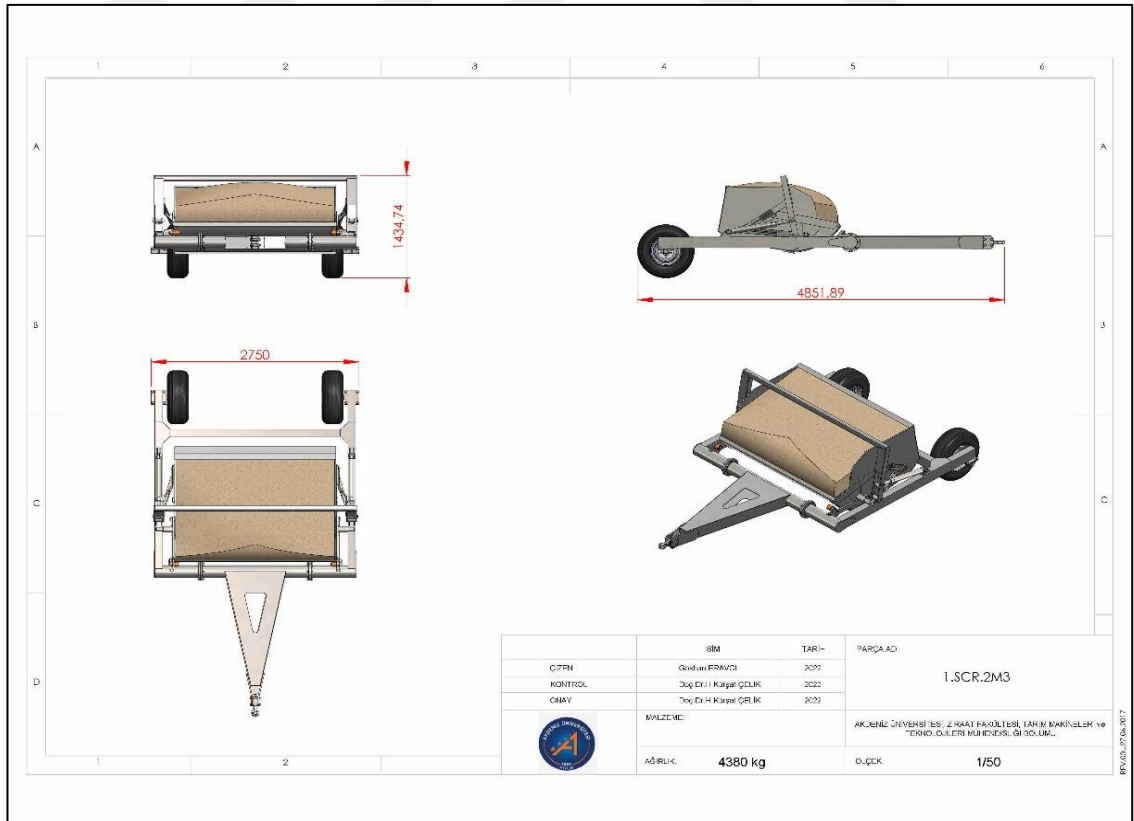


Şekil 3.2. Hidrolik etkili toprak kazı makinesinin (skreyper) üç boyutlu katı modeli

Makinenin kazı durumundaki genel ölçüleri Şekil 3.3, kazan dolu ve taşıma durumundaki genel ölçüleri Şekil 3.4’de verilmiştir. Bu ölçülere göre makine boyutu 2750x4852x1162 mm’dir. Kazan bıçağının kazıma için iş genişliği 2130 mm olarak belirlenmiştir ve böylelikle makine kazan hazne hacmi kapasitesi yaklaşık 2.2m³ olarak hesaplanmıştır. Bu verilen ölçülerde makinede yalnızca yükseklik ölçüsü kazıma, yükleme ve boşaltma işlemleri aşamalarında değişmektedir.



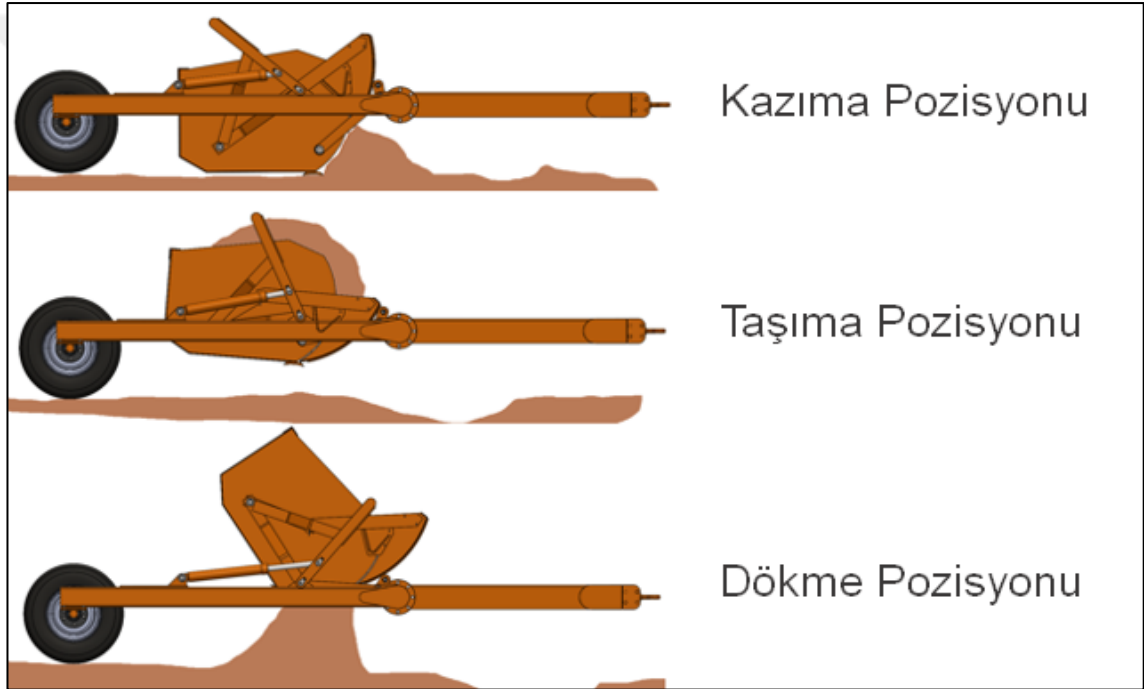
Şekil 3.3. Skreyperin genel boyutları (kazı pozisyonu)



Şekil 3.4. Skreyperin genel boyutları (kazan dolu pozisyonu)

3.3. Tasarım Özelinde Tanımlanan Skreyper için İşlem Basamakları

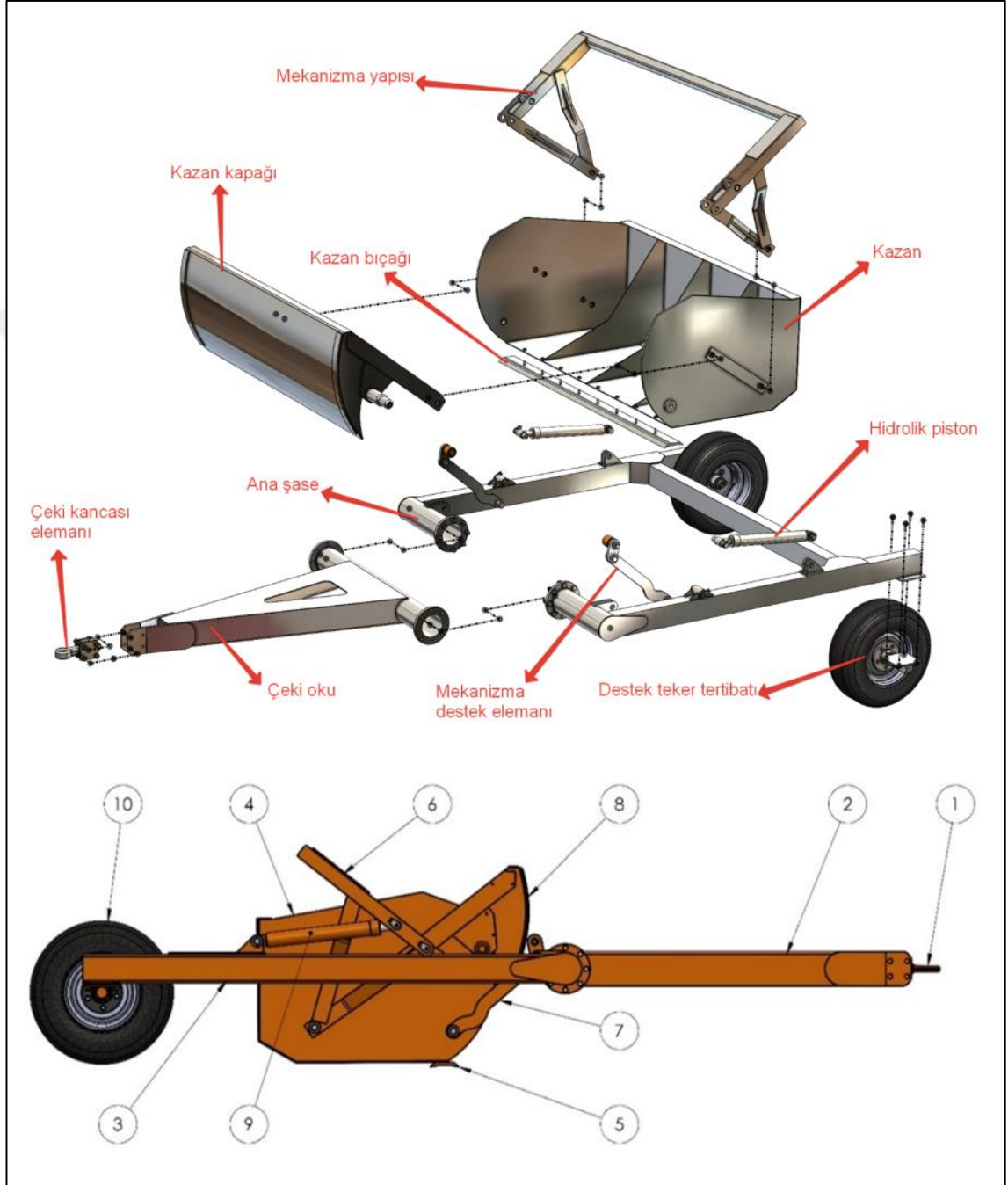
Skreyper; kazıma, taşıma ve dökme işlemi gerçekleştirerek tarımsal arazi için tesviye işlemi sağlamaktadır. Kazıma pozisyonunda hidrolik pistonun kapalı olması ile kova zemine teğet bir biçimde ilerlemektedir. Kovaya bağlı tesviye bıçağı kazıma işlemi gerçekleştirmektedir. Kovanın içerisine yeteri kadar toprak doldurulduktan sonra hidrolik piston bir miktar açılmakta ve makine taşıma aşamasına geçmektedir. Taşıma pozisyonuna geçene kadar kovanın kapağı mekanizma yardımı ile kapanmaktadır. Daha sonra toprağın istenilen çukura veya zemine boşaltılması için hidrolik piston en uzun mesafesine kadar açılır ve bu süreçte yine mekanizma yardımı ile kovanın kapağı açılarak ve kova dökme pozisyonuna gelmektedir. Makinenin tesviye işlemleri şematik olarak sırasıyla Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Skreyper işlem basamakları

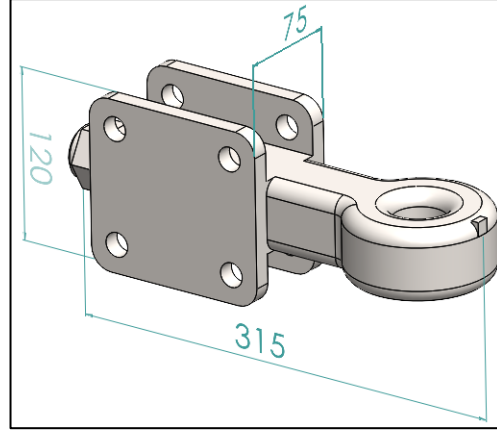
3.4. Skreyperin Temel Elemanları

Ele alınan makine işlevsel ve destek görevleri olan elemanların, genel ve alt montajları ile tasarlanmıştır. Buna göre makinenin temel elemanları numaralandırılarak Şekil 3.6'de gösterilmiştir.



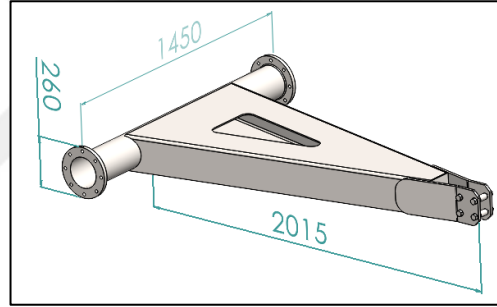
Şekil 3.6. Skreyperin temel elemanları

1. *Çeki Kancası Elemanı*: Makineyi traktöre bağlayan elemandır (Şekil 3.7).



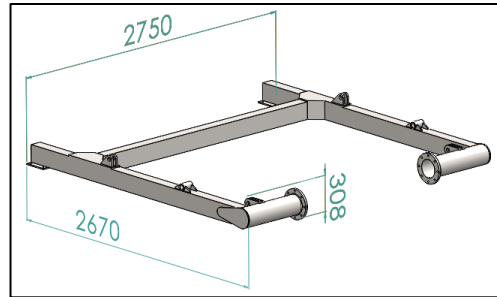
Şekil 3.7. Çeki Kancası Elemanı

2. *Çeki Oku*: Traktörün çeki kuvvetini makineye ileten yapıdır (Şekil 3.8).



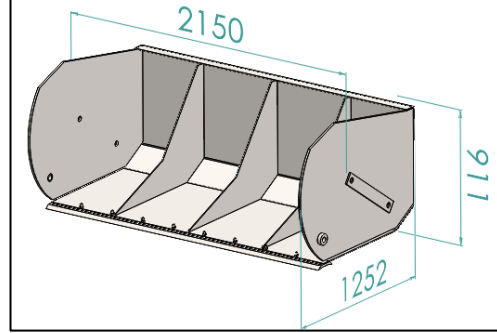
Şekil 3.8. Çeki oku

3. *Ana Şase*: Makinenin tüm temel elemanlarını üzerinde taşıyan kaynaklı yapıdır (Şekil 3.9).



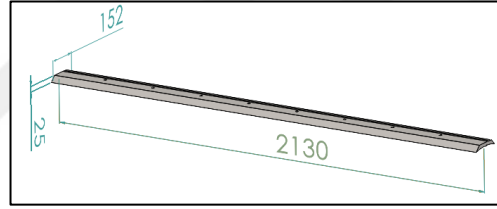
Şekil 3.9. Ana şase

4. *Kazan*: Makine çalışırken kazıma, depolama, taşıma ve dökme işlemlerini gerçekleştirir (Şekil 3.10).



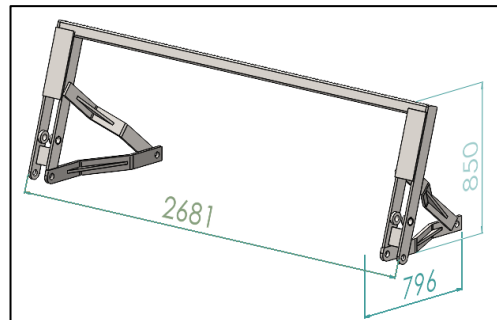
Şekil 3.10. Kazan

5. *Kazan Bıçağı*: Kazıma işlemi yaparken aşınmalara karşı göreceli olarak uzun ömürlü olması planlanan ve değiştirilebilen bir elemandır (Şekil 3.11).



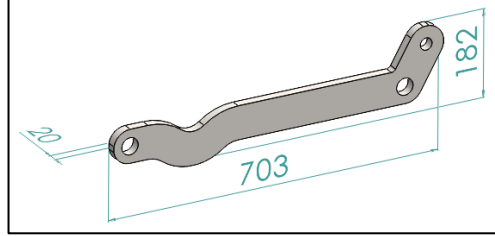
Şekil 3.11. Kazan bıçağı

6. *Mekanizma Yapısı*: Kazanı hareketini sağlayan hareketli yapıdır (Şekil 3.12).



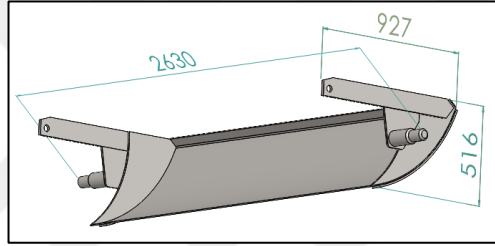
Şekil 3.12. Mekanizma yapısı

7. *Mekanizma Destek Elemanı*: Kazanın hareket işlemine destek olan ve toprak dökme işlemine yardımcı olan destek elemanıdır (Şekil 3.13).



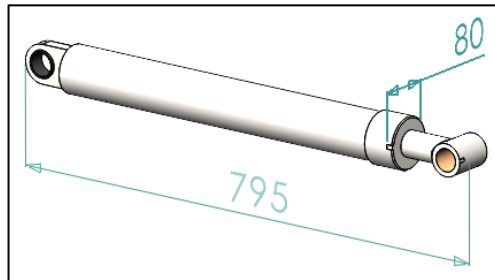
Şekil 3.13. Mekanizma destek elemanı

8. *Kazan Kapağı*: Makinenin toprak taşıma anında kazanın kapalı kalmasını ve toprak dökme esnasında açılmasını sağlayan yapıdır (Şekil 3.14).



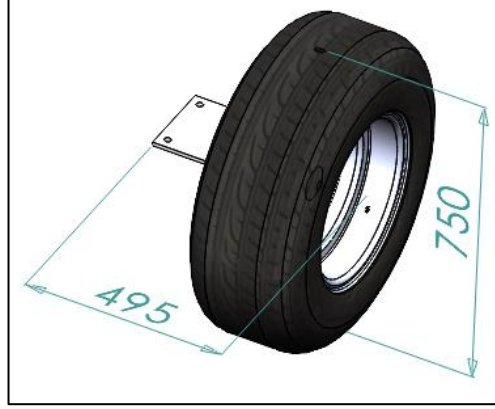
Şekil 3.14. Kazan kapağı

9. *Hidrolik Piston*: Makinenin mekanizma tahrik elemanıdır (Şekil 3.15). Sağ ve sol olarak 2 adet kullanılmaktadır. Piston çalışma stroğu 290 mm'dir.



Şekil 3.15. Hidrolik piston

10. *Destek Teker Tertibatı*: Makineyi yol ve iş pozisyonu boyunca çekildiği sürece destekleyen ve ilerlemesine yardımcı olan elemandır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Destek Teker Tertibatı

3.5. Skreyperin Sonlu Elemanlar Analizi İçin Tanımlanan Malzemeler ve Özellikleri

Skreyper tasarımı, kaynaklı alt montajlar ve standart makine elemanlarının birbirlerine bağlanarak ana montajı oluşturacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Skreyperin tasarımında tanımlanan malzemelerin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir (Çelik 2013).

Çizelge 3.2. Skreyperin yapısında kullanılan malzemelerin özellikleri

Malzeme Özelliği	St52 Çeliği (S355JR)	4140 Çeliği (41CrMo4)	Cıvata ve Somun Normu (8.8)
	(Genel İmalat Çeliği)	(Pim, Çeki ve Dingil Malzemesi)	
Elastik Modülü (GPa)	210	190	210
Poission Oranı (-)	0.28	0.28	0.3
Maksimum Akma Dayanımı (MPa)	275	760	640
Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	450	980	800
Malzeme Yoğunluğu (Kg/m ⁻³)	7800	7800	7800

3.6. Skreyper FEA Senaryoları ve Mekanizma Analizi İçin Sınır Koşulları

Skreyper, traktörün çeki kuvveti ile kazıma işlemi gerçekleştirmektedir. Ek olarak kazanın dolu ve boş pozisyonları için skreyperin traktöre bağlı olduğu sırada yerçekimi ivmesi etki etmektedir. Ayrıca hidrolik pistonların mekanizmayı hareketlendirmesi porsiyonunda ortaya çıkan kuvvet makinenin yapısı üzerinde kuvvete bağlı deformasyon dağılımları meydana gelmektedir. Tüm bu durumlar dikkate alınarak aşağıdaki FEA ve hareket analizi senaryoları kurgulanmıştır ve toplamda 8 adet analiz gerçekleştirilmiştir.

Senaryo-1: Kazıma anındaki çeki kuvvetine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)

Senaryo-2: Boş kazan taşıma durumunda yer çekimine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)

Senaryo-3: Dolu kazan taşıma durumunda yer çekimine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)

Senaryo-4: Kazanın hareketine etki eden hidrolik piston mekanizmasının hareket yörünge analizi

Senaryo-5: Boş kazan ile mekanizma çalışması için gerekli hidrolik piston kuvvet analizi (Motion)

Senaryo-6: Dolu kazan ile mekanizma çalışması için gerekli hidrolik piston kuvvet analizi (Motion)

Senaryo-7: Boş kazan ile mekanizma çalışmaya başladığı andaki hidrolik piston kuvvetine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)

Senaryo-8: Dolu kazan ile mekanizma çalışmaya başladığı andaki hidrolik piston kuvvetine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)

3.6.1. Kazı Pozisyonu FEA Sınır Koşulları

Yapılan ilk analizde makinenin traktör çeki noktasına bağlanarak kazı pozisyonunda çekilmesi simüle edilmiştir. Makinenin kazı pozisyonu analizinde hidrolik piston kapalı pozisyonda tutulmuştur. Makine tasarım detaylandırma çalışmaları ve literatür taramaları neticesinde traktör motor gücü yaklaşık 40 BG (30 kW) olarak kabul edilmiştir (Ashland 2016). Traktörlerin çeki gücü gereksinimi motor gücünün yaklaşık olarak %55'idir. Örneğin, 100 kW motor gücü 55 kW'ını atalet çeki gücü olarak ulaştırmaktadır (Keçecioğlu vd. 2005). Bu kabuller doğrultusunda makine tasarımında referans alınacak traktör çeki gücü 16.5 kW olarak kabul edilmiştir. Analizlerde referans alınan traktör çeki kuvveti, aşağıdaki traktör çeki gücü eşitliğinden hesaplanmıştır (Akıncı 2012).

$$N\zeta = \frac{P.V}{1000}$$

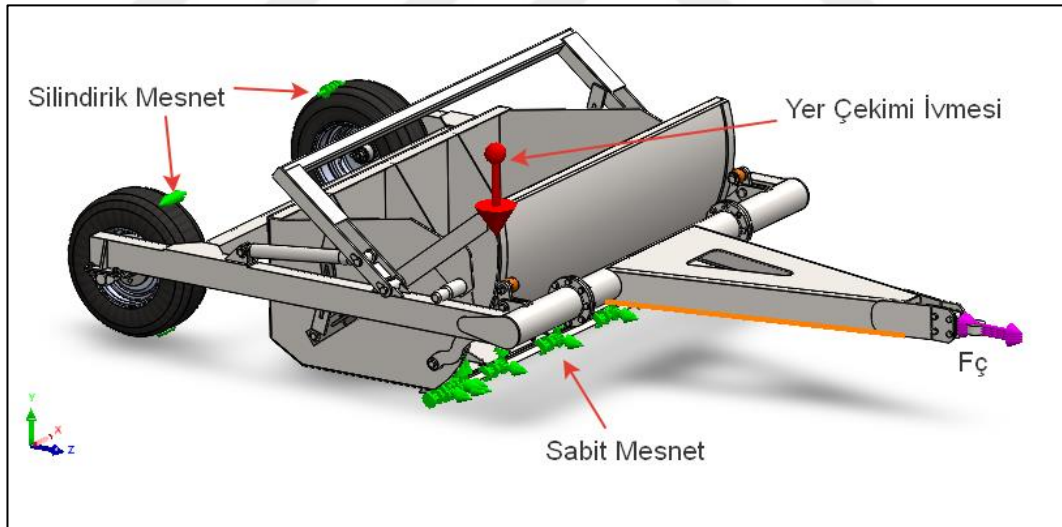
Çeki Gücü ($N\zeta$): kW, Çeki Kuvveti (P): N, İlerleme Hızı (V): m/s.

Makinenin kazıma işlemi sırasındaki ilerleme hızı $V=4-10$ km/h arasında olabilmektedir. Kazan içerisindeki yükü boşaltmaya giderken veya boşta ilerlerken iş verimliliğini artırmak amacı ile arazi uygunluğuna göre daha hızlı kullanılabilmesi mümkündür (Megep 2015). Buna göre makinenin kazıma işlemi esnasındaki ortalama ilerleme hızı $V=2$ m/s (7.2 km/h) kabul edilmiştir. Sonuç olarak;

$$16.5 (kW) = \frac{P (N) \times 2 (m/s)}{1000}$$

$P = 8250$ N hesaplanmaktadır.

Hesaplanan çeki kuvveti traktör ilerleme doğrultusunda makinenin çeki kancasına uygulanmıştır. Kazıma pozisyonunda makinenin çatısına bağlı ve arka kısımda bulunan dingil tertibatı, zemine destek vererek makineyi iş ve yol durumunda tutabilmektedir. Bu nedenle dingil tertibatındaki tekerin etrafına silindirik mesnet, kazana bağlı bıçak kısmına ise sabit mesnet tanımlanmıştır. Böylelikle bu elemanlarda düzlem ve dönme serbestlik dereceleri kısıtlanmıştır. Ayrıca yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2) analizlere dahil edilmiştir. Analize ait sınır koşulları Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

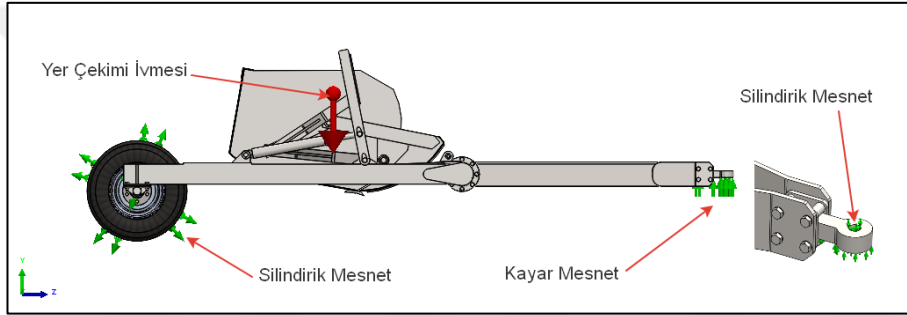


Şekil 3.17. Kazı pozisyonu sınır koşulları

3.6.2. Kazan Hacmi Boş ve Dolu Pozisyonlarında Yerçekimi Etkisinde Sınır Koşulları

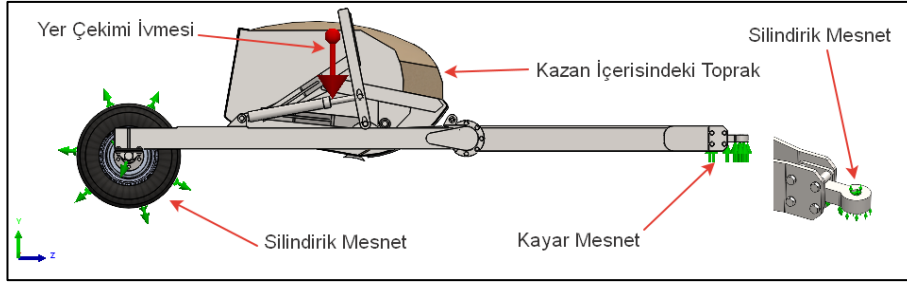
Makinenin kazan boş olduğu pozisyonunda yapılan bu simülasyonda, makinenin traktör çeki noktasına bağlandığı ve yer çekimi ivmesi altında yüklendiği pozisyon analiz edilmiştir. Yer çekimine karşı makinenin gösterdiği tepkileri incelemek için kazan hacmi boş iken hidrolik piston mekanizma desteği ile kazanın yukarı kaldırılmış ve kazan kapağı kapanmış pozisyonu dikkate alınmıştır. Böylelikle makine yalnızca dingil tertibatı ve traktör çeki demirine mesnetli pozisyonunda yalnızca yerçekimi altında yüklenmektedir.

Taşıma pozisyonunda traktörün dingil tertibatına bağlı tekerin etrafına ve çeki deliğine silindirik, çeki demiri bağlantısı alt yüzeyine kayar mesnet tanımlanmıştır. Yerçekimi ivmesi 9.81m/s^2 uygulanmıştır. Uygulanan sınır koşulları Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Boş kazan ile taşıma pozisyonu

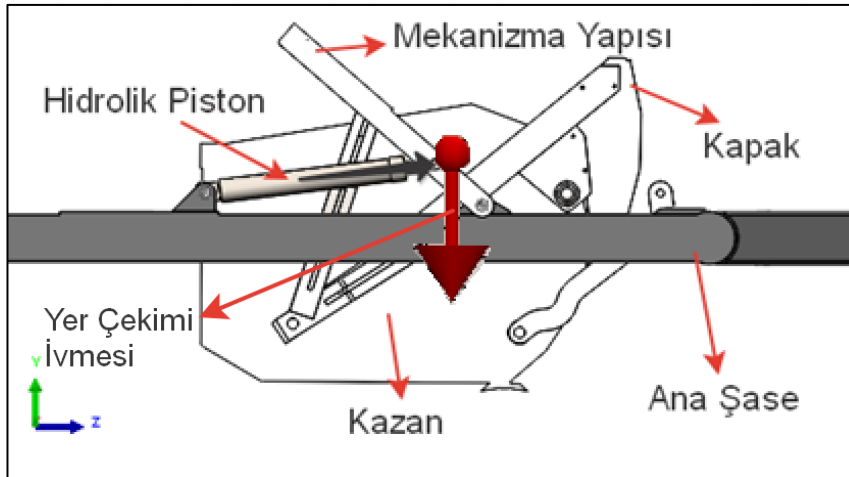
Kazan dolu olduğu pozisyon kabulü ile gerçekleştirilen bu analizde, ikinci analize ek olarak kazan içerisine tesviye materyali (toprak) taşıma yükü eklenmiştir. Bu şekilde yerçekiminin etki edeceği hususta makinenin kendi kütlesine ek olarak kazan içerisinde bulunan toprağın kütlesinin de etkisi dikkate alınmıştır. Toprak hacim ağırlığı ortalama $1.20\text{--}1.80\text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir (Megep, 2015). Bu aralıklara bağlı olarak hacim ağırlığı 1.40 olarak kabul edilmiştir. Dolayısı ile 2.2 m^3 hacimli bir skreyperin taşıdığı toprak kütlesi yaklaşık 3000 kg 'dır. Kazan hacminin boş olduğu pozisyonunda kullanılan mesnetler aynı şekilde bu analizde kullanılmıştır. Bu analizde makinenin kazıma işlemini tamamlayıp, kazandaki hacmi istenilen yere dökmeden hemen önceki pozisyonundaki makine yüklenmesi simüle edilmiştir. Uygulanan sınır koşulları Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



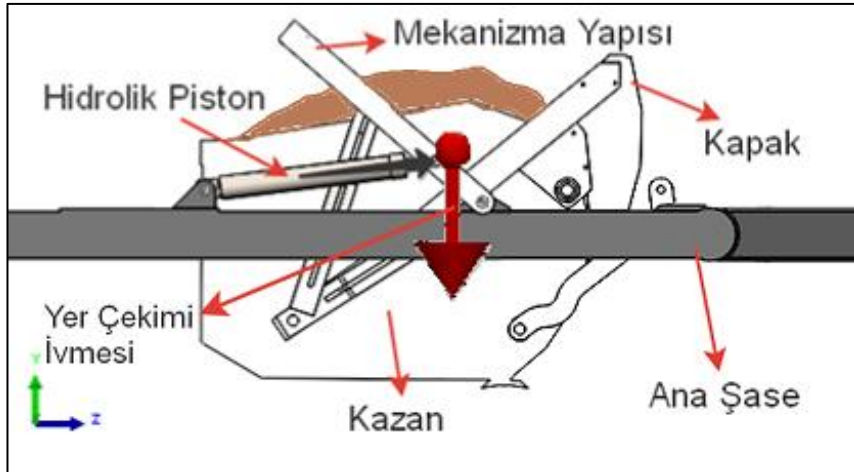
Şekil 3.19. Dolu kazan ile taşıma pozisyonu

3.6.3. Skreyperin Boş ve Dolu Hacimli Kazanın Kaldırılması İçin Gerekli Hidrolik Piston Kuvvetine bağlı Sınır Koşulları

Gerçekleştirilen bu hareket analizde, skreyperin kazan hacmi boş iken ve hidrolik pistonun kapalı olduğu durumda şasenin yani çatının sabit olduğu ve hidrolik pistonun, kazanın, mekanizma destek parçasının, kapağın, mekanizma yapısının serbest olduğu kabul edilmiştir. Serbest olan parçaların hareket etmesi yani mekanizmanın çalışma süresi boyunca hidrolik pistonun ihtiyacı olduğu itme kuvveti değişecektir. Makinenin tasarımında hidrolik pistonun stroğu 290 mm olarak tanımlanmıştır. Piston kolu üzerindeki ok ile belirtilen doğrultu boyunca çalışmaktadır. Şekil 3.20’de kazan boş iken hidrolik pistonun kuvvete başladığı durum belirtilmiştir. Şekil 3.21’de kazan içerisinde 3000 kg yük olduğu kabulü ile şematik yüklenme tarif edilmiştir.



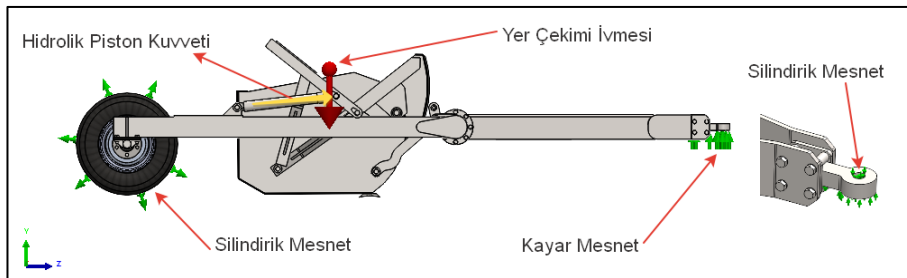
Şekil 3.20. Kazan boş iken hidrolik pistonunun kuvvete başlamadan önceki pozisyonu



Şekil 3.21. Kazan dolu iken hidrolik pistonunun kuvvete başlamadan önceki pozisyonu

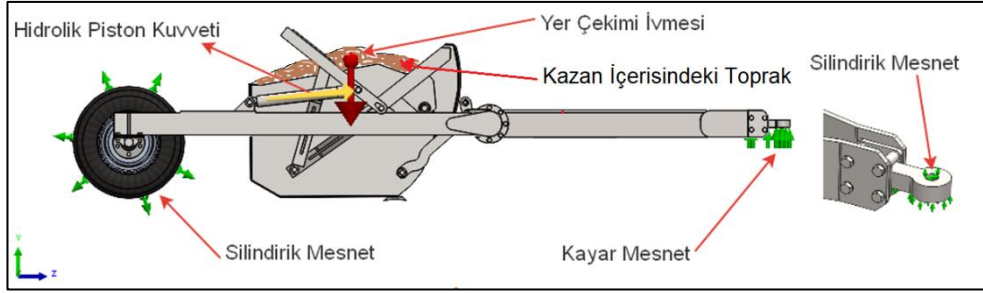
3.6.4. Skreyperin Kazan Hacmi Boş ve Dolu İken Hidrolik Pistonun Çalışması Durumundaki Sınır Koşulları

Yapılan bu analizde, skreyperin kazan hacmi boş veya yüksüz ve yerçekimi etkisi 9.81 m/s^2 kabul edilerek hidrolik pistonun mekanizmayı çalıştırdığı andaki yapısal etkisi incelenmiştir. Bu durumda hidrolik pistonun kapalı iken çalışmaya başladığı ilk anda kazan bir mekanizma yapısı yardımı ile kaldırılmaya çalışmış devamında yapısal etkiler meydana gelmiştir. Skreyperin bu işlemleri yaparken dingil tertibatındaki tekerine ve çeki yeri deliğine silindirik, çeki yerindeki alt yüzeyine ise kayar mesnet tanımlanmıştır. Şekil 3.22’de bu etkilere neden olan koşullar ve hidrolik pistonun etki ettiği sarı ok ile yönü belirtilen kuvvet gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Skreyperin boş kazan hacmiyle hidrolik pistonun etkisi altındaki sınır koşulları

Yapılan bu analizde, skreyperin kazan hacmi boş iken hidrolik pistonun çalışması durumundaki tüm sınır koşullarına ek kazan içerisinde bulunan toprağın da kütlesi 3000 kg olarak kabul edilmiştir. Uygulanan koşullar Şekil 3.23’te belirtilmiştir.



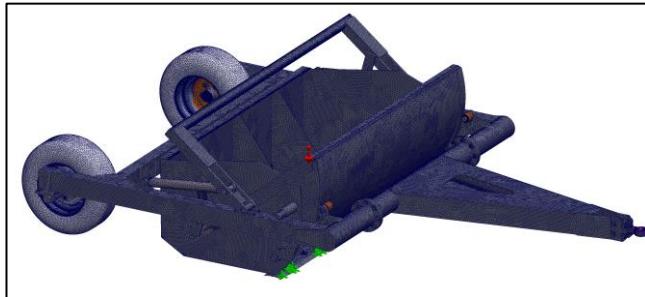
Şekil 3.23. Skreyperin dolu kazan hacmiyle hidrolik pistonun etkisi altındaki sınır koşulları

3.6.5. FEA için FE Modelinin (Ağ örgüsü-Mesh Yapısı) Oluşturulması

FE modelleri, SolidWorks Simulation yazılımı içerisinde elemanlara bölme (Ağ örgüsü-Meshing) işlemleri bölümünde model detayları dikkate alınarak değerler tanımlanmış ve sonlu eleman modeli otomatik olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan FEA'larda uygulanan ağ örgüsü parametreleri Şekil 3.24, skreyperin FEA sonlu eleman modeli ise Şekil 3.25'te gösterilmiştir. Tanımlanan sonlu eleman modeli maksimum eleman boyutu 15 mm, minimum eleman boyutu 1 mm ve eğrilik tabanlı ağ örgüsü yapısı ile oluşturulmuştur. Bu ağ örgüsü özellikleri yapılan tüm FEA analizlerinde eşdeğer girdi olarak tanımlanmıştır.

Mesh Details	
Study name	Static 1 (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Max Element Size	15 mm
Min Element Size	1 mm
Mesh quality	High
Total nodes	4714216
Total elements	2681721
Maximum Aspect Ratio	211.25
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	94.8
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.0505
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:02:04
Computer name	

Şekil 3.24. Skreyper FEA'de uygulanan sonlu eleman modeli özellikleri



Şekil 3.25. Skreyperin FEA sonlu eleman modeli

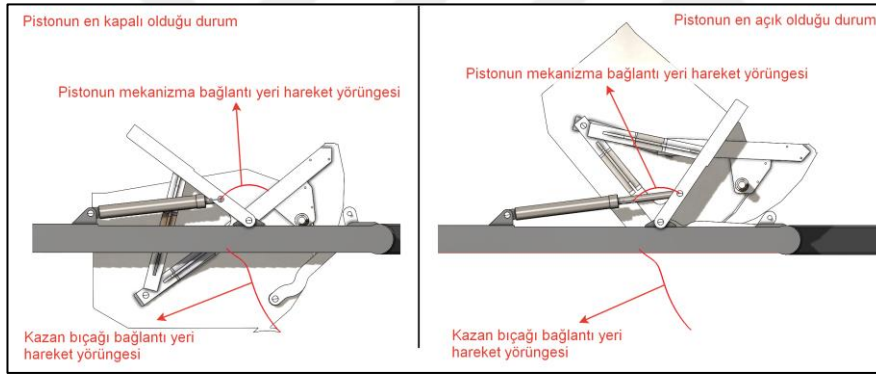
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. FEA Senaryoları Çözüm İşlemleri ve Analiz Çıktıları

Tanımlanan FEA senaryoları için temel FEA uygulama adımları tamamlandıktan sonra çözüm işlemleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucu; mekanizma hareket analizi çıktıları, deformasyon davranışları ve gerilme değerleri, ilgili elemanlar için güvenli çalışma katsayısı (emniyet katsayısı) hesaplamaları, gerekli hidrolik piston kaldırma kuvvetin mekanizmaya etkisinin sonuçları incelenmiştir.

4.1.1. Hidrolik Piston ile Çalışan Mekanizma Yapısının İncelenmesi

Skreyperin kazıma, toprak taşıma ve boşaltma işlemleri mekanizma desteğinin hidrolik piston etkisine dayalı hareketleri ile birbirlerine bağlanmaktadır. Yapılan hareket analizinde skreyper kazan mekanizmasının hareketinin belirtildiği yörüngelerin olduğu çizgiler hidrolik piston ve kazan bıçağı referans alınarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



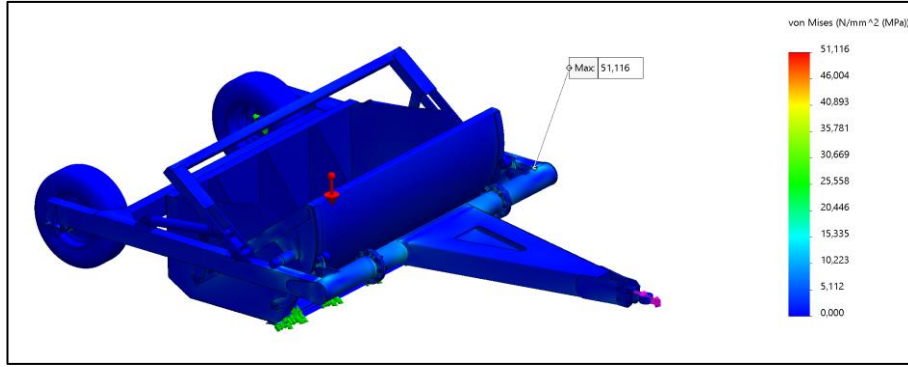
Şekil 4.1. Skreyperin kazan mekanizmasının kazımadan boşaltmaya kadar olan hareketi

4.1.2. Skreyperin Gerilme Analizleri, Deformasyon Davranışları ve Güvenlik Faktörleri (FOS) Çıktılarının İncelenmesi

Skreyperin belirtilen sınır koşulları çerçevesinde yapılan analizler sonucunda gerilme, deformasyon ve güvenlik faktörleri (Factor of Safety: FOS) elde edilmiştir.

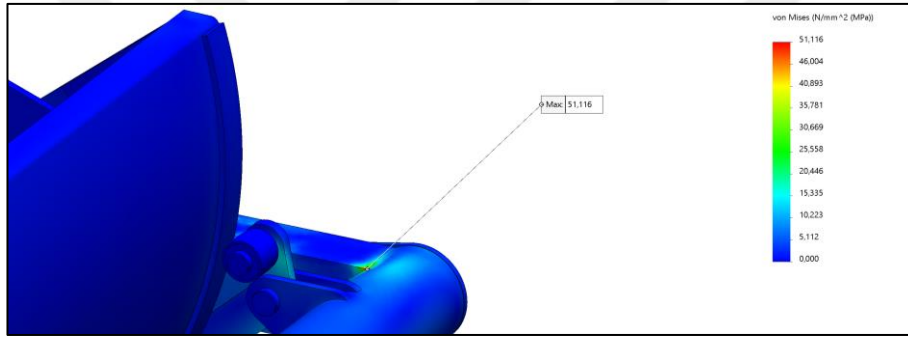
4.1.2.1. Skreyperin Kazı Durumundaki Analiz Çıktıları

Skreyper arazi tesviyesine kazı işlemi ile başlamaktadır. Bu esnada belirtilen sınır koşulları doğrultusunda elde edilen gerilme analizi sonucu Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Oluşan gerilme değeri maksimum 51.116 MPa hesaplanmıştır. Analiz sonucu çıkan gerilme değerleri malzeme sınır değeri olan akma mukavemeti değerlerinin altında güvenli olarak görülmektedir.



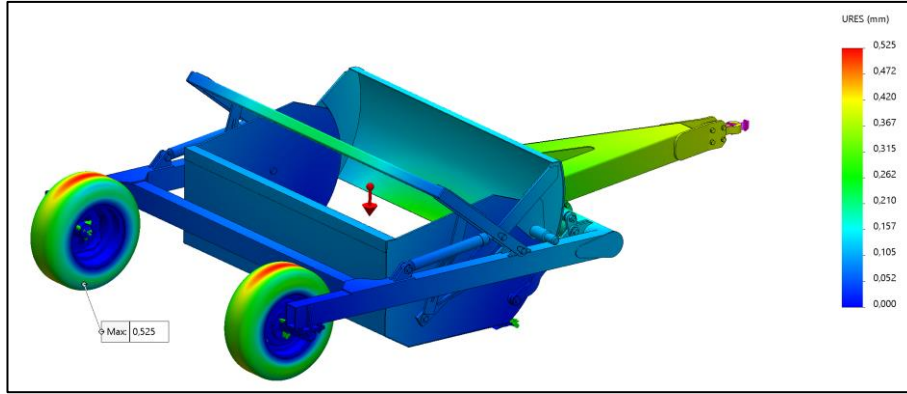
Şekil 4.2. Skreyperin kazı işlemine başlarken oluşan gerilme analizi çıktısı

Gerilme değerinin maksimum olduğu bölge makinenin şasesi üzerindeki köşe birleştirme yerine yakın kaynak bölgesinde meydana gelmiştir (Şekil 4.3).



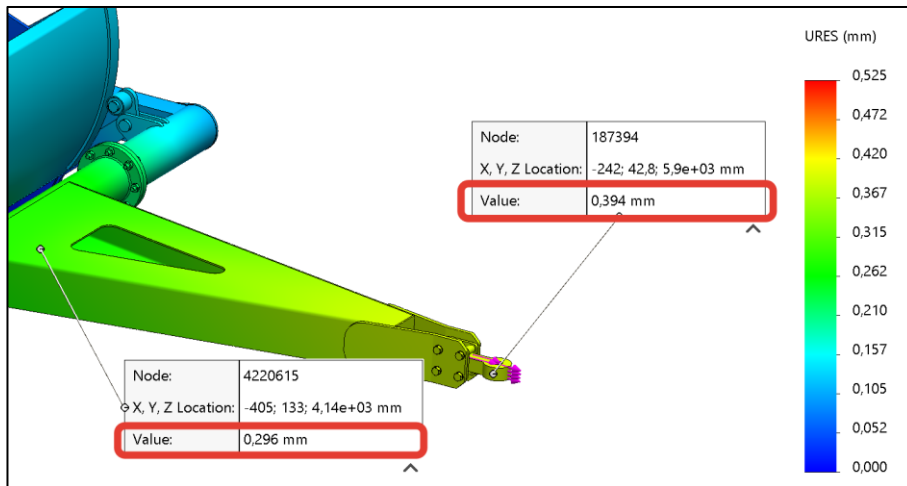
Şekil 4.3. Skreyperin kazı işlemine başlarken oluşan gerilmenin maksimum olduğu bölge

Skreyperin kazı işlemine başladığı pozisyondaki koşullar altında oluşan yüklemelere dayalı deformasyonlar meydana gelmiştir. Çıkan maksimum deformasyon değeri 0.525 mm'dir. Bu değer makine destek teker üzerindeki lastik kısmında meydana geldiği görülmektedir. Silindir mesnet sınır koşullu lastik elemanının malzemesi kauçuk olarak tanımlandığından dolayı esneklik sağlamaktadır. Dolayısı ile verilen koşullara bağlı yapılan bu analiz sonucunda maksimum değer ve genel renk skalası Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

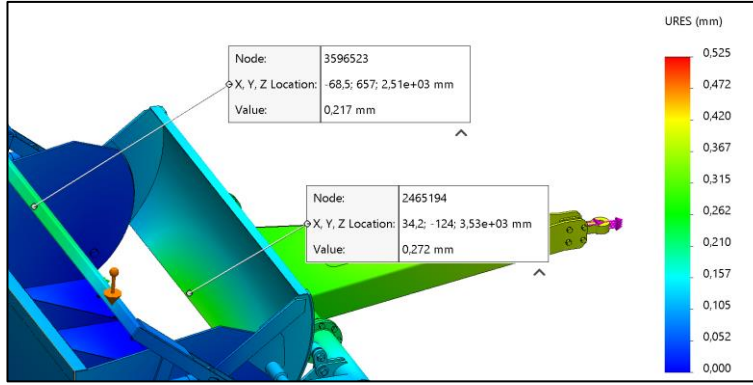


Şekil 4.4. Skreyperde kazı işlemine başlarken oluşan deformasyon sonuçları

Skreyperin kazı durumuna başlarken yapılan analizin en önemli çıktıları çelik yapıları üzerinde olan etkileridir. Çünkü yapılar üzerinde malzeme sınır değerleri altında makul veya uygun görülen değerler elde edilmesi gerekmektedir. Uygun olmayan değerler makinenin görevini yerine getirememesine veya çalışırken olumsuz ve kalıcı hasarlar meydana getirmesine neden olabilmektedir. Çelik yapılar üzerinde oluşan maksimum deformasyon değerleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da bölgesel olarak incelenmiştir. Sonuçlara göre incelenmesi gereken bölgeler çeki oku kısmı ve şasenin dingil tertibatına yakın bağlantı yapılarındadır. Bu değerlere göre makinenin çalışmasını olumsuz etkileyebilecek bir değer bulunmamaktadır.

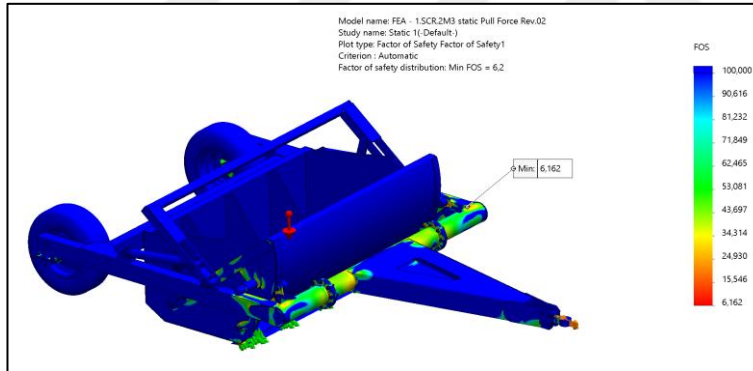


Şekil 4.5. Skreyperin kazı durumunda çeki oku üzerindeki maksimum deformasyon değerleri



Şekil 4.6. Skreyperin kazı durumunda kapak ve mekanizma yapısı üzerindeki maksimum deformasyon değerleri

Skreyperin kazı durumuna başladığı koşullardaki analiz sonucunda elde edilen güvenli çalışma katsayısı 6.162'dir ve Şekil 4.7'de bu dağılımlar gösterilmiştir. Skreyperin çalışma koşullarındaki güvenli çalışma faktörü dağılımlarını gösteren analiz çıktıları, sisteme ait yapısal elemanların hasar risk bölgeleri hakkında kritik bilgiler vermektedir.

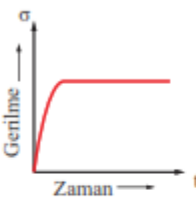
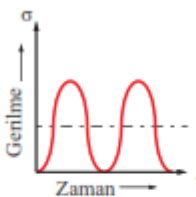
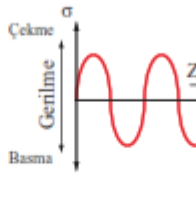
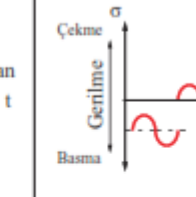


Şekil 4.7. Skreyperin kazı durumundaki güvenli çalışma katsayısı dağılımları

Skreyperin kazı durumunda açığa çıkan güvenli çalışma katsayısı değeri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Yükleme sonucu parçada meydana gelen maksimum gerilme, her zaman malzemenin akma dayanımından küçük olmalıdır. Bu oran güvenli çalışma katsayısı (Emniyet katsayısı) olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Yayla, 2001).

$$\text{Güvenli Çalışma Katsayısı (GÇK)} = \frac{\text{Malzeme Akma Noktası Gerilme Değeri}}{\text{Tasarımda İzin Verilecek Maksimum Gerilme Değeri}}$$

Güvenli çalışma katsayısı 1'den büyük hesaplanması eleman özelinde hasar riski olmadığını işaret etmektedir. Bununla birlikte bu katsayının ne ölçekte istenildiğinde karar verme süreci vardır. Katsayının düşük olduğu durumlarda hasar riski artmaktayken, katsayının yüksek olduğu durumlarda ise parça başına maliyet değerleri artabilmektedir. Bu nedenle tasarım parametreleri, sınır şartları ve yüklenme durumları dikkate alınarak uygun bir seçim yapılmalıdır. Bu katsayıların seçimleri genellikle gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen çıktılar referans alınarak yapılmaktadır (Kulaksız, 2003). Örnek olarak farklı yüklenme durumları için önerilen güvenli çalışma katsayısı değerleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

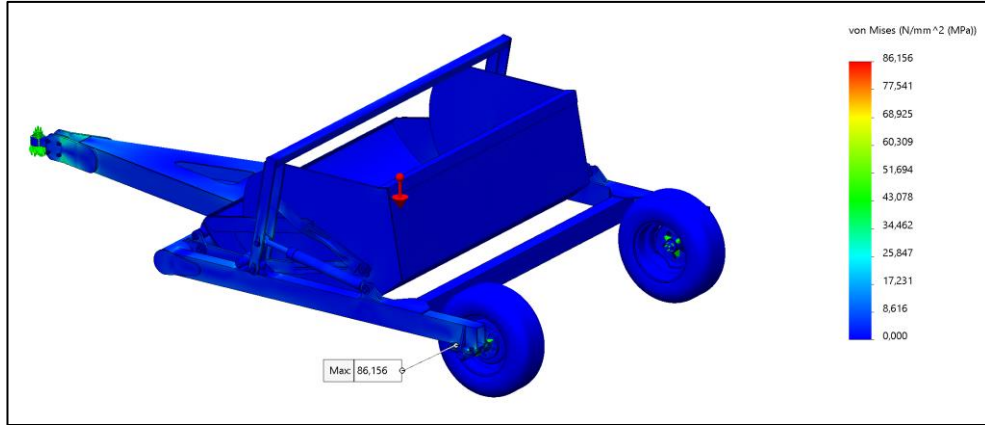
Statik Yükleme		Dinamik Yükleme			
Hareketsiz	Hareketli	Değişken		Genel Değişken	
					
Yükleme Durumu - I * Yükleme yönü ve büyüklüğü sabittir.	Yükleme Durumu - II * Yük maksimum değere çıkar ve tekrar sıfıra iner	Yükleme Durumu - III * Yük pozitif bir değer ile negatif bir değer arasında eşit şekilde değişir		Yükleme Durumu - IV * Yük herhangi bir pozitif ve negatif değerler arasında değişir	

Malzeme Çeşidi	Sünek Yapılı Malzeme			Kırılgan Yapılı Malzeme		
Yükleme Durumu	I	II	III / IV	I	II	III / IV
Emniyet Katsayısı	1.2 ~ 1.5	1.8 ~ 2.4	3 ~ 4	2 ~ 4	3 ~ 5	5 ~ 6

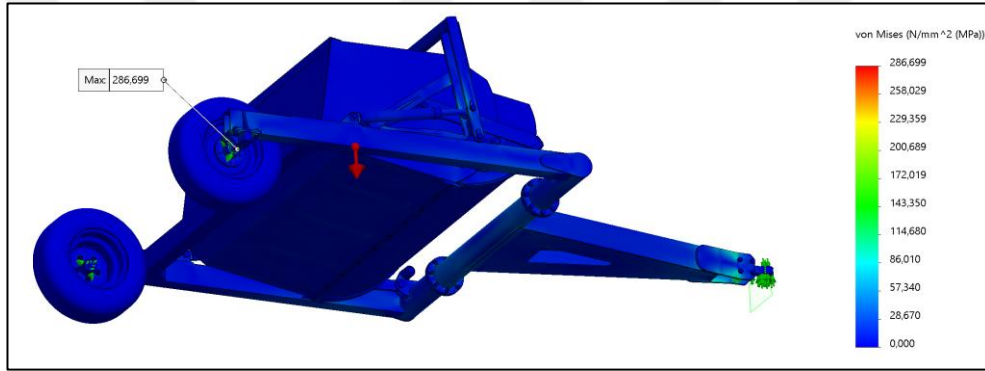
Şekil 4.8. Farklı yüklenme durumları için önerilen güvenli çalışma katsayısı değerleri

4.1.2.2. Skreyperin Kazan Hacmi Boş ve Dolu Olduğu Pozisyonlardaki Yerçekimine Dayalı Analiz Çıktıları

Skreyperin arazi tesviyesi için kazan içerisinde toprak taşıdığı pozisyonları bulunmaktadır. Bu durumda makine üzerinde yerçekimine dayalı etkiler oluşmaktadır. Fakat bu etkiler kazan dolu ve boş olarak iki farklı durumda incelenmiştir. Kazan boş iken yapılan yerçekimine dayalı gerilme analizi çıktısı Şekil 4.9'da verilmiştir ve oluşan maksimum gerilme değeri 86.156 MPa olarak şase üzerindeki dingil tertibatı bağlantısında olan cıvata üzerinde çıkmıştır. Kazan tam dolu ve yoğun bir biçimde 3000 kg yük altında yapılan yerçekimine dayalı gerilme analizi çıktısı Şekil 4.10'te gösterilmiştir ve oluşan maksimum gerilme değeri 286.699 MPa olarak destek teker tertibatına bağlı dingil üzerinde meydana gelmiştir.

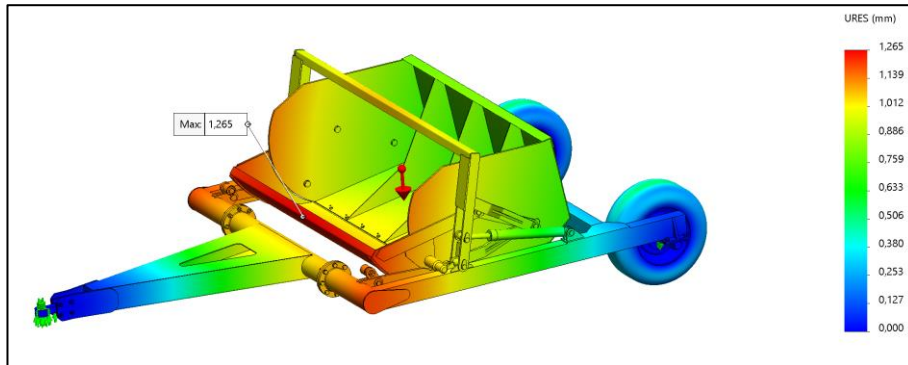


Şekil 4.9. Skreyperin kazanı boş iken elde edilen gerilme analizi çıktısı

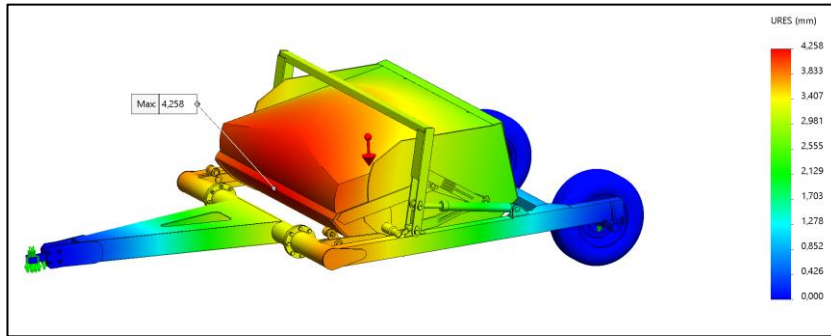


Şekil 4.10. Skreyperin kazanı dolu ve yük altında iken elde edilen gerilme analizi çıktısı

Skreyper kazan boş pozisyonunda kapak yapısının orta kısmında maksimum deformasyon 1.265 mm olarak çıkmıştır (Şekil 4.11). Yüklü olduğu pozisyonda ise yine aynı bölgede deformasyon değeri 4.258 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.12).

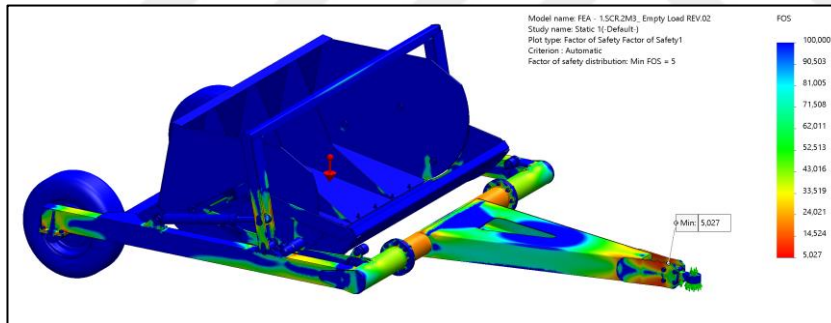


Şekil 4.11. Skreyperin kazanı boş veya yüksüz iken yerçekimine dayalı analiz sonucu elde edilen deformasyon çıktısı

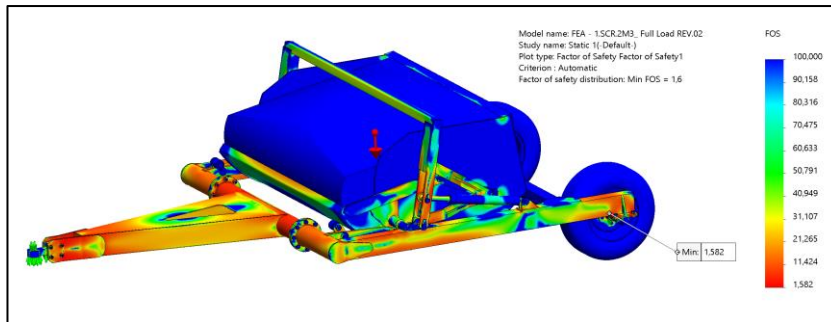


Şekil 4.12. Skreyperin kazanı dolu veya yüklü iken yerçekimine dayalı analiz sonucu elde edilen deformasyon çıktısı

Skreyperin yüksüz kazan ile yerçekimine dayalı analiz sonucunda elde edilen güvenli çalışma katsayısı 5.027'dir (Şekil 4.13). Yüklü kazan için güvenli çalışma katsayısı 1.587 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.14). Skreyperin çalışma koşullarındaki güvenli çalışma faktörü dağılımlarını gösteren analiz çıktıları, sisteme ait yapısal elemanların hasar risk bölgeleri hakkında kritik bilgiler vermektedir.



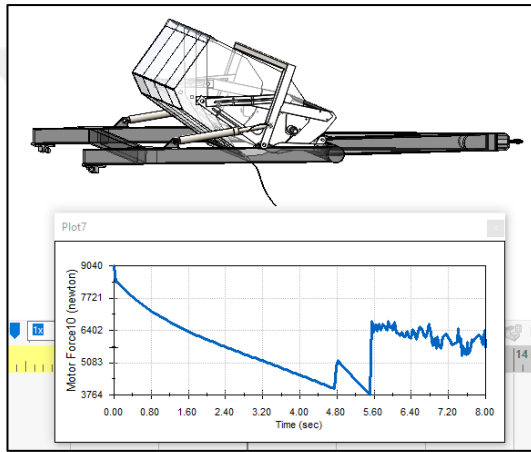
Şekil 4.13. Skreyperin boş veya yüksüz taşıma durumundaki güvenli çalışma katsayısı



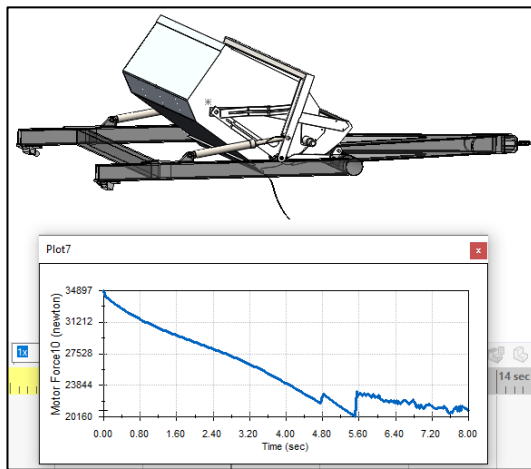
Şekil 4.14. Skreyperin dolu veya yüklü taşıma durumundaki güvenli çalışma katsayısı

4.1.2.3. Skreyperin Boş ve Dolu Hacimli Kazanın Kaldırılması İçin Gereken Hidrolik Piston Kuvvetinin Hareket Analizi Çıktısı

Skreyperin kazımadan taşımaya, taşımadan boşaltma pozisyonuna kadar geçen süreçte hidrolik pistonun mekanizmaya uyguladığı değişken bir kuvvet vardır. Bu değişken kuvvet hareket analizi olarak SolidWorks Motion ortamında kazanın boş ve dolu olduğu pozisyonlarda kuvvet analiz edilmiştir. İki adet piston skreyper şase üzerinde sağ ve sol tarafta simetrik olarak bağlanmıştır. Şekil 4.15'te kazanın boş olduğu pozisyonda program üzerinde her bir hidrolik piston lineer tahrik kuvveti hesaplanmıştır. Şekil 4.16'da ise kazanın dolu olduğu durumdaki piston lineer tahrik kuvvet dağılımları çıktısı gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Skreyper üzerindeki hidrolik pistonlardan bir tanesinin kazanın boş olduğu pozisyonda hareket analizine dayalı gereken kuvvet dağılımı

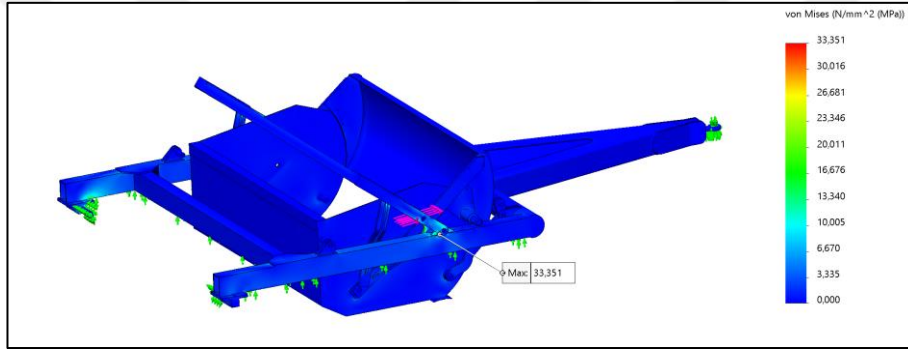


Şekil 4.16. Skreyper üzerindeki hidrolik pistonlardan bir tanesinin kazanın 3000 kg materyal ile dolu olduğu pozisyonda hareket analizine dayalı gereken kuvvet dağılımı

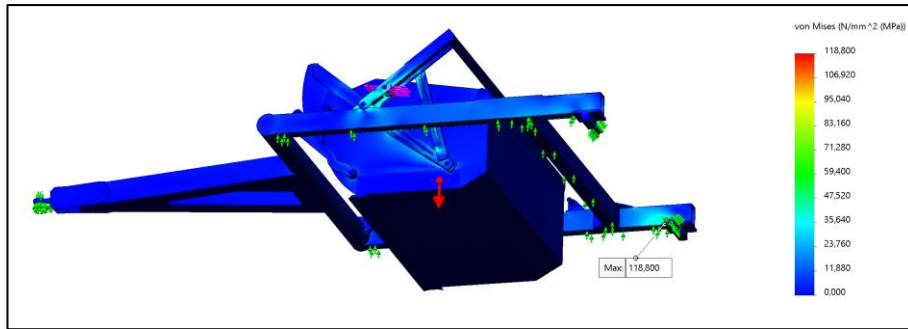
Analiz sonucuna göre kazan boş iken hidrolik pistonlardan bir tanesinin mekanizmaya uygulaması gereken maksimum kuvvet 9040 N, kazan yüklü iken 34897 N'dur.

4.1.2.4. Skreyperin Boş ve Dolu Hacimli Kazanın Kaldırılması İçin Gereken Hidrolik Piston Kuvveti Uygulamasıyla ve Yerçekimine Dayalı Analiz Çıktıları

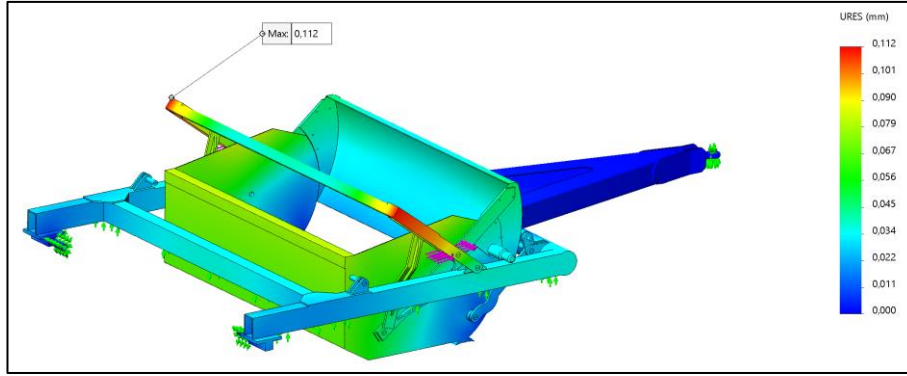
Skreyperin mekanizmaya uyguladığı kuvvete ve yerçekimine dayalı bir FEA analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucu belirlenen sınır şartlarına göre kazan boş iken Şekil 4.17, dolu iken Şekil 4.18'de sistem üzerinde oluşan gerilmeler gösterilmiştir. Bu gerilmelere dayalı oluşan deformasyonlar ise kazan boş iken Şekil 4.19, dolu iken Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.21'de kazan boş iken ve Şekil 4.22'de kazan dolu iken elde edilen güvenli çalışma katsayısı skalası belirtilmiştir.



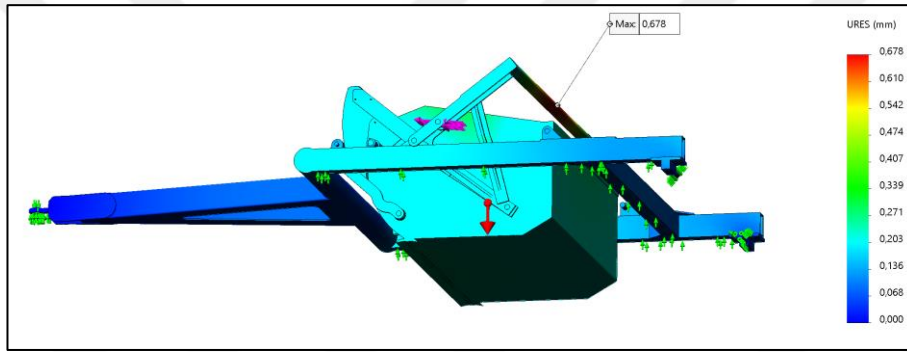
Şekil 4.17. Skreyperin kazanı boş iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı gerilme çıktısı



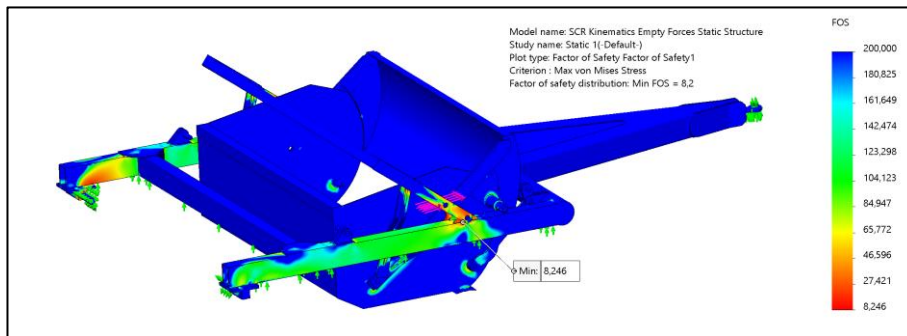
Şekil 4.18. Skreyperin kazanı dolu iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı gerilme çıktısı



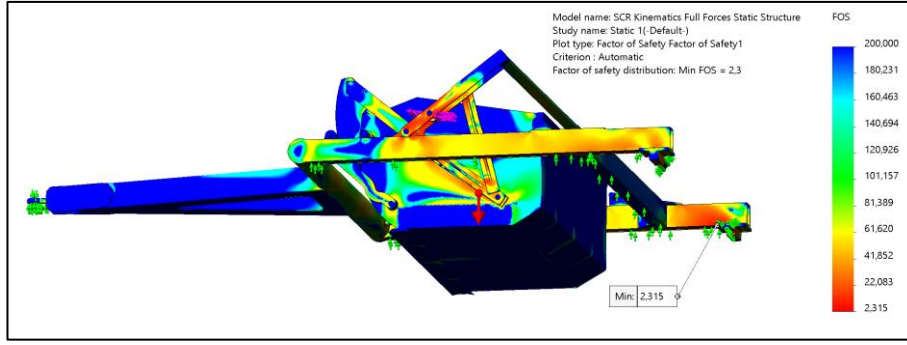
Şekil 4.19. Skreyperin kazanı boş iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı deformasyon çıktısı



Şekil 4.20. Skreyperin kazanı dolu iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı deformasyon çıktısı



Şekil 4.21. Skreyperin kazanı boş iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı güvenli çalışma katsayısı çıktısı



Şekil 4.22. Skreyperin kazanı dolu iken hidrolik piston kuvveti ve yerçekimine dayalı güvenli çalışma katsayısı çıktısı

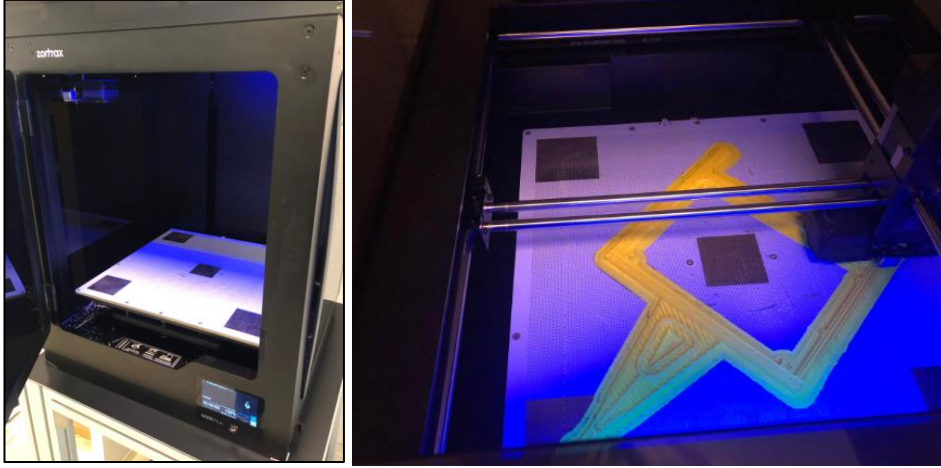
Tüm FEA sonuçlarındaki güvenlik faktörü değerleri (FOS) 1'in üzerinde çıktığı için makine üzerindeki malzemelerde hasar oluşmadığı sonucuna varılmıştır. Güvenlik faktörü değerleri aynı zamanda güvenli çalışma katsayısı olarak da tanımlanmaktadır.

4.2. Skreyperin Katmanlı İmalat Yöntemi ile 3D Hızlı Prototip Uygulaması

Mekanizma ve yapısal elemanları somut olarak incelemek için skreyperin bilgisayar ortamındaki 3D parametrik katı modeli üzerinden Zortrax M300 Plus model 3D yazıcıda hızlı katmanlı imalat yöntemi ile 1:15 ölçekli bir modeli oluşturulmuştur. Bu model tüm alt parçaları dahil yaklaşık 2 gün sürmüştür. Şekil 4.23'de makinenin 1:15 ölçeğinde imal edilen hızlı prototip örneği gösterilmiştir. Şekil 4.24'te ise makinenin hızlı prototipleme ile imal edildiği 3D FDM katmanlı imalat cihazı (Zortrax M300 Plus) gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Skreyperin 1:15 ölçeğinde imal edilmiş hızlı prototip örneği



şekil 4.24. Skreyperin 3D FDM katmanlı imalat cihazı

4.3. Skreyper Tasarım Analizi Sayısal Çıktılarının Değerlendirilmesi

Skreyper için kurgulanan çalışma koşulu senaryo analizleri başarı ile tamamlanmış ve mukavemet tasarım kriterlerinin değerlendirilmesine yardımcı olacak sayısal çıktıları elde edilerek Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

Bu çıktıları dikkate alındığında, Skreyper analiz senaryoları için nihai değerlendirme sonucu olarak: skreyperin ilgili elemanlarına ait çalışma koşullarındaki beklenmedik ve önceden tahmin edilemeyen dinamik koşulları içeren, gerçek çalışma koşullarının simüle edilmesinde ortaya çıkabileceği değerlendirilen kısıtlar, simülasyon yöntemi yaklaşımı, bu yaklaşım çerçevesinde kısıtları aşmak amacıyla atanan mecburi varsayımlar/kabuller, analiz çözüm platformu kapasitesi ve skreyper için elde edilen yapısal gerilme değerleri ve deformasyon davranışında herhangi bir anormallik görülmemesi dikkate alınarak, skreyper için hazırlanan tüm analiz senaryolarının kabul edilebilir doğrulukta kurgulandığı, çıktıların tatmin edici derece tasarım imalat onayı verebilecek sınırlar içerisinde olduğu kanısına varılmış ve Skreyperin mukavemete dayalı gerçekleştirilen tasarım çıktıları onaylanmıştır.

Çizelge 4.1. Skreyper tasarım analizi sayısal çıktıları

<i>Analiz Senaryosu</i>	<i>Kuvvet (N)</i>	<i>Maksimum Yer Değiştirme (mm)</i>	<i>Maksimum Yer Değiştirmenin Hesaplandığı Elemanlar</i>	<i>Maksimum Eydeğer Gerilme (MPa)</i>	<i>Maksimum Eydeğer Gerilmenin Hesaplandığı Elemanlar</i>	<i>Minimum Güvenli Çalışma Katsayısı</i>	<i>Minimum Güvenli Çalışma Katsayısının Hesaplandığı Elemanlar</i>
Senaryo-1: Kazıma anındaki çeki kuvvetine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)	-	0.525	Lastik teker	51.116	Ana şase	6.162	Ana şase
Senaryo-2: Boş kazan taşıma durumunda yer çekimine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)	-	1.265	Kapak	86.156	Cıvata	5.027	Çeki oku şase
Senaryo-3: Dolu kazan taşıma durumunda yer çekimine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)	-	4.258	Kapak	286.699	Dingil mili	1.587	Dingil mili
Senaryo-4: Kazanın hareketine etki eden hidrolik piston mekanizmasının hareket yörünge analizi	-	-	-	-	-	-	-
Senaryo-5: Boş kazan ile mekanizma çalışması için gerekli hidrolik piston kuvvet analizi (Motion)	9040	-	-	-	-	-	-
Senaryo-6: Dolu kazan ile mekanizma çalışması için gerekli hidrolik piston kuvvet analizi (Motion)	34897	-	-	-	-	-	-
Senaryo-7: Boş kazan ile mekanizma çalışmaya başladığı andaki hidrolik piston kuvvetine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)	-	0.112	Mekanizma yapısı	33.351	Ana şase menteşe bağlantı noktası	8.246	Ana şase menteşe bağlantı noktası
Senaryo-8: Dolu kazan ile mekanizma çalışmaya başladığı andaki hidrolik piston kuvvetine dayalı sonlu elemanlar analizi (FEA)	-	0.678	Mekanizma yapısı	118.800	Ana şase	2.315	Ana şase teker bağlantı noktası

5. SONUÇLAR

Tarım alet ve makineleri tasarım ve imalat sektöründe büyük ölçekli ve kurumsal yapılara sahip sınırlı sayıda işletme bulunmaktadır. Bunların dışında kalan işletmeler küçük veya orta ölçekli işletmelerdir. Bu işletmeler mukavemete dayalı bilgisayar destekli ürün tasarımı ve imalatı özelinde ileri tasarım, mühendislik ve imalat teknolojilerinden yeterince yararlanmamaktadırlar. Özellikle ülkemizde tarım alet ve makineleri tasarım ve imalatı konularında ileri düzey bilgisayar destekli tasarım, mühendislik ve hızlı prototipleme uygulamaları sınırlı düzeyde kalmaktadır.

Çalışma özelinde odaklanılan konu mukavemete dayalı makine tasarımı yaklaşımıdır. Tez özelinde ele alınan tip makinelerin toprak işleme sırasında yüksek reaksiyon kuvvetleri altında çalıştığı ve tüm makine elamanlarının bu kuvvetler altında tekniğine uygun şekilde tasarlanmadıklarında yapısal hasara uğradıkları sıklıkla görülmektedir. Bu nedenle bu tip makinelerin tasarımında ilgili yüklere karşı her bir elemanın mukavemet hesaplamaları esas alınarak değerlendirme yapılması makinenin kendisinden istenilen fonksiyonları hasar almadan ve tasarım amacına uygun şekilde yerine getirmesi açısından önem arz etmektedir. Gerçekleştirilen bu yüksek lisans tez çalışmasında, mukavemete dayalı bilgisayar destekli tasarım konusunda örnek bir araştırma yürütülmüş, parametrik 3D katı modelleme, sayısal yöntem temelli analizler ve katmanlı imalat yöntemi temelli ölçekli prototip değerlendirmeleri yapılmıştır.

Çalışma detayında, genel yüklenme analizlerine ek olarak, ele alınan hidrolik etkili toprak kazı makinesinin üzerinde bulunan mekanizma yapısı için hareket analizi yapılarak makinenin üzerinde bulunan mekanizma sisteminin çalışma şekli çıkartılmıştır. Bu çalışma şekillerine göre sonlu elemanlar analizleri mekanizma özelinde gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte makinenin katmanlı imalat yöntemi ile 1:15 ölçeğinde PLA malzemeden hızlı prototipi hazırlanarak mekanizma ve yapısal elemanların montaj hareket ve geometrik uyumunun somut olarak incelenmesi sağlanmıştır. Tüm bu analizler ile elde edilen gerilme, deformasyon değerleri ve prototip değerlendirmeleri neticesinde makinenin imalatının uygun olduğu ortaya çıkmış ve 1:1 ölçekli nihai imalat için makineye ait her bir elemanın teknik/imalat resimleri hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasına konu olan hidrolik etkili toprak kazı makineleri ile ilgili tarım makineleri alanında, ülkemizde hazırlanmış, mukavemete dayalı bir makine tasarım çalışmasına rastlanılmamıştır. Gerçekleştirilen literatür incelemesinde bu tip bir makine ile ilgili Amerika Birleşik Devletleri'nde geçmiş yıllarda patent çalışmaları yapıldığı görülmüştür. Bununla birlikte bitkisel üretim alanlarının hazırlığında kullanılan benzer makinelerin imalatının ülkemizde yapıldığının bilinmesine rağmen bu tez çalışması özelinde ele alınan makine için akademik çalışmalar da yok denecek düzeydedir. Özellikle küçük ölçekli işletmelerinin odağında, tarımsal arazi tesviyeleri için bu makinenin kullanımı işletmeler için oldukça avantajlı ve ulaşılabilir olmaktadır. Bu bağlamda bu tez çalışması özelinde tasarlanan bu makine, motor gücü 40-120 BG aralığında olan tarım traktörleri ile verimli bir şekilde kullanılabilecek düzeydedir.

Bunlara ek olarak bu tez çalışmasında bu tip toprak işleme aletleri grubunda yer alan tarım alet ve makine tasarımlarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi süreçlerine, ilgili imalat sektörü çalışanlarına ve araştırmacılara katkıda bulunabilecek, yol gösterici bir uygulama örneği sunulmuştur.



6. KAYNAKLAR

- Akdeniz, M. 2015. Küçük kapasiteli elektrikli kendi yürür yem karma ve dağıtma makinesinin bilgisayar destekli tasarımı. Yüksek lisans tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- Ashland Industry, 2016. <https://ashlandind.com/wp-content/uploads/2017/05/25CS-Brochure-5-3-17.pdf/> [Son erişim tarihi 12.05.2022].
- Bilgin, N. 2019. Mekanizma tekniği ders notu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü. 34 ss.
- Brown, N.H., Gerein, M.A., Kushwaha, R.L., 1989. Cultivator Design Modifications Using Finite Element Analysis. *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 5(2) 148-152. American Society of Agricultural Engineering, St. Josep.
- Can, 2021. Damperli kamyonların üst yapı şasi tasarımı ve sonlu elemanlar analizi. Yüksek lisans tezi. Bingöl Üniversitesi. Bingöl.
- Childs, P.R.N. 2004. *Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 373 p.
- Chua, Chee Kai. 2003. *Rapid prototyping principles and applications* ingapur World Scientific Publishing Co. 981-238-117-1.
- ÇELİK H. K., TOPAKCI M., ÇANAKCI M., AKINCI İ. 2008. Structural strenght analysis of a subsoiler with finite elements method. 5th Intenational Soil Congress ISTRO-2008, Bruno, Çek Cumhuriyeti, cilt.1, ss.15-21.
- Çelik vd., 2018, Finite Element Analysis of a PTO Shaft Used in an *Agricultural Tractor*. *Ergonomics International Journal*. 2(3), 1–6 (2018).
- Çelik, H.K. 2006. Dişli pompalarda dişli çark ve pompa gövdesinin sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizi. Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 122 s.
- Çelik, H.K. 2013. Tarım makineleri tasarımında yapısal optimizasyon tekniklerinin uygulanması üzerine bir araştırma: Tamburlu çayır biçme makinesi. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 234 ss.
- Çelik, H.K., Rennie A. E. W., AKINCI İ., 2017. Design and structural optimisation of a tractor mounted telescopic boom Crane. *Journal of the Brazilian society of mechanical sciences and engineering*, cilt.39, sa.3, ss.909-924, 2017.
- Çelik, H.K., Topakçı, M., Yılmaz, D. and Akıncı, I. 2007b. Çizelin yapsal ve işlevsel elemanlarında sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet analizi. *Tarım Makinaları Dergisi*, 3 (2): 111-116.

- Çetinkaya, C. 2011. Klasik bir biçerdöverin sarsak mekanizmasının sonlu elemanlar yöntemi ile kinematik analizi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi.
- Değirmencioğlu, E., A., Çakır, Ark., 1998. Pulluk Çatılarında Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme Analizi. Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi, Tekirdağ.
- Dilik, T. 2005. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. Seri B, cilt 55, sayı 2.
- Doğan, G. 2021. Havalimanı yolcu köprülerinde kullanılan uçak temas körüklerinin geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara. 59 ss.
- Douglass W. S. 1977. Scraper Vehicle. Foreign patent document. No: 4,062,136 .Thief River Falls, Minn.
- Gebhardt, A. 2011. Understanding additive manufacturing. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Munich, 168 p.
- Gültekin Yıldız, İ.İ. 2019. Traktörlerde kullanılan 3 nokta askı sistemi mekanizmasının optimizasyonu ve modellenmesi. Yüksek lisans tezi, gazi üniversitesi FBE, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, ss 113.
- Güngör, Y. ve O. Yıldırım 1987. Tarla sulama sistemleri kitabı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi. 350s.
- <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=134&locale=tr/> [Son erişim tarihi: 01.02.2021].
- [https://www.solidworks.com/sw/images/content/Training/SIM_Motion_Understanding Motion_WP_ENG.pdf/](https://www.solidworks.com/sw/images/content/Training/SIM_Motion_Understanding_Motion_WP_ENG.pdf/) [Son erişim tarihi: 11.06.2022]
- <https://www.hamitarslan.com/teknik-resim.html/> [Son erişim tarihi: 22.05.2022].
- <https://www.ilgitarim.com/en/urun-scraper/83/> [Son erişim tarihi: 22.05.2022].
- <https://www.imcscrapers.com/> [Son erişim tarihi: 22.05.2022].
- ISO 6485:1980, Earth-moving machinery Tractor-scraper Volumetric rating.
- ISO 7133:2013, Earth-moving machinery Scrapers Terminology and commercial specifications. 3s.
- ISO 730:2009/Amd 1:2014, Agricultural wheeled tractors-Rear-mounted three-point linkage-Categories 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N and 4-AMENDMENT 1
- İrşel, G. 2013. Lazer kontrollü bir iş makinesinin geliştirilmesi ve otomasyonu. Doktora tezi, Trakya Üniversitesi, Trakya.

- İrsel, G. ve Tahir Altınbalık, M. 2018. Adaptation of Tilt adjustment and tracking force automation system on a laser-controlled land leveling machine. Trakya University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Turkey.
- K. Helming, M. J. M. Romkens, and S. N. Prasad, 1998. Surface roughness related processes of runoff and soil loss: a flume study. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:243-250.
- Karagöz, S. 2007. Mukavemet. Adnan Menderes Üniversitesi, AYYO Yayınlar ders Notu No: 01. 50 s.
- Keçecioglu, G., Gülsoylu, E. 2005. Tarım traktörleri kitabı. Ege Üniversitesi Yayınları, Ziraat Fakültesi Yayın No: 565. 65 ss.
- Kocatürk, T. 2007. Mukavemet ders notu. Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1 s.
- Kulaksız, Ö. 2003. Metal Mesleğinde Tablolar. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınlar, İstanbul, 300 pp.
- Kunt, G. 2019. Tarım makineleri tasarımı ve imalatında katmanlı imalat teknolojilerinin kullanılabilirliği ve adaptasyonu üzerine bir araştırma: plastik malzeme esaslı bazı bağlantı elemanlarında hızlı prototipleme örneği. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 29 s.
- Kütük, M.A. ve Özaraç, E. 2015. ÇALIŞMA YÜKLERİ ALTINDA MODEL OLARAK GELİŞTİRİLEN İŞ MAKİNESİNİN ÖN ATAŞMANIN ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU. XIX. ULUSAL MEKANİK KONGRESİ. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- MEB, 2013. Arazi Temizleme-Toprak Tesviye Alet ve Makinelerinin Ayarları ve Kullanımı. Ankara.
- MEGEP, 2015. Tarım arazi tesviye alet ve makineleri. Ankara.
- MEGEP. 2015. Toprakta fiziksel analizler. Ankara.
- Narayan, K. Lalit (2008). Computer Aided Design and Manufacturing. New Delhi Prentice Hall of India. s. 3. ISBN 978-8120333420.
- Nath, B. 1974. Fundamentals of Finite Elements for Engineers. Athlone Press, USA, 256 p.
- Norton, R.L. 2006. Machine Design-An Integrated Approach. 3rd Ed. PearsonPrentice Hall Publication, USA, 983 pp.

- Olgun, R. ve Yılmaz, T. 2014. Peyzaj mimarlığında bilgisayar destekli tasarım ve tasarım aşamaları. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 3, Sayı 1, (2014), 48-59.
- Önal, İ. 1991. Meliorasyon Makinaları Kitabı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Patel vd. 2013. Structural analysis of truck chassis frame and design optimization for weight reduction. *International Journal of Engineering and Advanced technology*, p. 665-668.
- Sabancı, A., Akıncı,İ. 2012. Tarım traktörleri kitabı. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Safa N. Hamad and Ahmed M. Ali, 1990. Land grading design by using nonlinear programming. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 116, No. 2, March/April, 1990. ©ASCE, ISSN 0733-9437/90/0002-0219/\$1.00 + \$.15 per page. Paper No. 24554.
- SolidWorks CAD 2021 Material library.
https://help.solidworks.com/2019/english/SolidWorks/cworks/t_library_material_creating.htm/ [Son erişim tarihi 22.05.2022].
- Srinivasa L. Reddy, Associate Member, ASCE, 1996. Optimal Land Grading Based on Genetic Algorithms. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol 122, No. 4,.
- Stanley K., S. 2008. Skid steer scraper. Patent no: US 7.454,850 B2. IA, US.
- Şahin, A., Aslantaş, B., Güleç, U. 2018. ültivatör Kazayağı Uç Demirlerinin Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) İle Mukavemet Özelliklerinin Belirlenmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*.
- Şen ve Özçilingir,2007 Teknik Resim Temel Bilgiler. DEHA yayıncılık, İstanbul.
- Tezer, E. ve Güzel, E., 1993. Meliorasyon kitabı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Tufan, H., B. 2021. Redüktörlü dc motor ile yönetilen 6 eksen hareketli uçuş simülatörünün tasarımı, analizi ve uygulaması. Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli. 20 ss.
- Understanding Motion Simulation.
- Uzunoglu, 2006. Kardan şaftının geometrik modellenmesi ve sonlu elemanlar analizi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Yayla, P. 2001. Cisimlerin mukavemeti (teori ve çözümlü problemler). Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 375 ss.

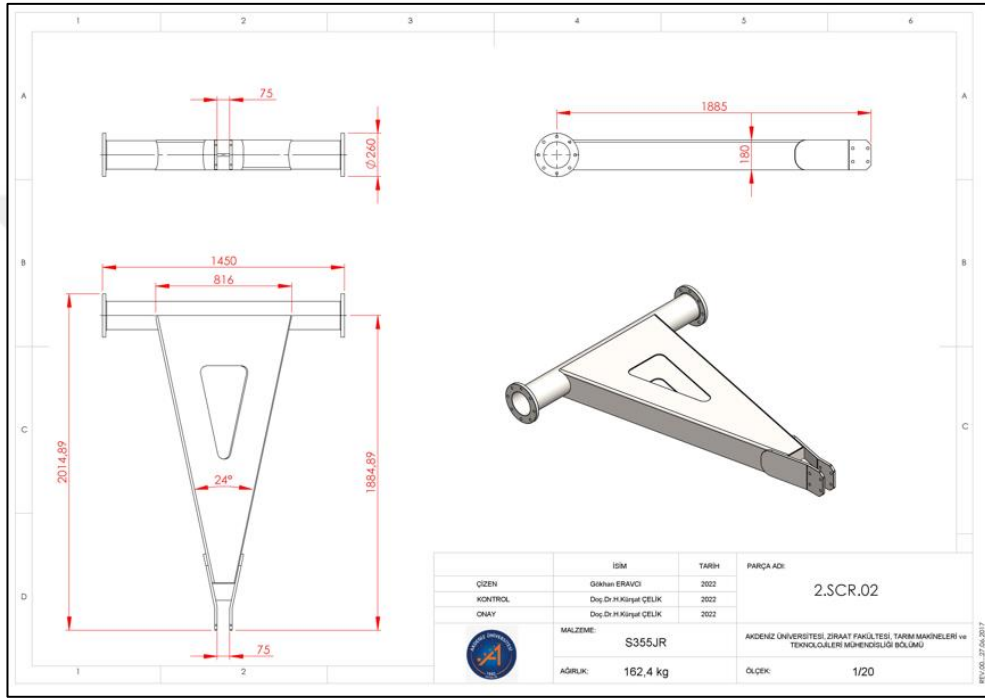
- Yeter, E. 2009. Improvement of Backhoe-Loader Back and Front Arms, Master Thesis, Mechanical Engineering University of Gaziantep.
- Zhang, J. and Jung Y.G. 2018. Additive manufacturing: materials, processes, quantifications and applications, Cambridge, MA (USA): Butterworth-Heinemann.



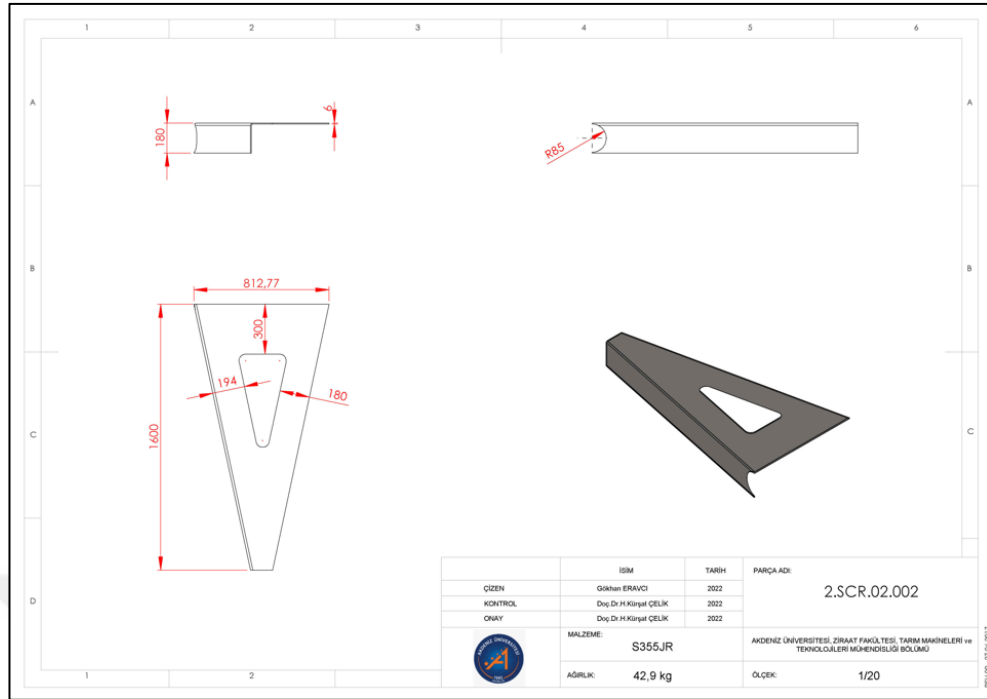
7. EKLER

7.1. Skreyperin İmalat Teknik Resimleri

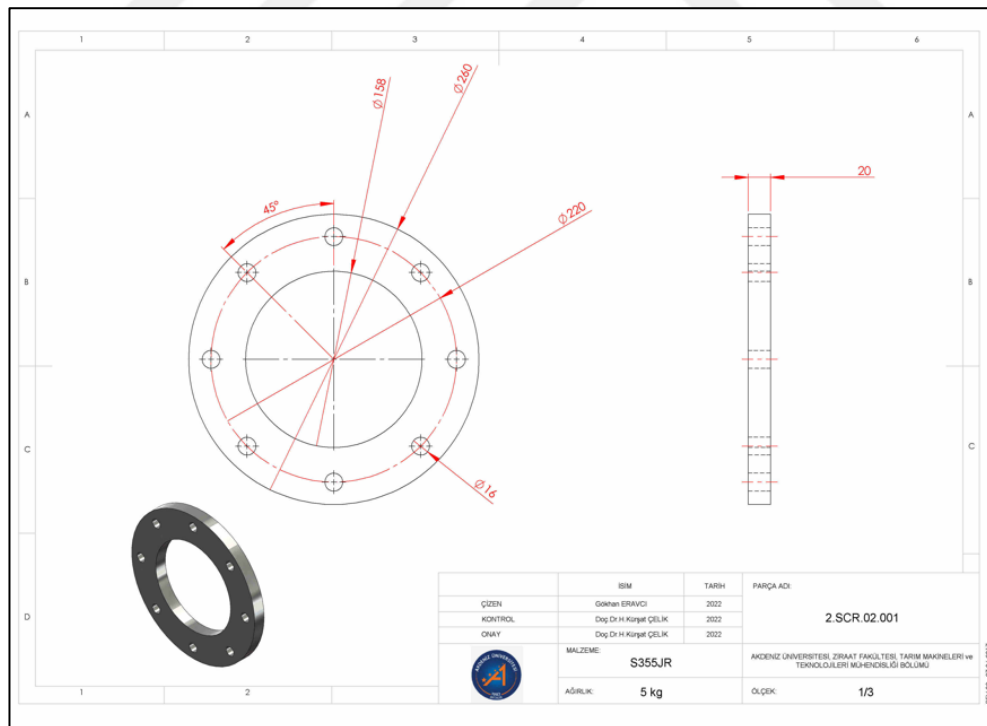
Makinenin nihai tasarımı onaylandıktan sonra makineyi oluşturan temel elemanların teknik/imalat resimleri hazırlanmıştır. Bu elemanlar alt montaj olarak çeki oku, çeki yeri, ana şase, kazan, kapak, mekanizma yapısı ve dingil milidir. Verilen eklerde bu alt montajlar elemanları imalat resmi tekniğine uygun şekilde boyutlandırılmıştır.



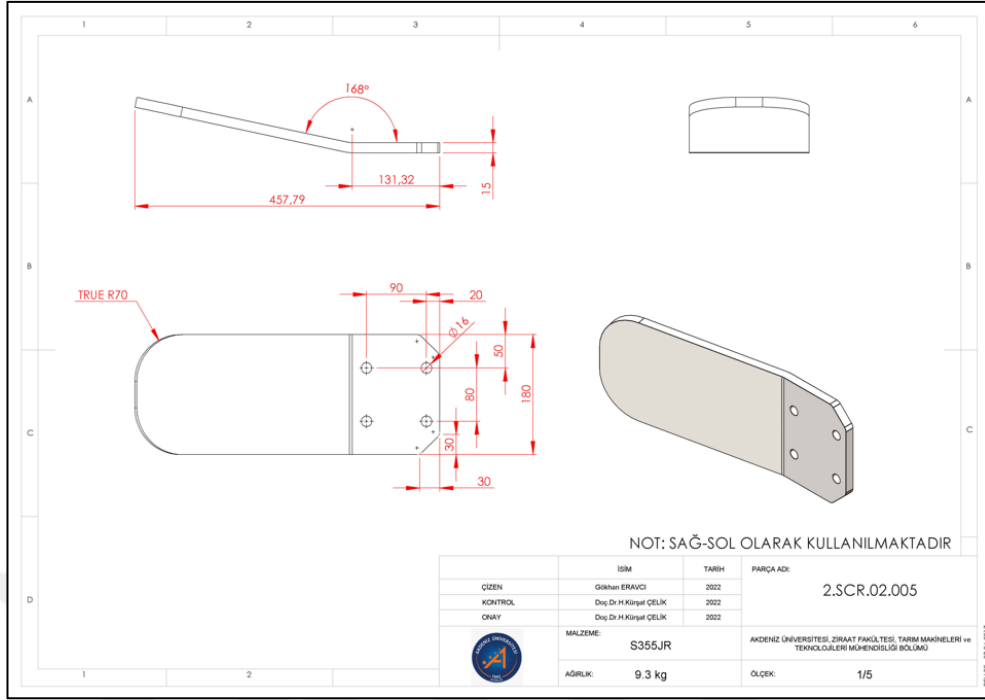
Şekil 7.1. Çeki oku yapısı



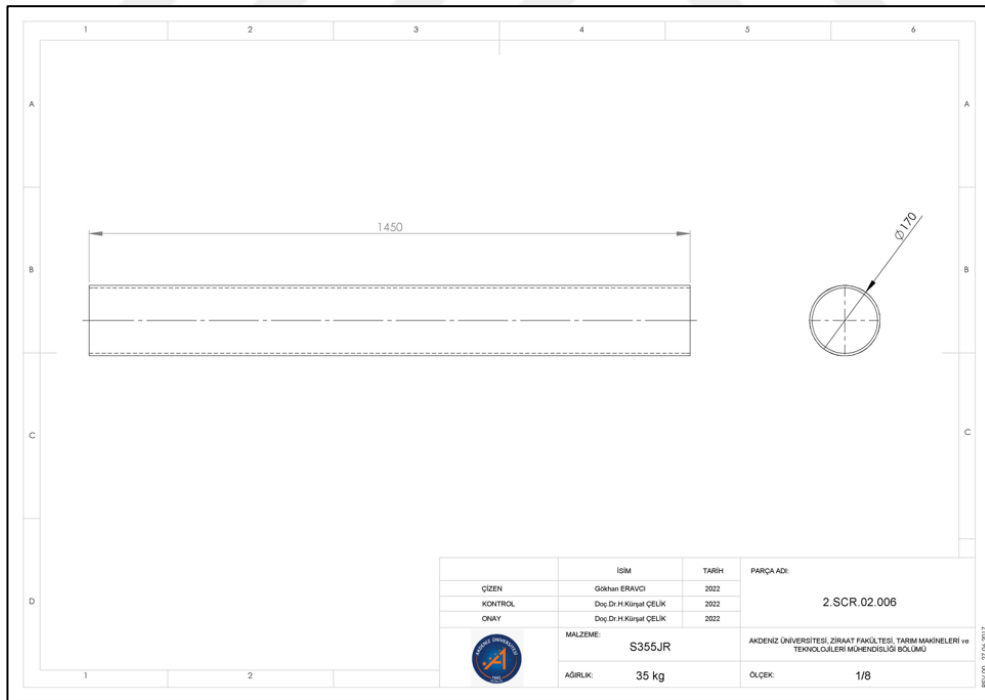
Şekil 7.2. Çeki oku ana sacı



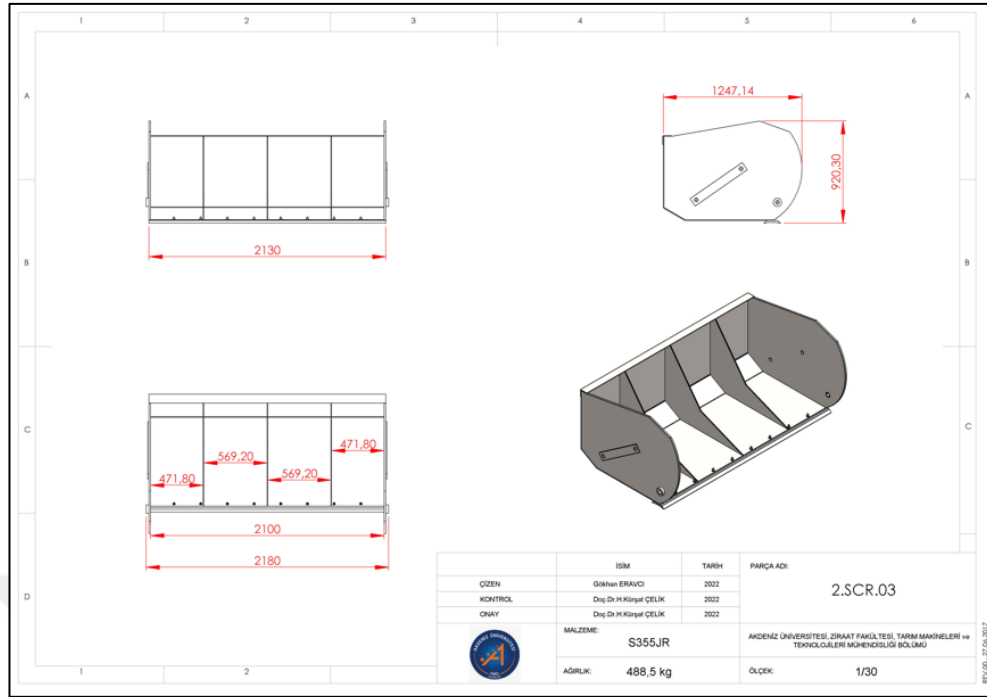
Şekil 7.3. Çeki oku şase flanşı



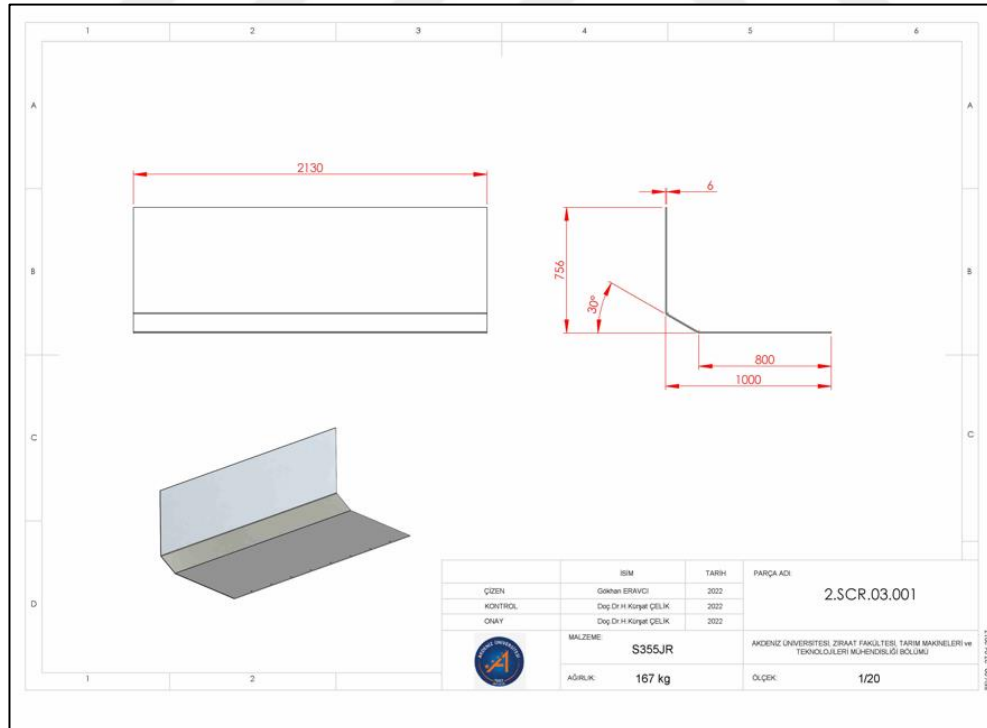
Şekil 7.4. Çeki yeri bağlantı sacı



Şekil 7.5. Çeki oku şase borusu

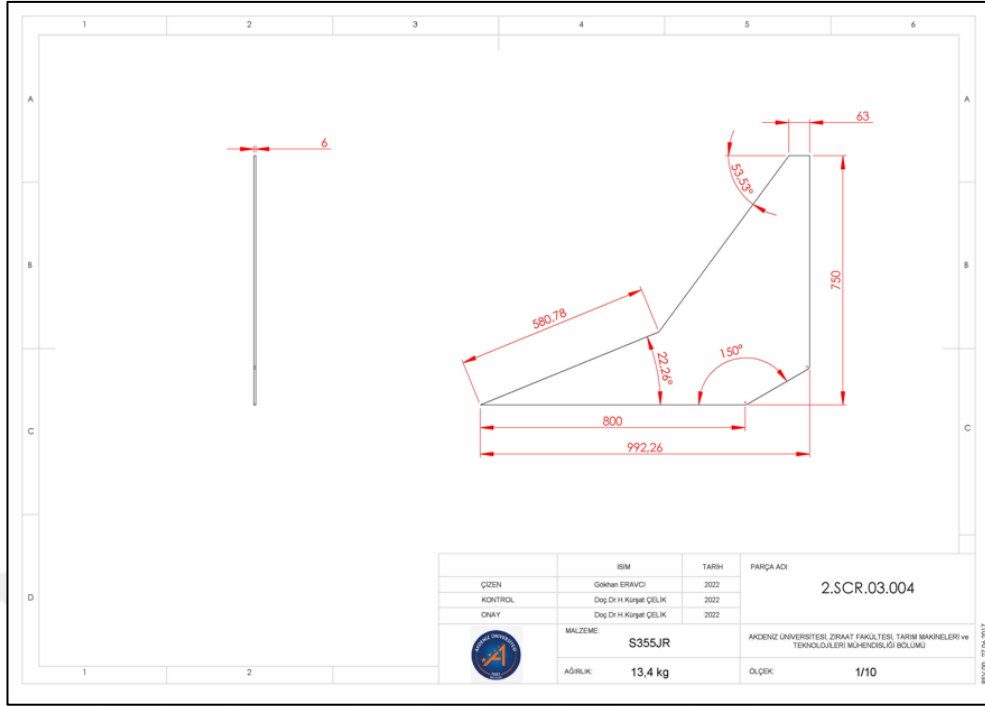


Şekil 7.6. Kazan

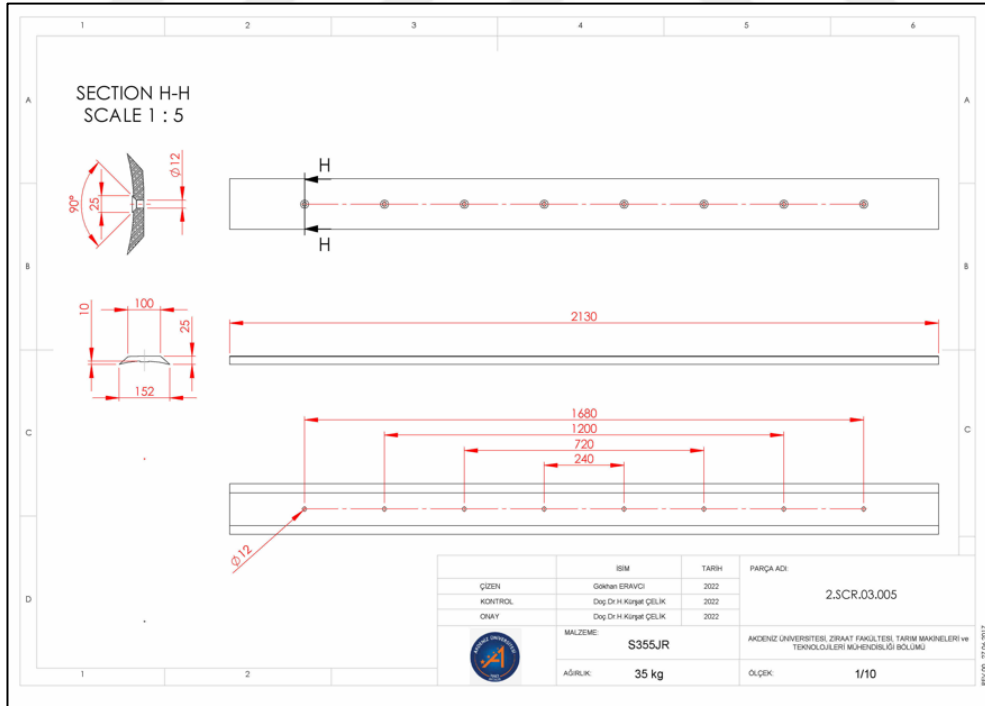


Şekil 7.7. Kazan ana sacı

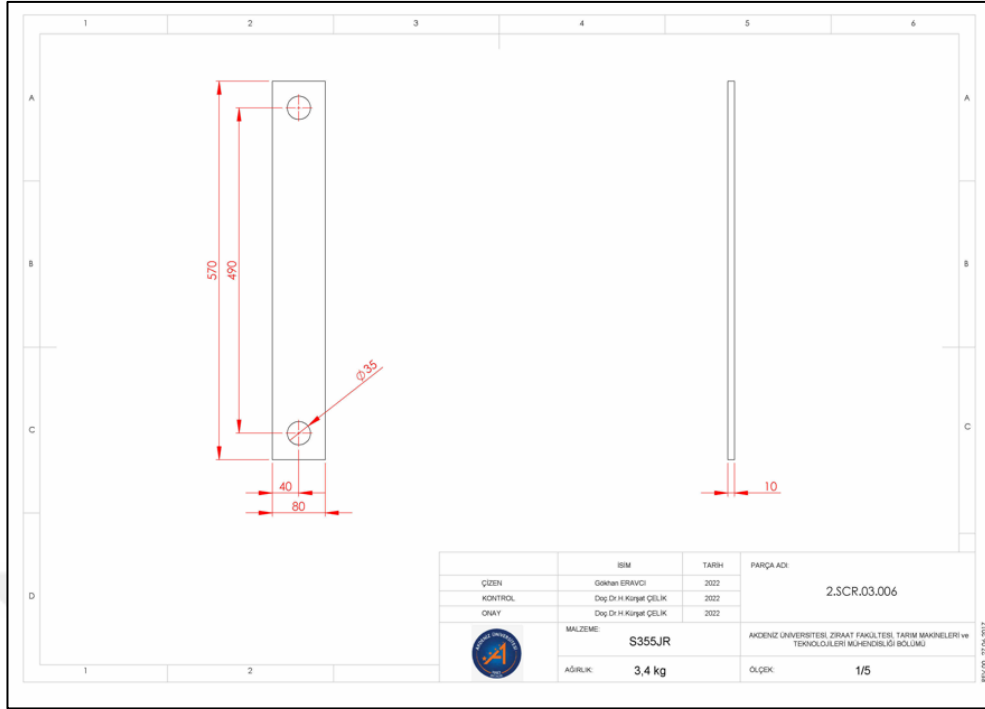




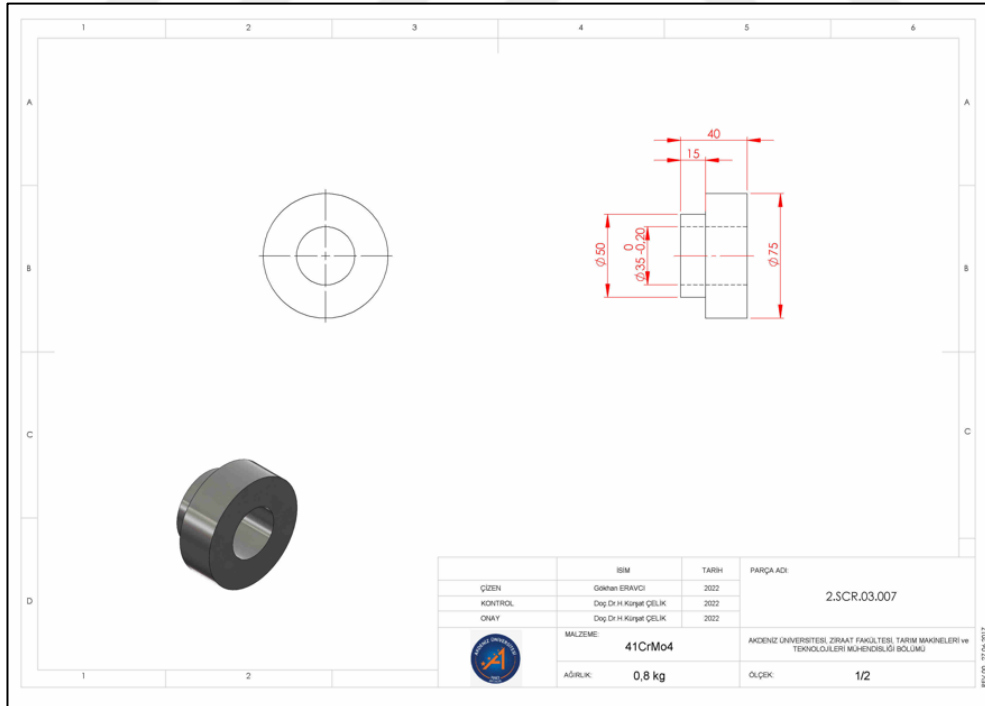
Şekil 7.10. Kazan ara bölme sacı



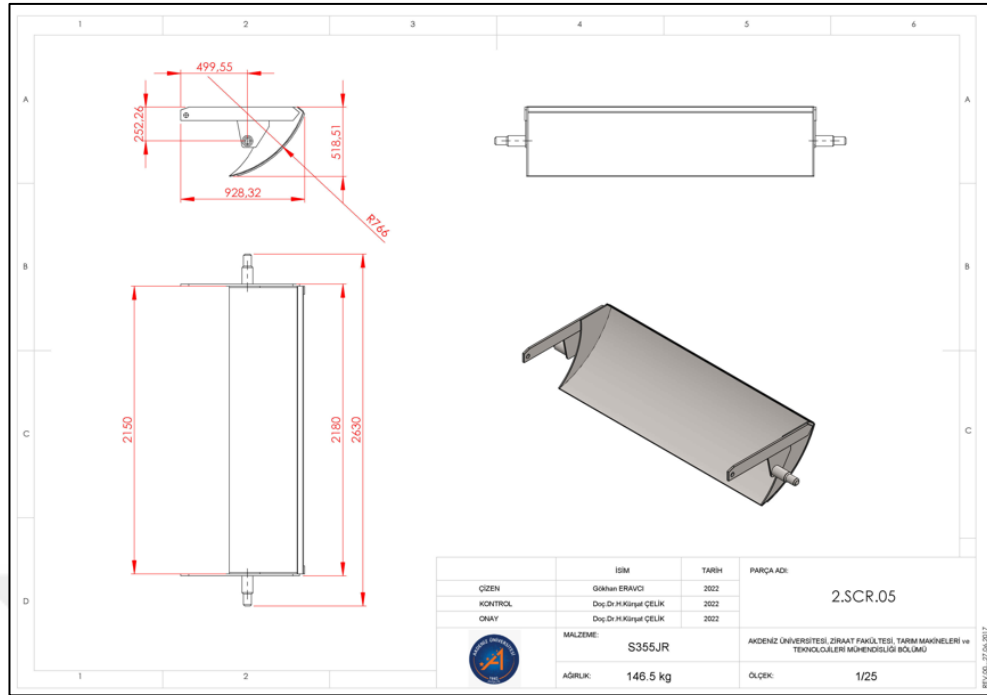
Şekil 7.11. Kazan kazıma bıçağı



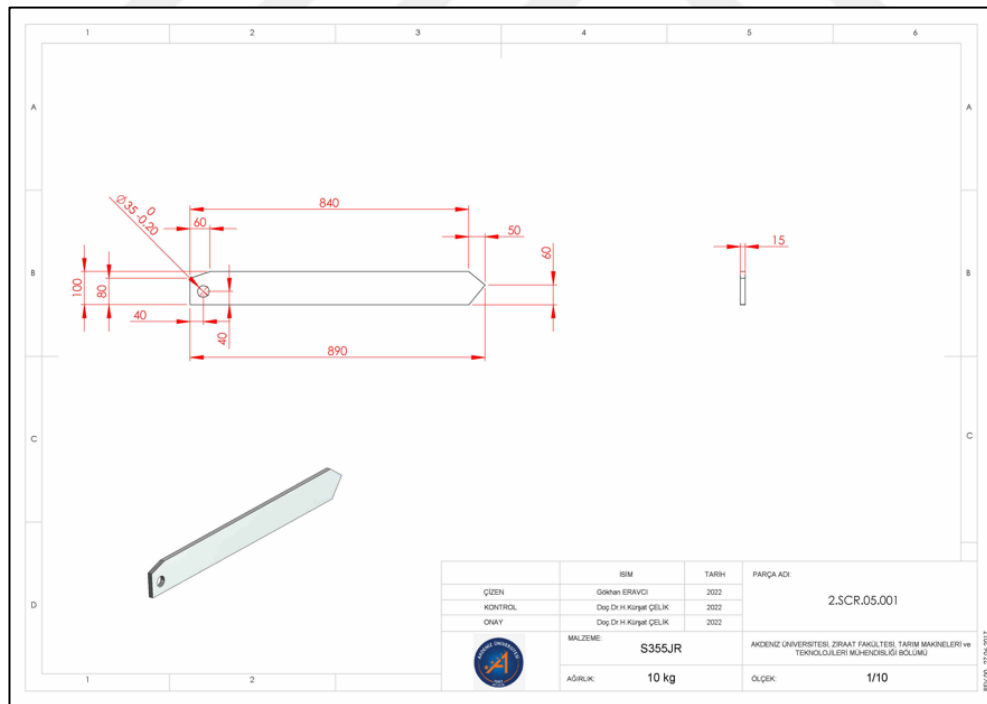
Şekil 7.12. Kazan yan destek sacı



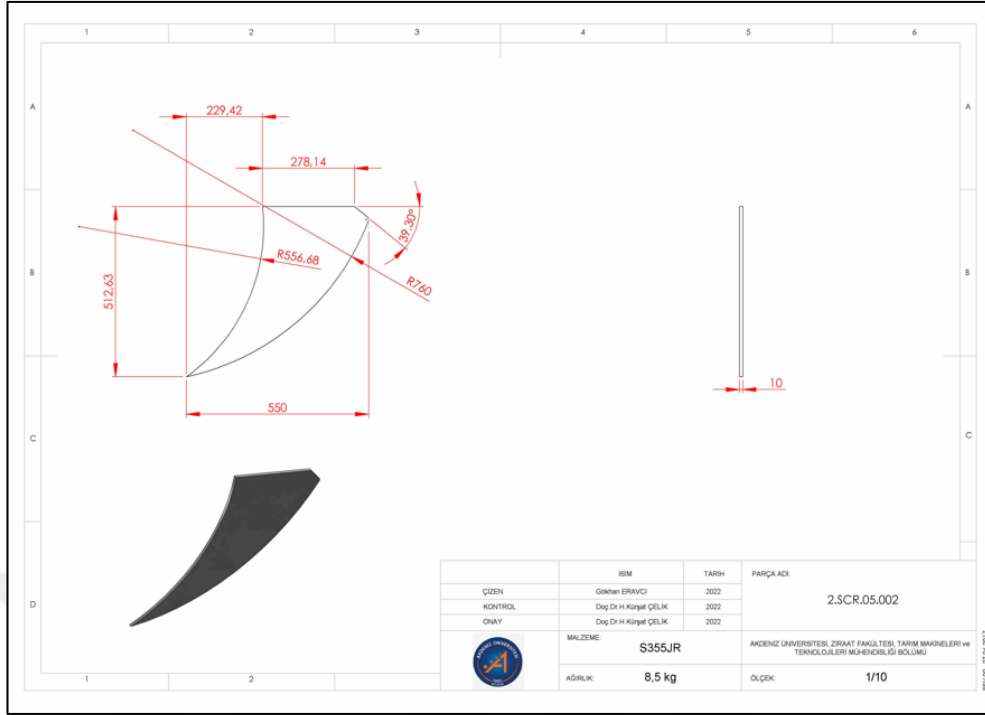
Şekil 7.13. Kazan menteşe destek burcu



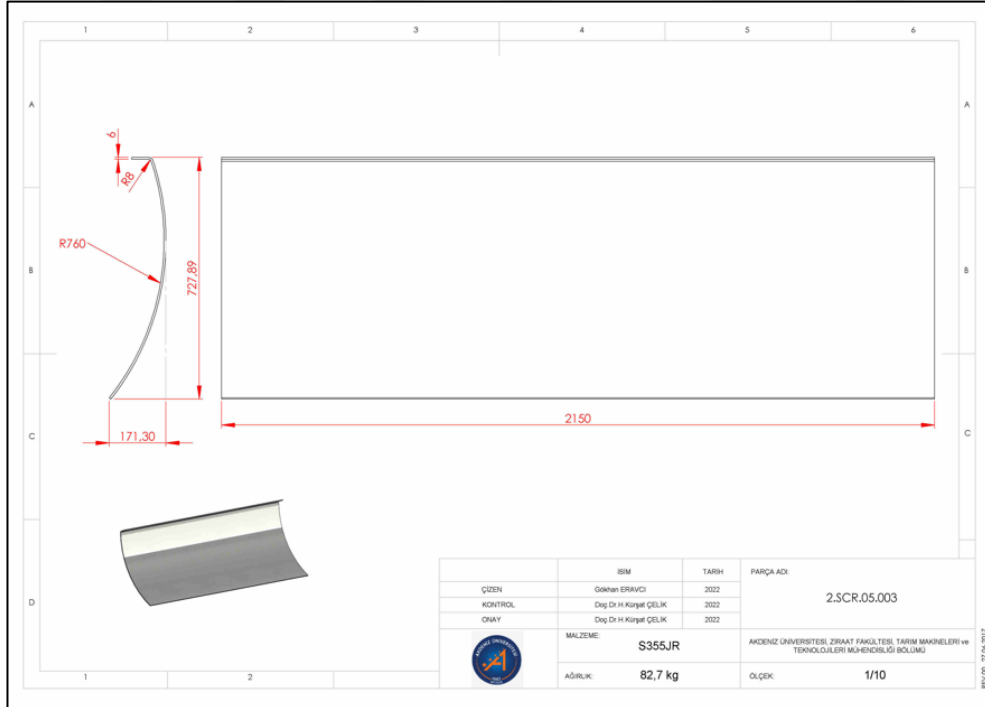
Şekil 7.14. Kapak



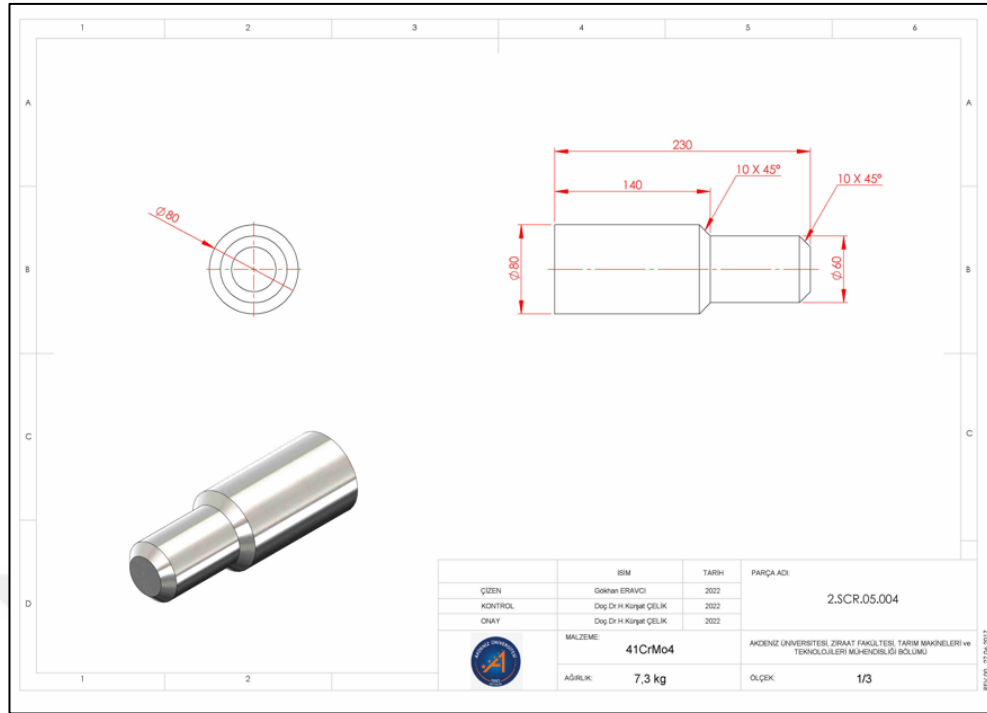
Şekil 7.15. Kapak kol sacı



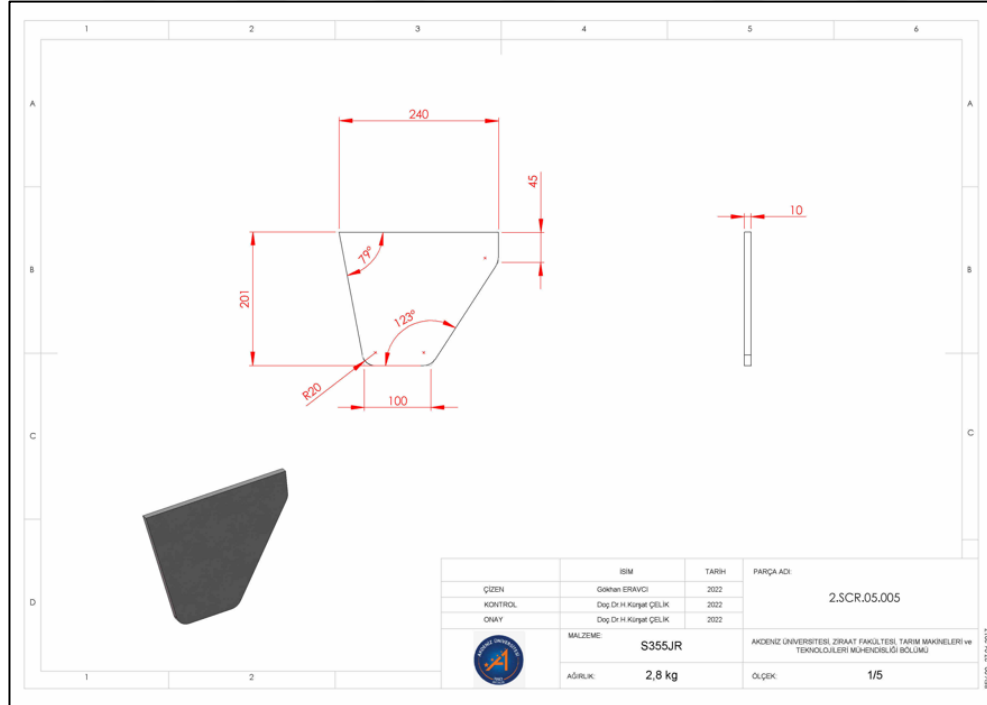
Şekil 7.16. Kapak yan sacı



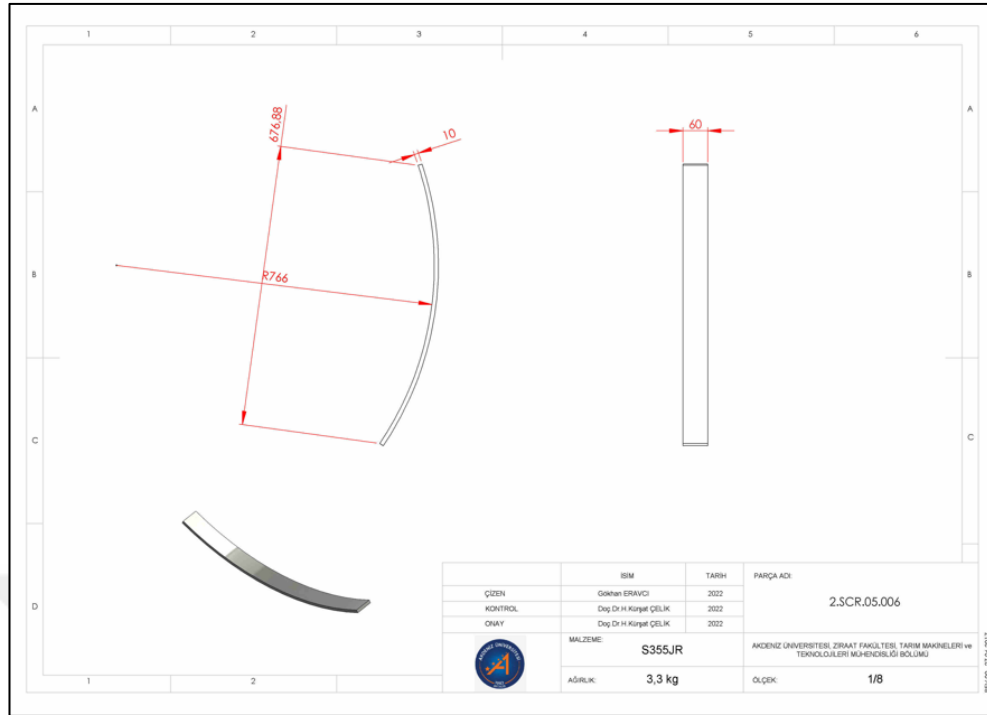
Şekil 7.17. Kapak ana sacı



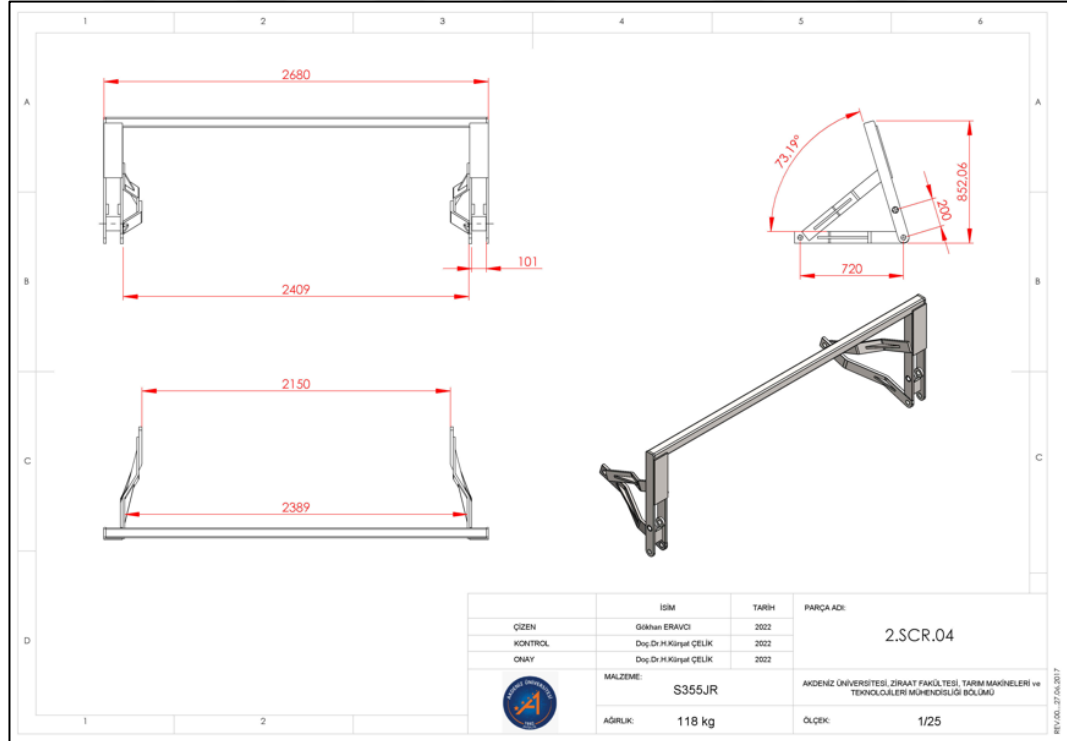
Şekil 7.18. Kapak dayama mili



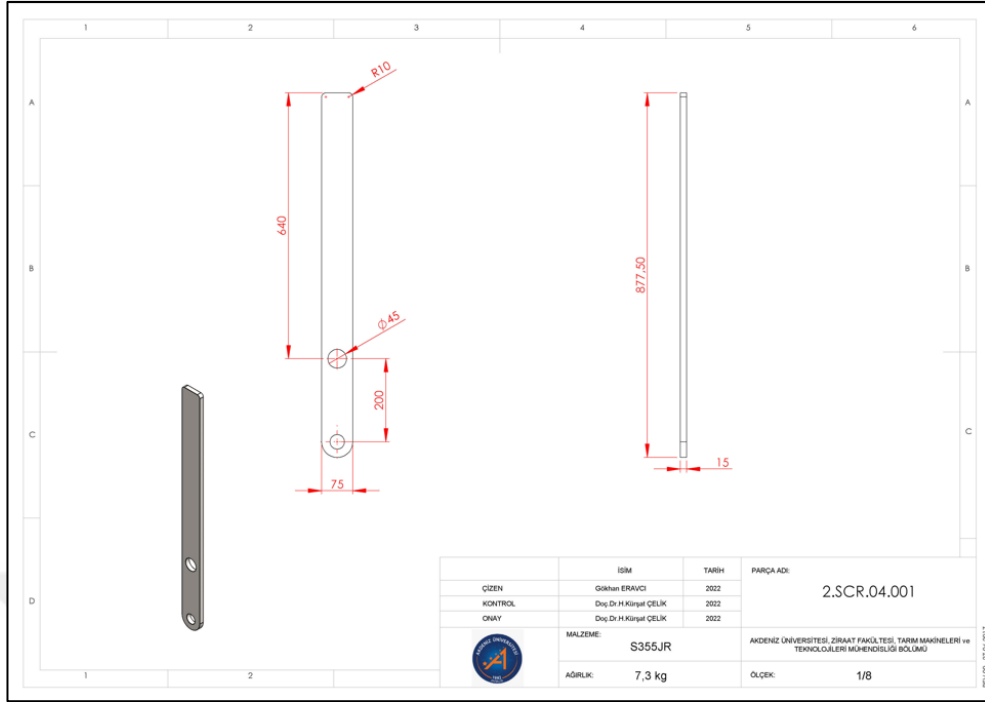
Şekil 7.19. Kapak dayama sacı



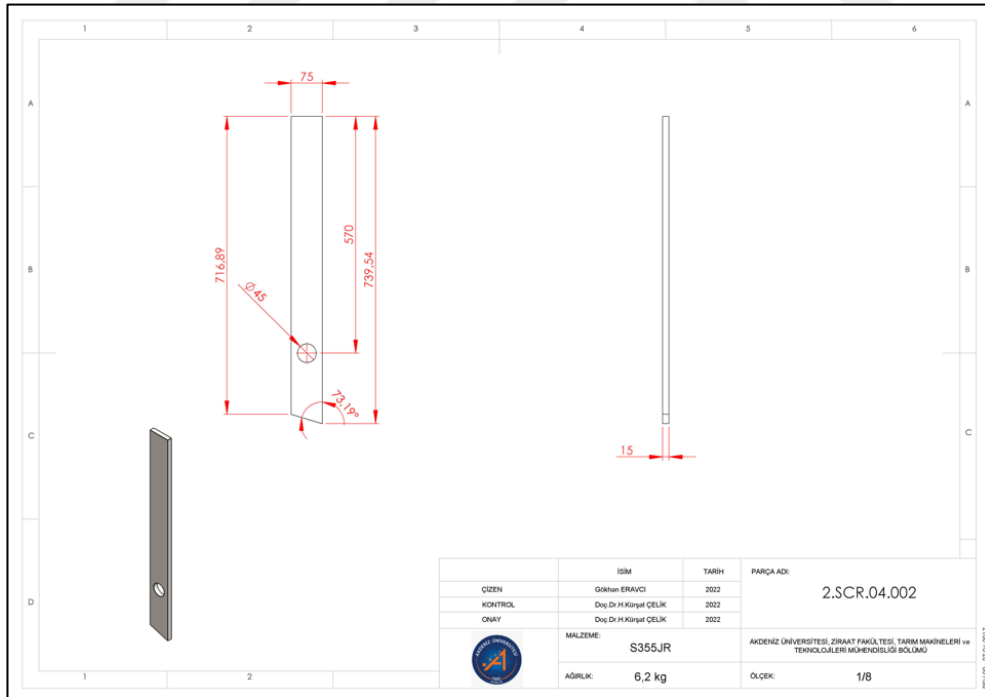
Şekil 7.20. Kapak dayama destek sacı



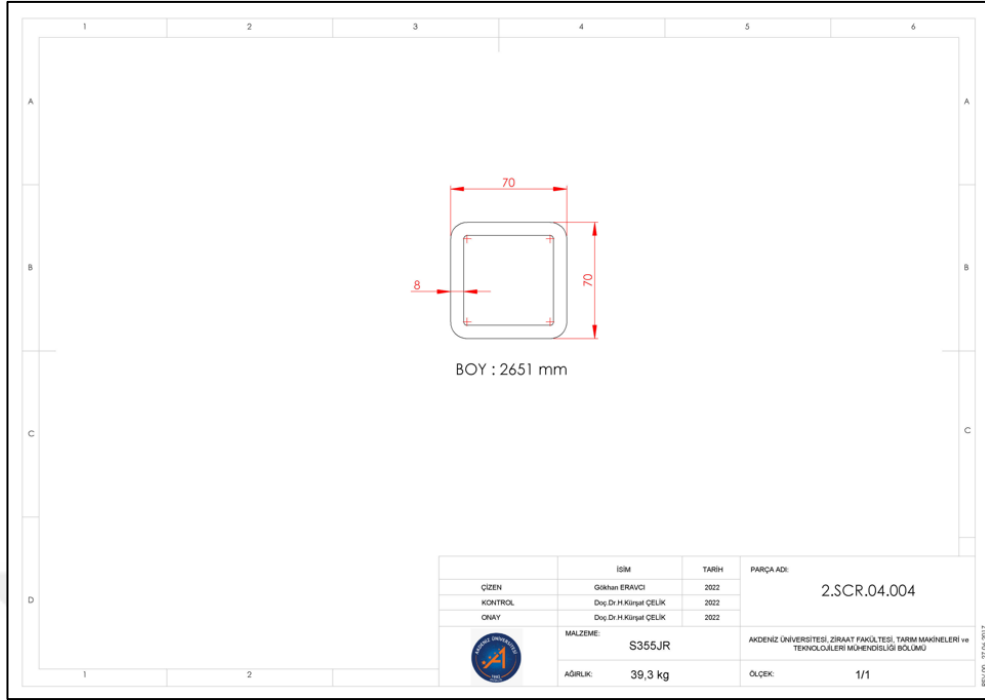
Şekil 7.21. Mekanizma yapısı



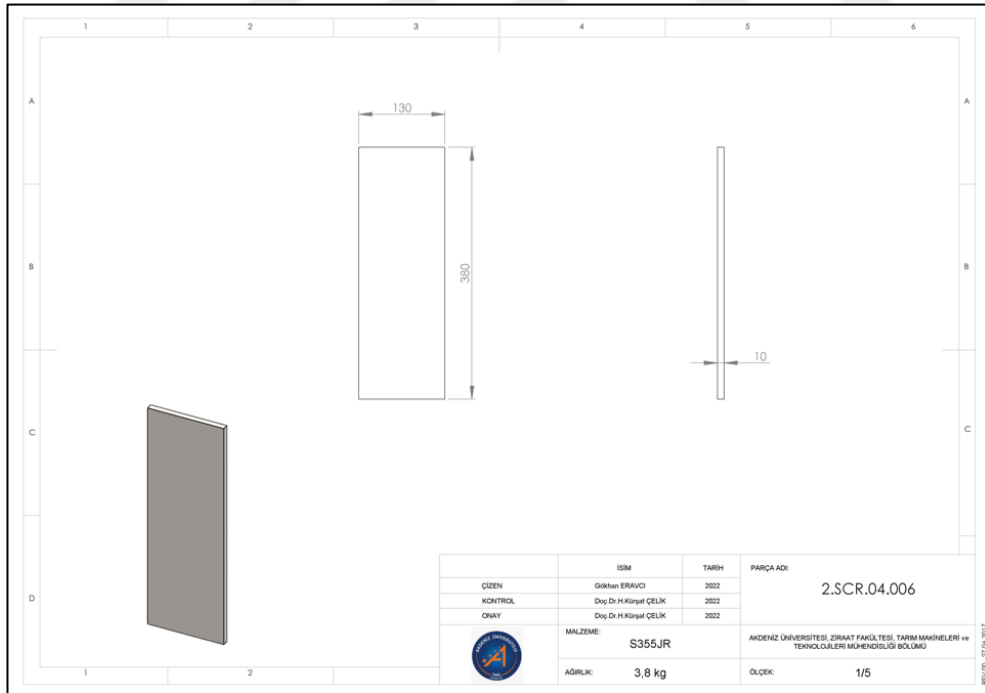
Şekil 7.22. Mekanizma yapısı ana kolon sacı



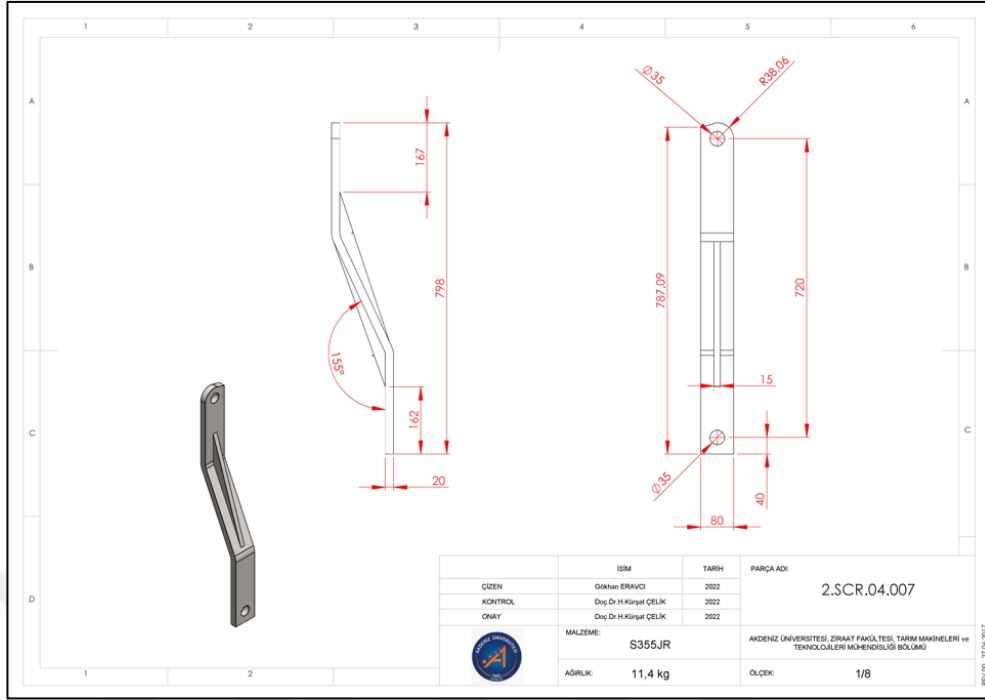
Şekil 7.23. Mekanizma yapısı kolon dış sacı



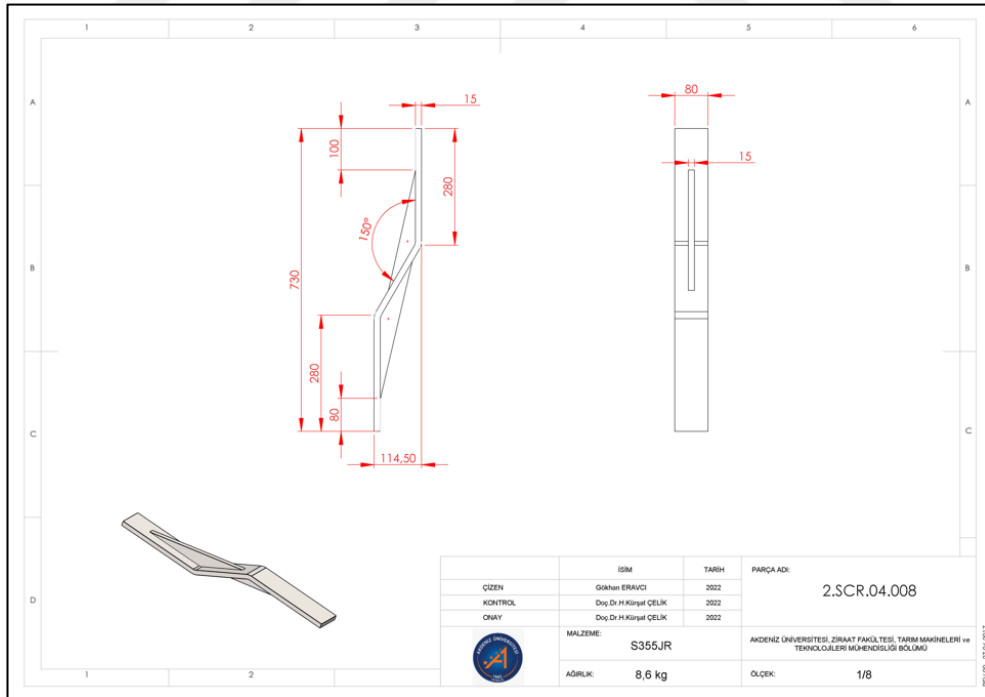
Şekil 7.24. Mekanizma yapısı profili



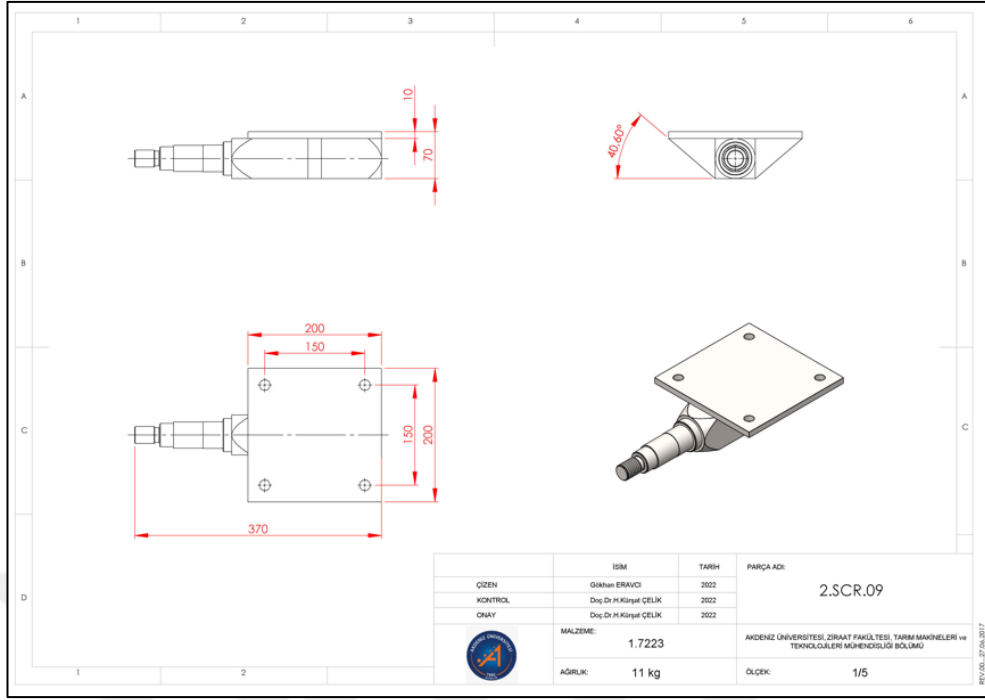
Şekil 7.25. Mekanizma menteşe destek sacı



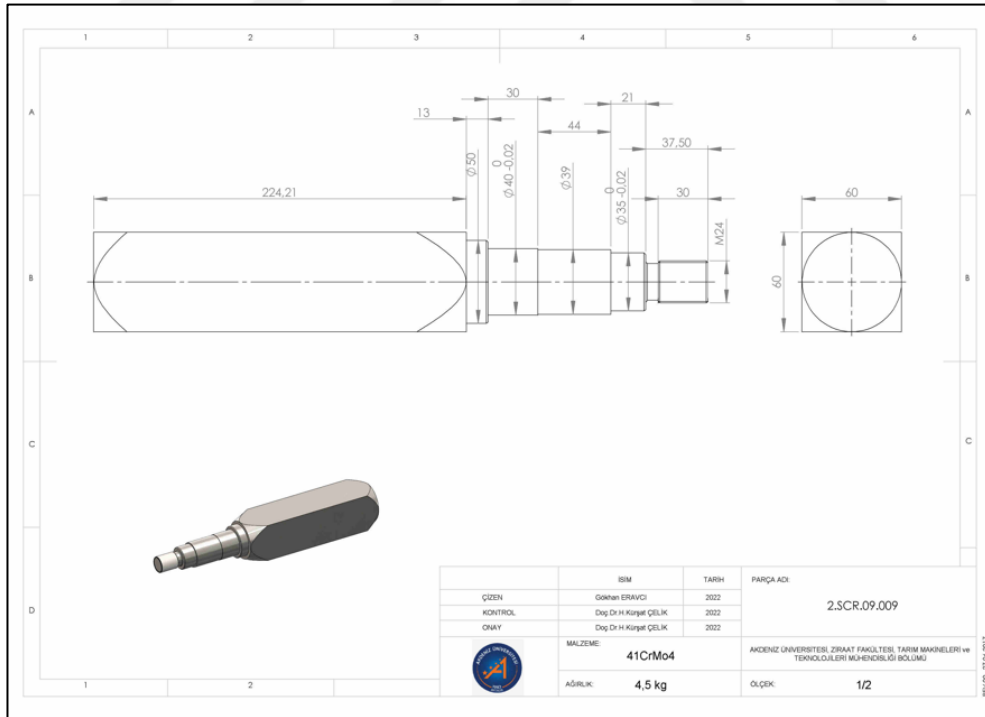
Şekil 7.26. Mekanizma menteşe kolon sacı



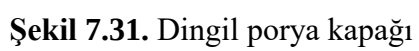
Şekil 7.27. Mekanizma menteşe kolon sacı

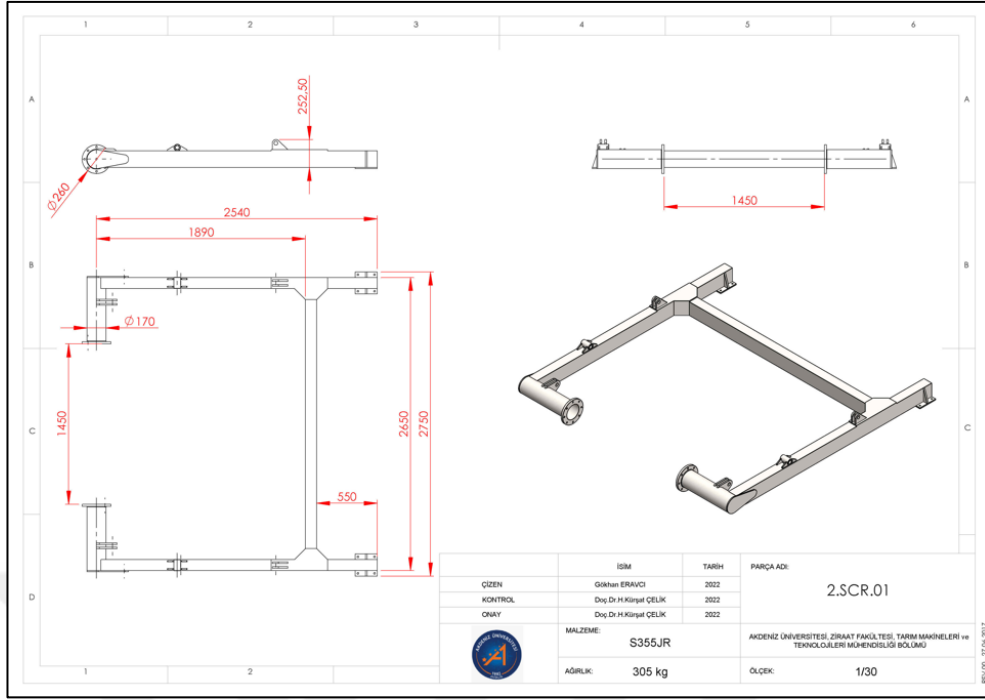


Şekil 7.28. Dingil mili kaynaklı

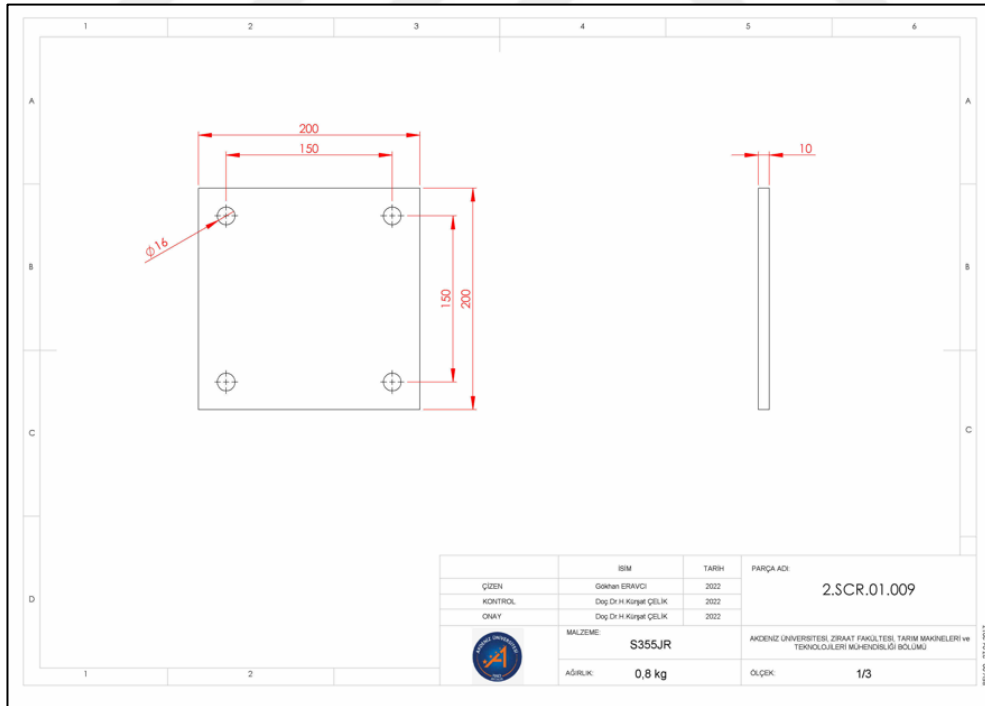


Şekil 7.29. Dingil aksı

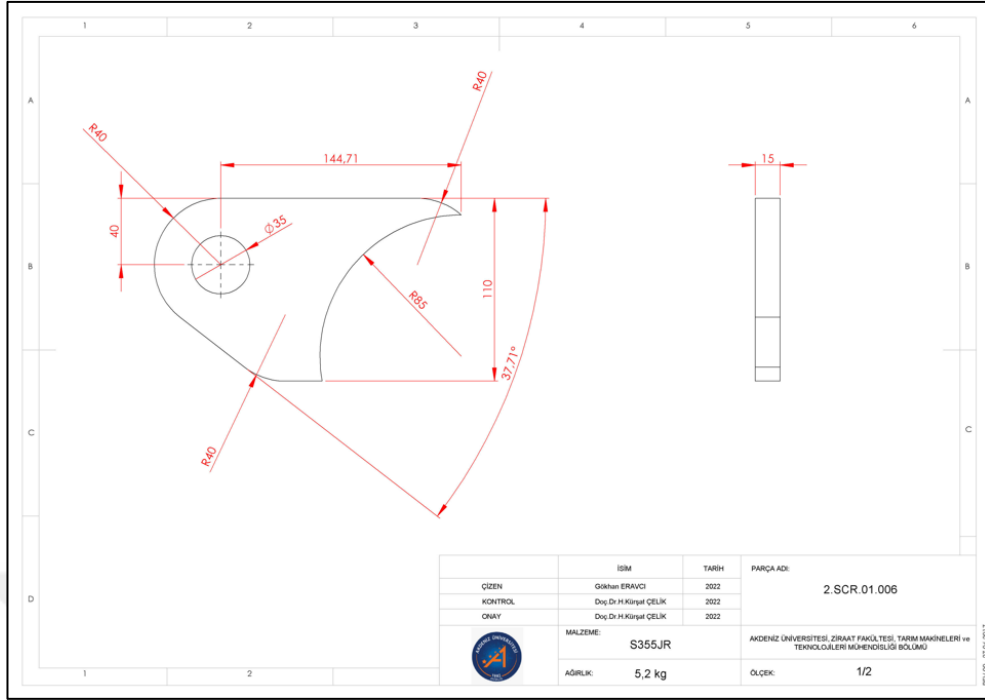




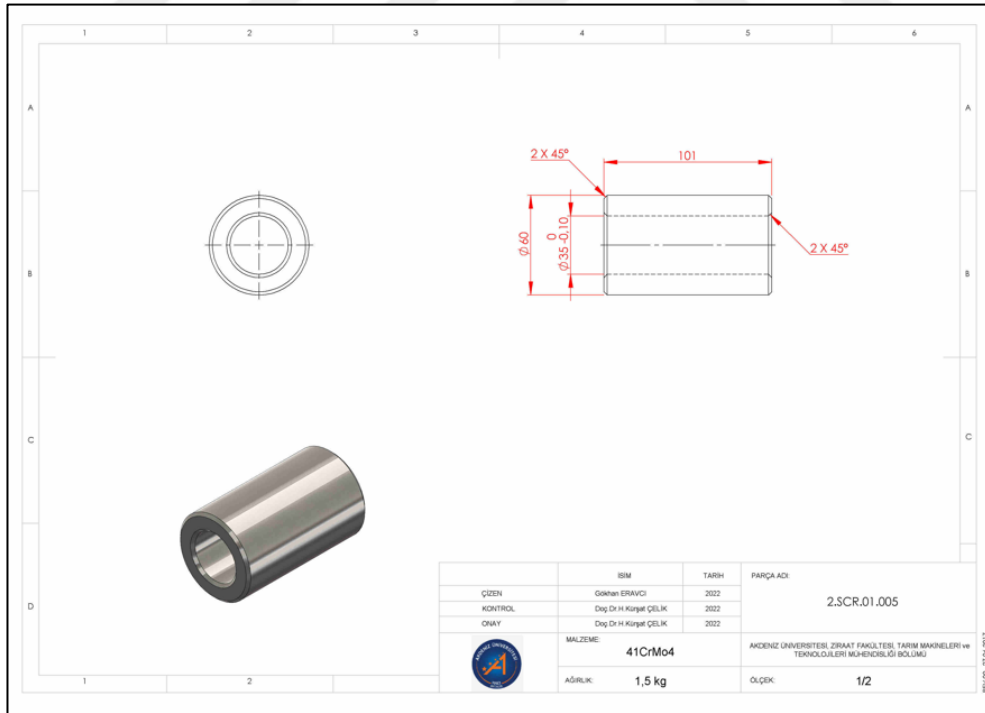
Şekil 7.32. Ana şase



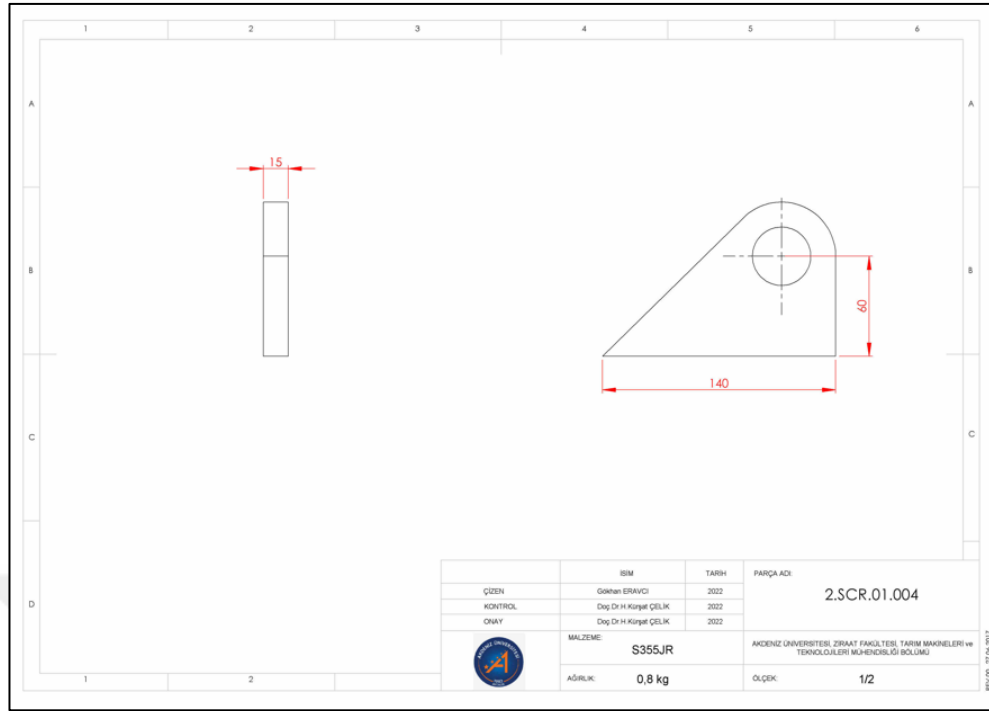
Şekil 7.33. Şase-dingil bağlantı plakası



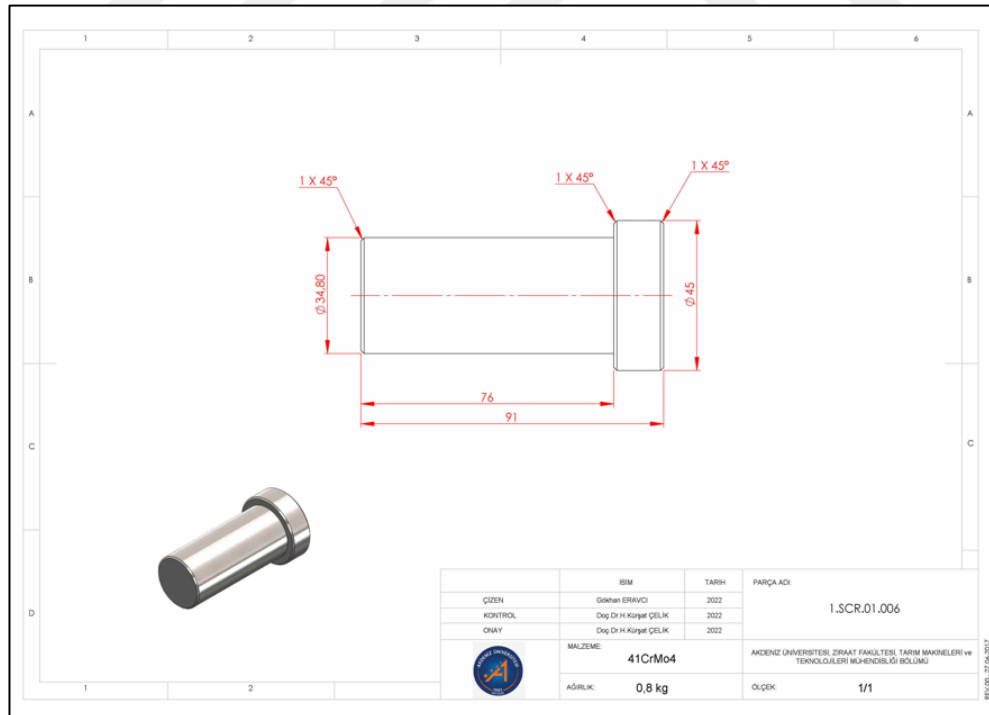
Şekil 7.34. Manivela bağlantı sacı



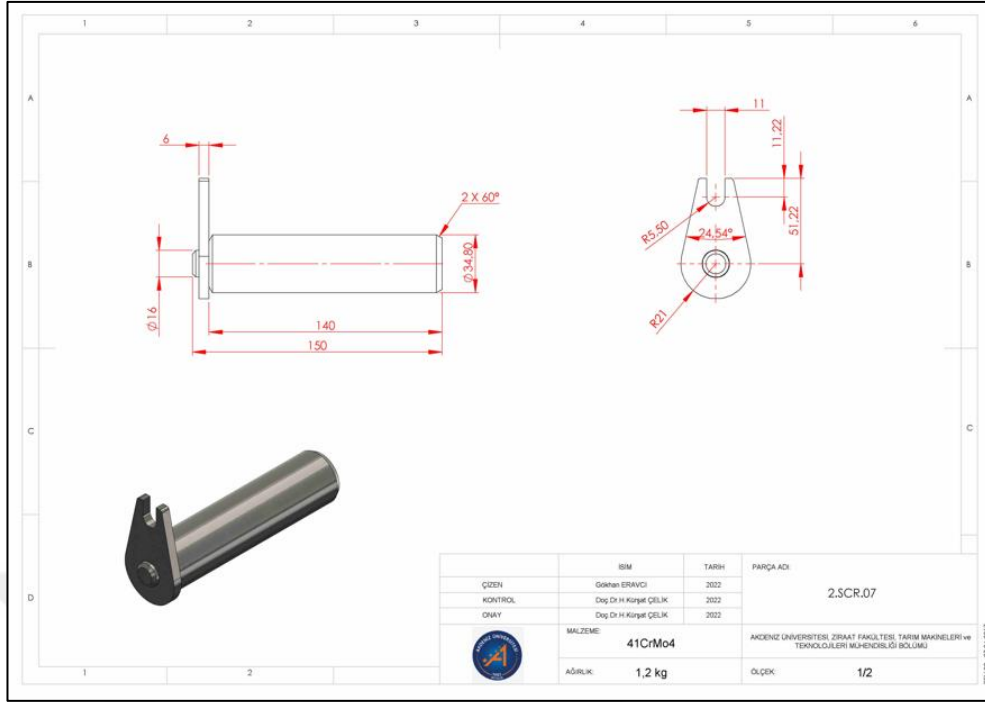
Şekil 7.35. Şase mekanizma menteşe burcu



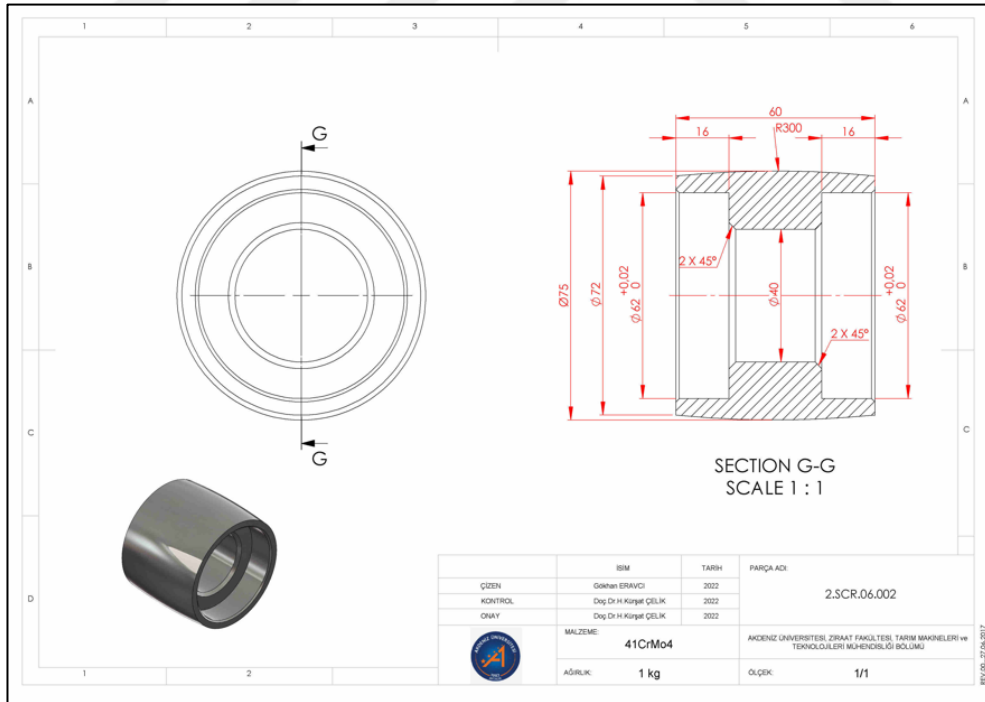
Şekil 7.36. Şase piston bağlantı sacı



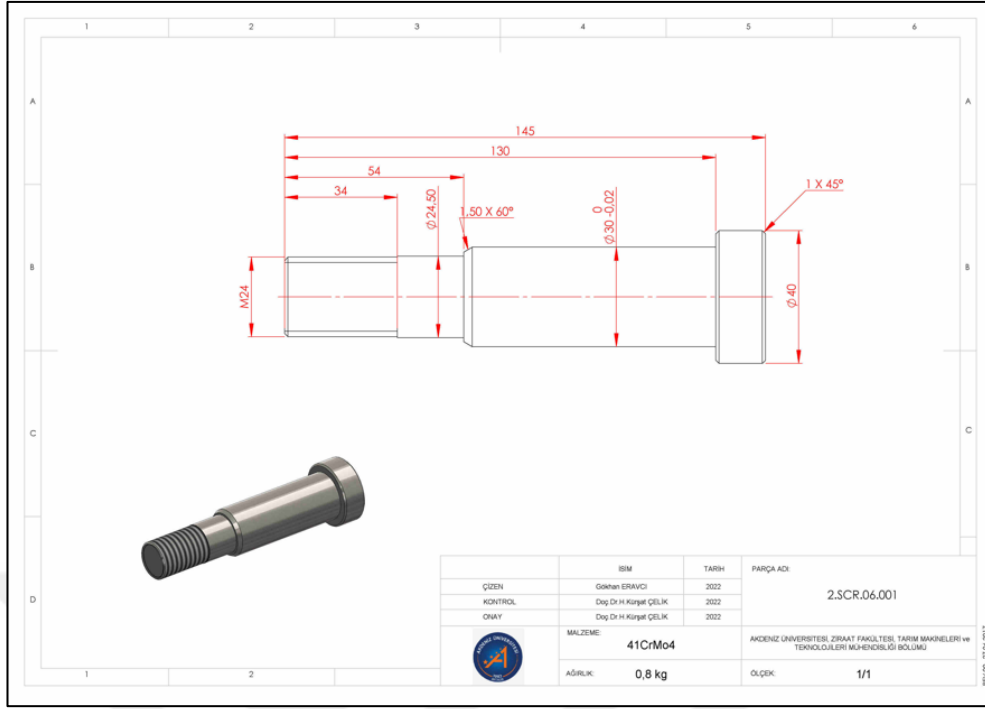
Şekil 7.37. Hidrolik piston ve menteşe pimi



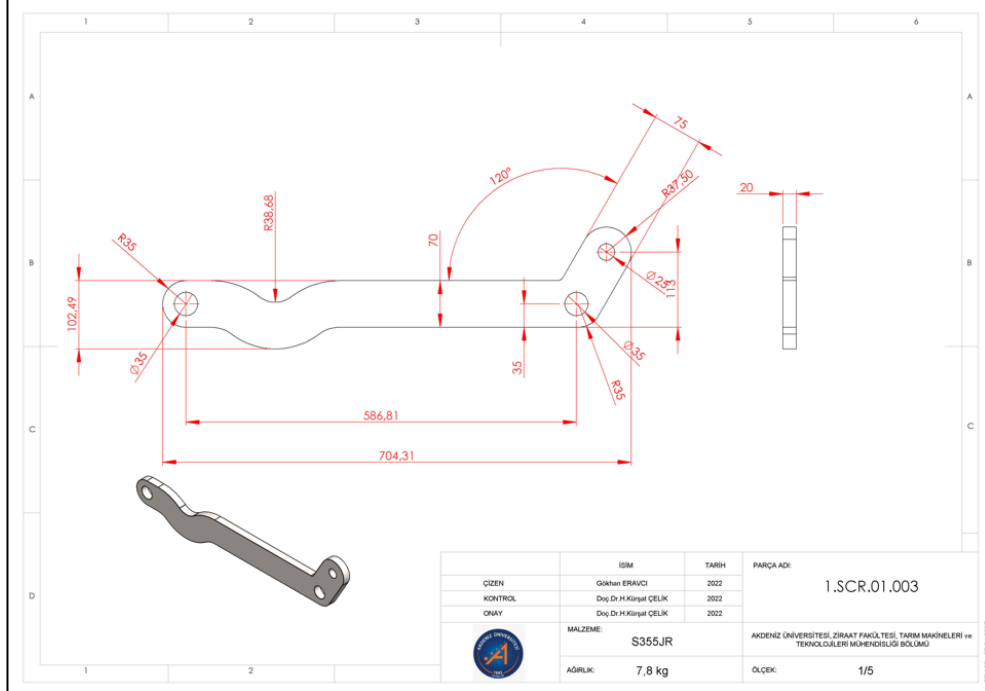
Şekil 7.38. Şase-mekanizma menteşe pimi



Şekil 7.39. Kapak dayama rulo burcu



Şekil 7.40. Kapak dayama rulo pimi



Şekil 7.41. Kazan manivela sacı

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan ERAVCI

ÖĞRENİM BİLGİLERİ	
Yüksek Lisans 2018-2022	Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Antalya
Lisans 2011-2014	Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Üretim ve Planlama Direktörü 2012-Devam Ediyor	İmecar Elektronik San. Tic. Ve Ltd. Şti. Serbest Bölge/ANTALYA
Mekanik Tasarımcı 2008-2014	İlgi Tarım Makinaları San. Tic. Ltd. Şti. Söke/AYDIN

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Celik H. K. Ersoy H. , Doğan A. , Eravcı G., Rennie A. E. W. , Akıncı İ. 2021 Strength-based design analysis of a damaged engine mounting bracket designed for a commercial electric vehicle. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, ss. 1315-1322.