



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ  
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING  
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

## YATAY VE DİKEY KREMAYER-PİNYON DİŞLİ MEKANİZMALARI KULLANILARAK PARALEL ÇENELİ ROBOTİK TUTUCU TASARIMI, YAPISAL ANALİZİ VE EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ

PARALLEL JAW ROBOTIC GRIPPER DESIGN AND  
PRODUCTION WITH ADDITIVE MANUFACTURING  
METHOD BY USING HORIZONTAL AND VERTICAL  
RACK AND PINION GEAR MECHANISM

**Yazarlar (Authors):** Can Özbaran<sup>ID\*</sup>, Savaş Dilibal<sup>ID</sup>

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Özbaran C., Dilibal S.” Yatay Ve Dikey Kremayer-Pinyon Dişli Mekanizmaları Kullanılarak Paralel Çeneli Robotik Tutucu Tasarımı, Yapısal Analizi Ve Eklemeli İmalat Yöntemi İle Üretim” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 4(2): 139-151, (2020).

DOI:10.46519/ij3dptdi.773133

Araştırma Makale/ Research Article

**Erişim Linki:** (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

# YATAY VE DİKEY KREMAYER-PİNYON DİŞLİ MEKANİZMALARI KULLANILARAK PARALEL ÇENELİ ROBOTİK TUTUCU TASARIMI, YAPISAL ANALİZİ VE EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ

Can Özbaran<sup>a</sup> , Savaş Dilibal<sup>a</sup> 

<sup>a</sup>Istanbul Gedik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Programı, Türkiye

\* Sorumlu Yazar: [canozbaran@hotmail.com](mailto:canozbaran@hotmail.com)

(Geliş/Received: 24.07.2020; Düzeltme/Revised: 29.07.2020; Kabul/Accepted: 10.08.2020)

## ÖZ

Endüstriyel robotlarda uç etkileyiciler vasıtasıyla hedef nesne hareketini sağlamak için kullanılan farklı tipte eyleyici ve mekanizma tabanlı robotik tutucu tasarımları bulunmaktadır. Geleneksel imalat yöntemleri kullanılarak karmaşık geometriye sahip parça tasarımlarının imalat süreçleri maliyetli ve çoğu zaman birden fazla imalat sürecine ihtiyaç duyduğu için uzun zaman ihtiyaçları doğurmaktadır. Bu sebepten ötürü farklı tipteki elektromekanik robotik tutucu tasarımları incelenmiş ve farklı çalışma prensipleri tasarıma entegre edilerek eklemeli imalat yöntemi ile imal edilebilecek iki farklı paralel çeneli robotik tutucu tasarımı geliştirilmiştir. Robotik tutucular tarafından kavranacak nesne hedef hacmi  $18 \times 25 \times 10 \text{ cm}^3$  ve taşıma ağırlığı 1 kg olacak şekilde tasarım parametreleri belirlenmiştir. Yatay ve dikey kremayer-pinyon dişlileri kullanılarak iki tip paralel çeneli robotik tutucu tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve yapısal analizi gerçekleştirilen kremayer-pinyon dişli mekanizmaları ABS filament malzemesi ile eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiştir. Prototip üretimi eklemeli imalat yöntemi ile gerçekleştirilen robotik tutucuların işlevsellikleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Robotik Tutucu Tasarımı. Kremayer-pinyon dişli mekanizması. Eklemeli İmalat Yöntemi.

## PARALLEL JAW ROBOTIC GRIPPER DESIGN AND PRODUCTION WITH ADDITIVE MANUFACTURING METHOD BY USING HORIZONTAL AND VERTICAL RACK AND PINION GEAR MECHANISM

### ABSTRACT

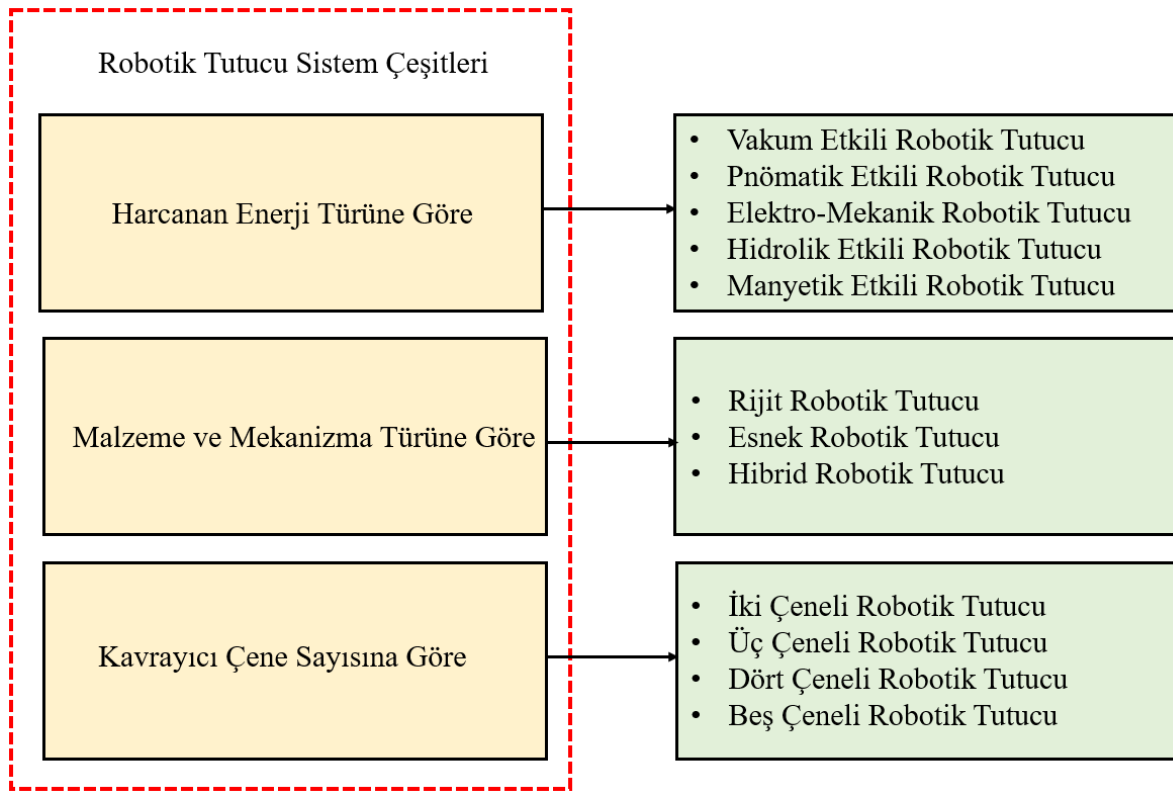
The aim of this paper is to develop original robotic gripper design that can be produced by additive manufacturing method for the mobile warehouse robotic system. There are different types of actuator and mechanism based robotic gripper designs that can be used to moving object in the robotic industry. The manufacturing processes of complex geometry part designs using traditional manufacturing methods create long time requirements, as they are costly and often require multiple manufacturing processes. For this reason, different types of electromechanical robotic gripper systems have been examined. The parallel jaw robotic gripper system that can be produced with additive manufacturing method has been developed by integrating different working principles into the design. Target volume value of the object was determined as  $18 \times 25 \times 10 \text{ cm}^3$  and target payload was determined as 1 kg. The designed and structurally analyzed rack-pinion gear mechanisms are manufactured with an additive manufacturing method with ABS filament material. The functionality of the robotic grippers, which are produced via additive manufacturing technology, has been compared.

**Keywords:** Robot Gripper Design. Rack and Pinion Gears Mechanism. Additive Manufacturing Method.

## 1. GİRİŞ

Robotik tutucular gerçekleştirilmesi istenen eylem için nesnelere kavrama ve serbest bırakma fonksiyonlarına sahip uç eyleyicilerdir. Robotik tutucular endüstriyel robotların çevre ve nesne ile etkileşime geçmesini sağlama görevini yerine getirirler. Robotik tutucular bir veya birkaç nesneyi kavrayabilecek şekilde tasarlanabildiği gibi kavranmak istenen nesne için özel olarak da geliştirilebilirler [1-3]. Çalışma prensipleri robotik tutucu kavrayıcı çenelerinin robotik tutucu gövdesine göre gerçekleştirdikleri hareket ile belirlenir. Paralel robot tutucular paralel çeneleri sayesinde açma ve kapama hareketleri boyunca ideal paralellik değerlerini yakalayabildikleri için genellikle öngörülebilir düzenli geometriye sahip cisimler için kullanılırlar.

Robotik tutucu sistemlerinde hedef nesneyi kavrama, taşıma ve istenilen konuma bırakma işlemi Şekil 1’de belirtilen farklı sistem tipleri ile gerçekleştirilebilir. Harcanan enerji türüne göre, malzeme ve mekanizma türüne göre ve kavrayıcı çene sayısına göre robotik tutucu sistemleri sınıflandırılabilir. Robotik tutucu sistemler içerisinde esnek robotik tutucu sistemleri son yıllarda yaygınlaşan sistemlerdendir [4].

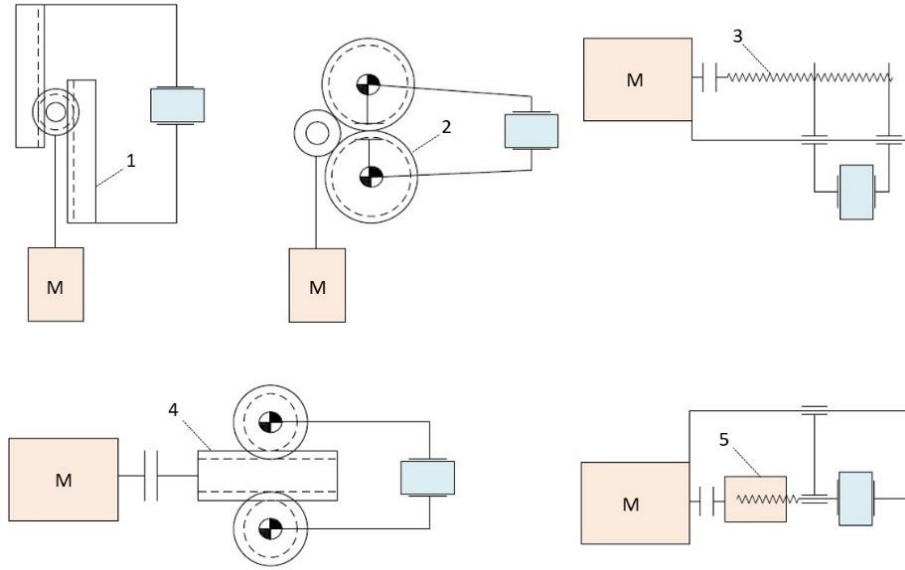


Şekil 1. Temel Robotik Tutucu Sistem Çeşitleri

Bu çalışmada, kremayer dişli ve pinyon dişlileri kullanılarak geliştirilen doğrusal hareket mekanizmalarının farklı eksenlerdeki uygulamaları ile paralel çeneli robotik tutucu tasarımı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Vakum etkili, pnömatik etkili ve hidrolik etkili robotik tutucular mobil robot ağırlık limitini artırdığı için [5-7] çalışmada elektro-mekanik robotik tutucu tercih edilmiştir.

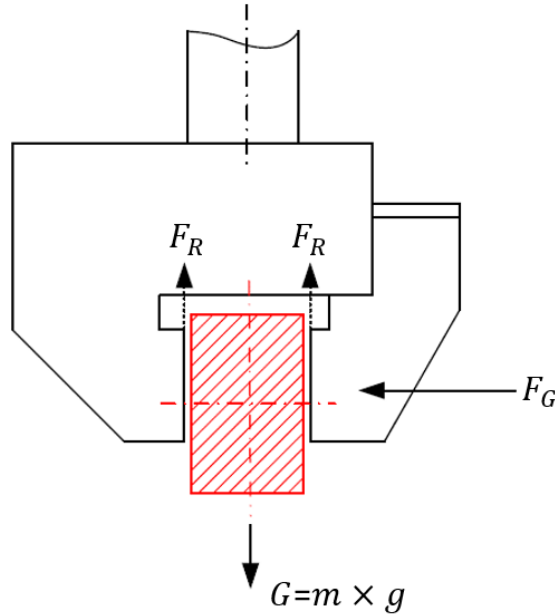
## 2. MEKANİK TASARIM

Robotik tutucularda genellikle elektromekanik tahrik doğrudan milli motorlar ile veya kremayer-pinyon dişli mekanizmaları kullanılarak kuvvet iletimi sağlanarak gerçekleştirilir [8]. Şekil 1’de farklı tahrik tipleri görülmektedir. Şekil 2’de, 1 numaralı sistem kremayer-pinyon dişli uygulaması yapılarak, 2 numaralı sistem dişli kullanılarak, 3 numaralı sistem ters yönde açılmış vida mil kullanılarak, 4 numaralı sistem sonsuz dişli ve karşılık dişlileri kullanılarak, 5 numaralı sistem vidalı mil kullanılarak geliştirilmiş uygulama örnekleri görülmektedir [8-9].



Şekil 2. Elektrik Motorları ile Çalışan Tutucular İçin Temel Tasarım Stratejileri

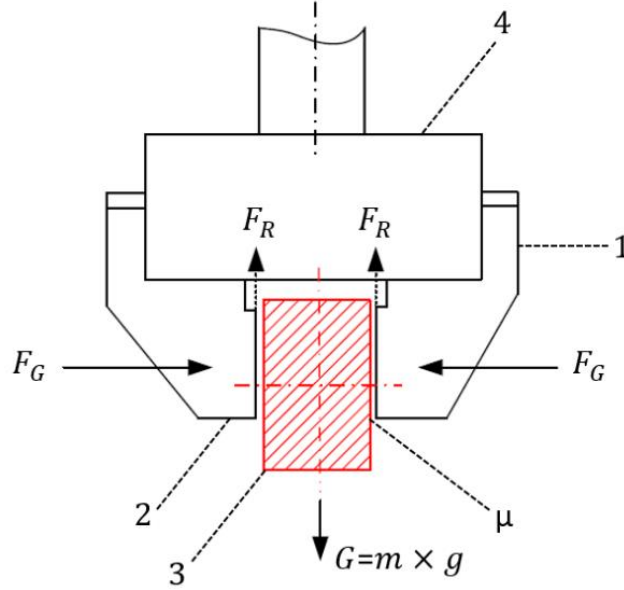
Şekil 2’de belirtilen tahrik sistemlerinde uygulama ve robotik tutucudan istenen mekanik özelliklere göre farklı tip elektrik motorları kullanılabilir. Step motor, servo motor, lineer motor ve piezoelektrik temelli tahrik motorları olmak üzere 4 genel başlıkta incelenebilir. Step motorlar düşük maliyetli uygulamalar için pnömatik sistemlerin yerine düşünülebilir, pnömatik sistemlere göre konum kontrolü yapabilirler. Servo motorlar hassas kuvvet ve konum kontrolü gerekli olan uygulamalar için kullanılırlar. Lineer motorlar hassas kuvvet ve konum kontrolünün gerekli olduğu uygulamalarda kullanılırlar. Piezoelektrik temelli tahrik sistemleri çok düşük ağırlık mertebelerindeki cisimler için yüksek hızlı tepki kuvvetleri gereken uygulamalarda kullanılırlar [8]. Bu çalışmada bahsi geçen mekanik tasarım 2 numara ile gösterilen tahrik sisteminden türetilerek uygulaması yapılmıştır. Kavrama işlemini gerçekleştiren parçaların hassas konum kontrollerini gerçekleştirebilmek için tahrik motoru olarak servo motor seçilmiştir.



Şekil 3. Tek Kavrayıcı Çeneli Robotik Tutucu Sisteme Hedef Nesne Kavrama Sırasındaki Etkiyen Kuvvetler

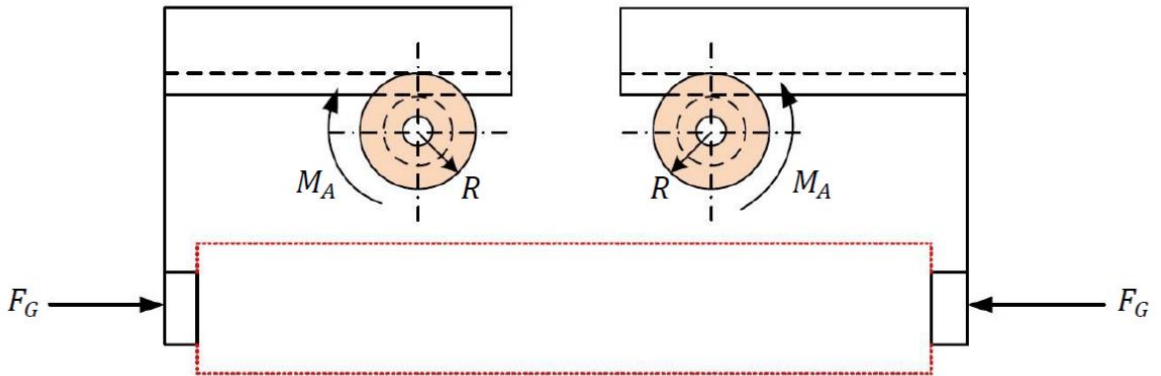
Şekil 3’de tek kavrayıcı çene ile tutulan parça üzerine etkiyen kuvvetlerin gösterimi görülmektedir. Genellikle, kavrayıcı çene sayısı ile kavrama kuvveti arasında ilişki kurulur, fakat bu yorum Isaac

Newton'un 3. yasası olan etki-tepki prensibi ile çelişir. Şekil 3 ve Şekil 4'de görüldüğü üzere kavrama kuvveti  $F_G$ , kavrayıcı çene sayısından bağımsızdır.



Şekil 4. Çift Kavrayıcı Çeneli Robotik Tutucu Sisteme Hedef Nesne Kavrama Sırasındaki Etkiyen Kuvvetler

Şekil 4'de çift kavrayıcı çene ile kavranmış olan parça üzerine etkiyen kuvvetler gösterilmektedir. 1 ile paralel robotik tutucu çeneleri, 2 ile robotik tutucu kavrayıcı çeneleri, 3 ile kavranacak parça gösterilmektedir.  $F_G$  kavrama kuvvetini,  $F_R$  sürtünme kuvvetini göstermektedir. Statik sürtünme kuvveti hareket uygulama yönüne göre Coulumb Sürtünme Yasasına göre hesaplanır. Farklı yüzeylerden uygulanan kuvvetlerin olduğu durumlarda sürtünme kuvveti denkleminde kavrayıcı çene sayısı eklenmelidir [10].

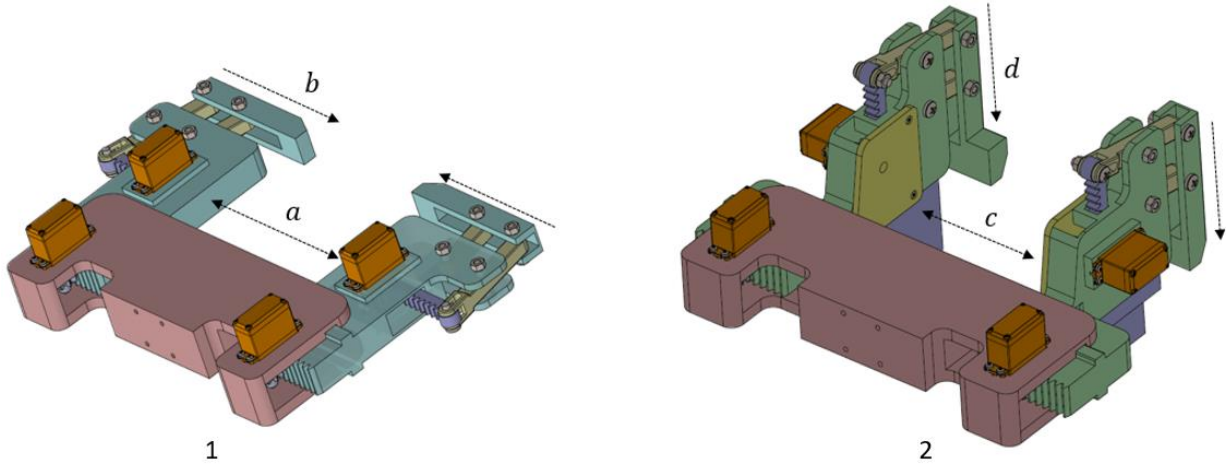


Şekil 5. Kremayer ve Pinyon Dişli ile Tutucu Mekanizma

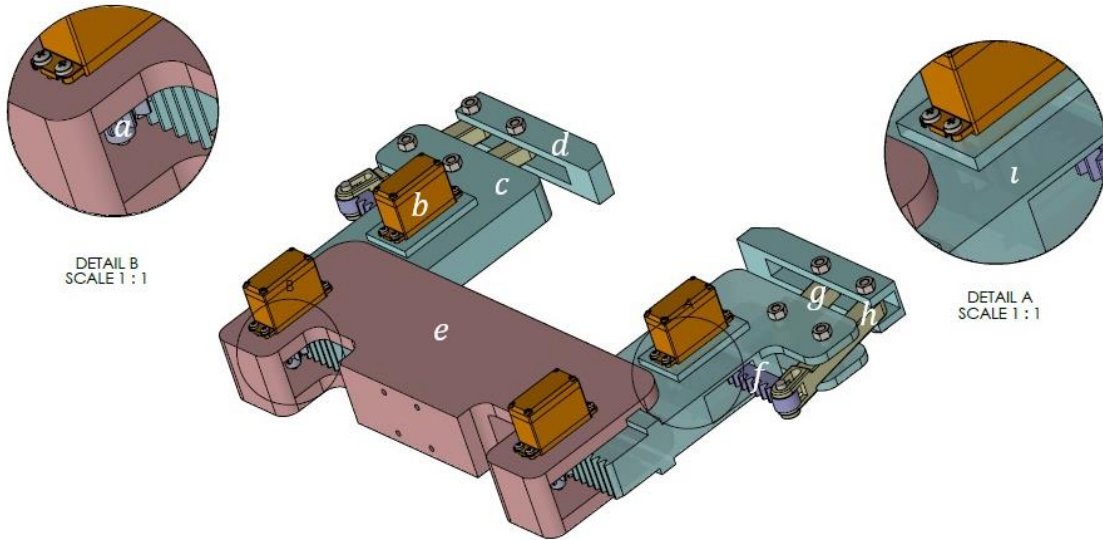
$$F = \frac{M_A}{R} \quad (1)$$

Şekil 5'de paralel çenelere sahip paralel robotik tutucu şematik gösterimi görülmektedir. Eş.(1)'de F paralel çenelerin kavranacak cisime uyguladığı kuvveti,  $M_A$  bu kuvveti sağlayacak tork miktarını, R pinyon tahrik dişlisinin yarıçapını göstermektedir. Hedef parçayı kavramak için ihtiyaca yönelik farklı robotik tutucu uygulamaları bulunmaktadır [11]. Tasarlanacak olan robotik tutucu raf üzerinde bulunan düzgün geometrili kutuları almak için tasarlanacaktır. Bunun için paralel çeneli robotik tutucu

uygulamasının daha verimli sonuçlar vereceği öngörülüp tasarım bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da geliştirilen paralel çeneli robotik tutucuların tasarımları görülmektedir. Birinci robotik tutucu tasarımı a ve b eksenlerinde hareket ederek nesne kavrama işlemini gerçekleştirirken, ikinci robotik tutucu tasarımı c ve d eksenlerinde hareket ederek nesne kavrama işlemi gerçekleştirmektedir [12]. Maksimum kutu kavrama ölçüsünü yükseltebilmek için ikinci robotik tutucu tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Geliştirilen Paralel Çeneli Robotik Tutucu Sistem Tasarımları (1. Robotik Tutucu-1 Tasarımı, 2. Robotik Tutucu-2 Tasarımı)

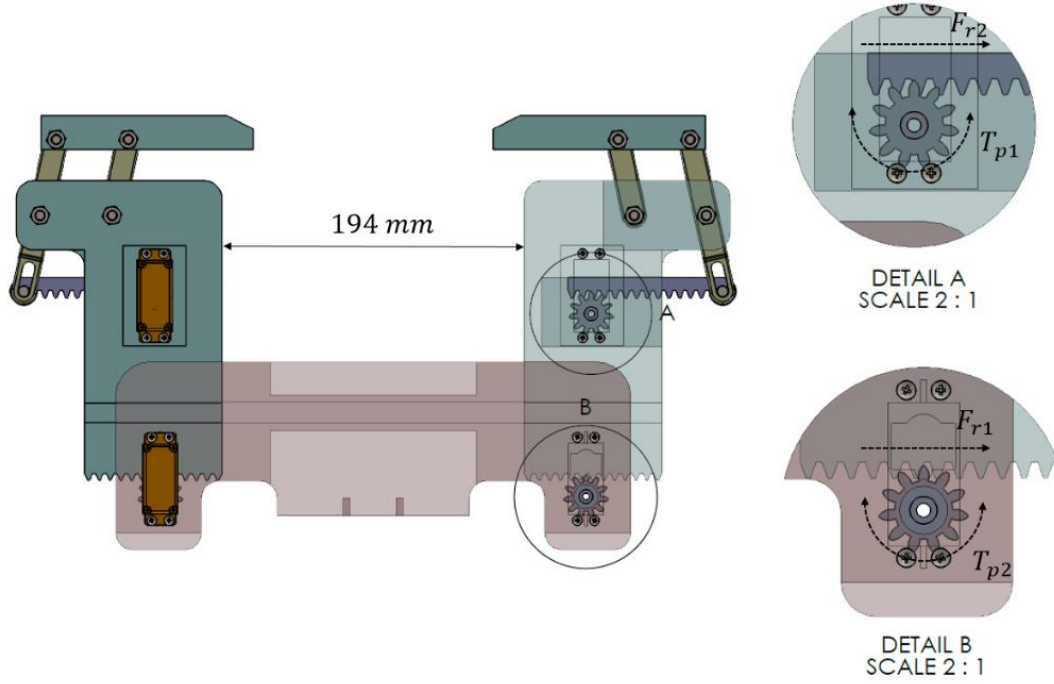


Şekil 7. Robotik Tutucu-1 Sistem Tasarımının Alt Komponentleri (a. Pinyon Dişli, b. Servo Motor, c. Çene-1, d. Çene-2, e. Kılavuz Parça, f. Kremayer Dişli Parça, g. Bağlantı-1, h. Bağlantı-2, i. Çene-2 Pinyon Dişli)

Şekil 7'de görüldüğü üzere birinci robotik tutucu sistem tasarımında 4 adet servo motor ile tahrik edilen kremayer dişli sistemi kullanılmıştır. Robotik tutucu sistem, kavranması istenen kutunun ilk yüzey alanından yakalayıp, kutu yanıl yüzeylerine baskı uygular ve teleskobik mekanizma vasıtasıyla nesneyi robot üzerine alma işlemini gerçekleştirir. Fakat kavrayabileceği nesne ölçüleri sınırlıdır, daha büyük geometrili nesnelere kavrayabilmesi için çene tasarım ölçülerinin büyütülmesi gerekmektedir bu durum da 1 kg olarak belirlenen robotik tutucu sistem ağırlık değerlerinin üstüne çıkmasına sebebiyet vermektedir. Bu durum kaynaklı paralel çeneli robotik tutucu için ikinci bir tasarım geliştirilmiştir.



Şekil 8’de görüldüğü üzere robotik tutucu-1 sistem tasarımı, 2 adet çene-1, 2 adet çene-2 ve 1 adet kılavuz parçasından oluşur. Çene-1 nesneyi x ekseninde sıkıştırıp kavramak için tasarlanmıştır. X eksenindeki hareket servo motor tahrikli pinyon dişli yardımı ile kılavuz parça üzerindeki kremayer dişli bölgesinin hareketi sonrası oluşur. Çene-2 yapısı x ekseninde hareket ederek nesneyi x ekseninde kavrandıktan sonra y eksenindeki hareketini çekme yönünde kısıtlar. Böylece y ekseninde teleskobik mekanizma tarafında çekilen nesne kaymadan kavranmış olur. Mobil depo robotu, kutu ölçüleri standardize edilmiş depolarda kullanılmak için tasarlanmıştır.



Şekil 8. Robotik Tutucu-1 Sistem Tasarımına Etkiyen Kuvvetler

Şekil 8’de iki adet kremayer pinyon dişli mekanizması görülmektedir. Yatay kremayer dişli uygulamalarında kütle hareketinden iki kuvvet sorumludur. Yatay kremayer dişli uygulamalarında kütle hareketinden iki kuvvet sorumludur. Birinci kuvvet kılavuz parçasına etki eden statik sürtünme kuvveti, ikinci kuvvet ise kütleli ivmelendirip hareket etmesini sağlayan kütle atalet kuvvetidir. Pinyon dişlisinin atalet momenti Eş.(2)’de belirtildiği gibi hesaplanır, Eş.(3)’de hesaplanan açısal ivme değeri ile çarpılarak kütle atalet tork değeri elde edilmiş olur. Eş.(4)’de sürtünme kuvveti kaynaklı tork değeri ve kütle atalet kuvveti kaynaklı tork değeri toplanarak motor seçimi için gerekli olan genel tork denklemi ifadesi elde edilmiş olur.  $T_{p(i)}$  pinyon dişlisinde oluşan tork değerini,  $F_{s(i)}$  sürtünme kuvvetini ve  $r_p$  pinyon dişlisi yuvarlanma dairesi yarıçapını,  $\omega$  açısal hız değerini,  $m_{c(i)}$  çene kütlesi,  $g$  yerçekimi ivmesini,  $\mu$  sürtünme katsayısını ifade etmektedir. Çizelge 1’de hesaplanan birinci tasarım parametreleri görülmektedir.

$$J = \frac{1}{2} \times m_p \times r_p^2 \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (3)$$

$$\Delta\omega = \omega_{final} - \omega_{başlangıç}$$

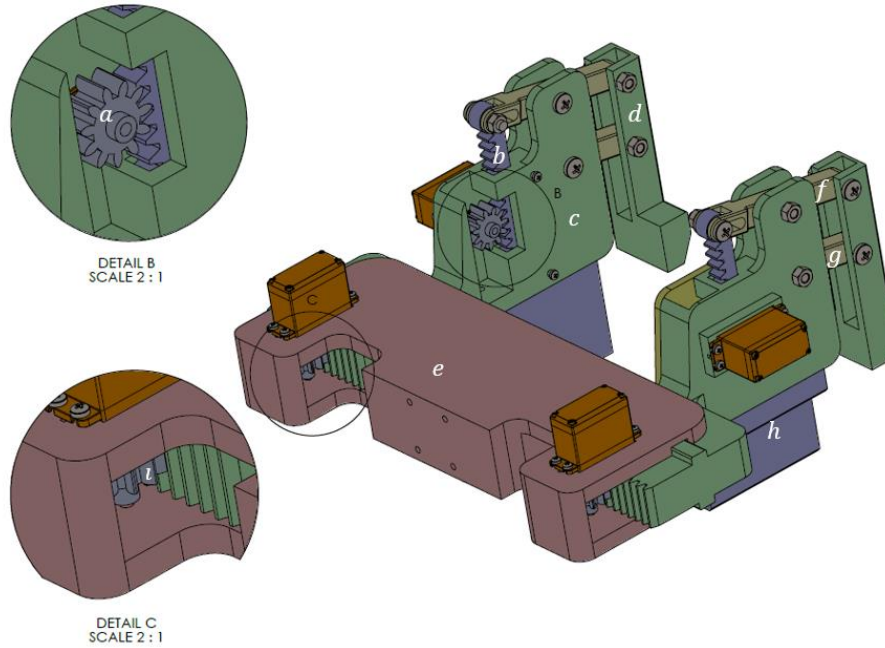
$$T_{p(i)} = (F_{s(i)} \times r_p) + (J \times \alpha) \quad (4)$$

$$T_{p(i)} = (m_{c(i)} \times g \times \mu \times r_p) + \left( \frac{1}{2} \times m_p \times r_p^2 \times \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \right) \quad (5)$$

**Çizelge 1.** Birinci Robotik Tutucu Sistem Tasarım Parametreleri

mç1	mç2	g	$\alpha$	J	Tp1	Tp2	$r_p$
0,467 kg	0,061 kg	9,81 m/s <sup>2</sup>	5,23 rad/sn	0,86 kg.m <sup>2</sup>	22,29 Nmm	4,27 Nmm	11,34 mm

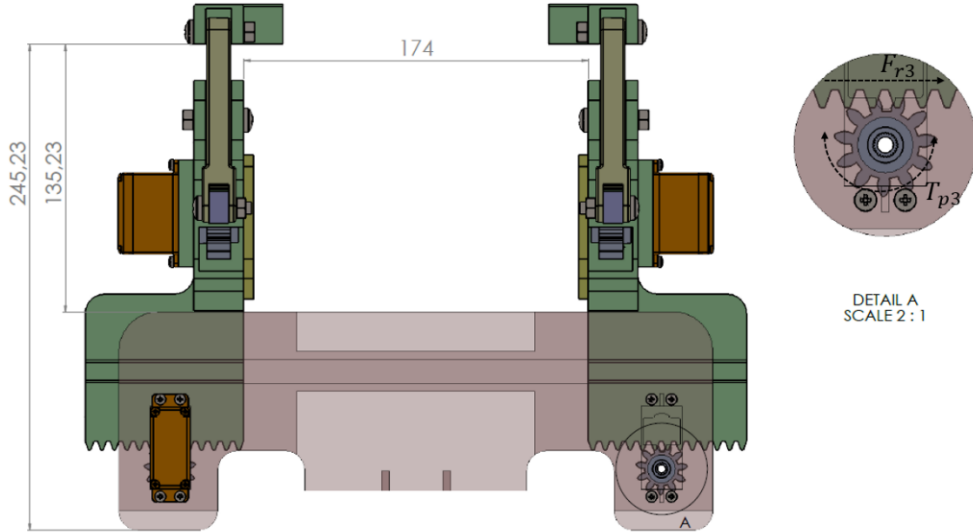
İkinci robotik tutucu sistem tasarımı, birinci tasarım hedef nesne ölçülerinin üstünde kavrama yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. 4 adet servo motor ile tahrik edilen kremayer dişli sistemi kullanılmıştır. Robotik tutucu, kavranması istenen kutunun arka yüzeyinden kavrama işlemi gerçekleştirip, kutu yan yüzeylerine baskı uygular ve teleskobik mekanizma vasıtasıyla nesneyi robot üzerine alma işlemini gerçekleştirir. Daha büyük geometrili nesnelere kavrayabilmesi için yan alınlı yakalayacak şekilde yatay kremayer dişli mekanizması, nesne arka yüzeyini yakalaması için de düşey kremayer dişli mekanizma tasarımları geliştirilmiştir.



**Şekil 9.** Robotik Tutucu-1 Sistem Tasarımının Alt Komponentleri (a. Çene-1 pinyon dişli, b. Kremayer Dişli, c. Çene-1, d. Çene-2, e. Klavuz Parça, f. Bağlantı-2, g. Bağlantı-1, h. Paralel Çene)

Şekil 9’da görüldüğü üzere ikinci paralel çeneli robotik tutucu tasarımı, 2 adet çene-1 yapısı, 2 adet çene-2 yapısı ve bir adet klavuz parçasından oluşur. Çene-1 yapısı nesneyi x ekseninde sıkıştırıp kavramak için tasarlanmıştır. X eksenindeki hareket, servo motor tahrikli pinyon dişli yardımı ile klavuz parça üzerindeki kremayer dişli kısmın hareketi aracılığıyla oluşur. Çene-2 yapısı y ekseninde hareket ederek nesneyi z ekseninde kavradıktan sonra z eksenindeki hareketini çekme yönünde kısıtlar. Böylece z ekseninde teleskobik mekanizma tarafından çekilen nesne kaymadan kavranmış olur.



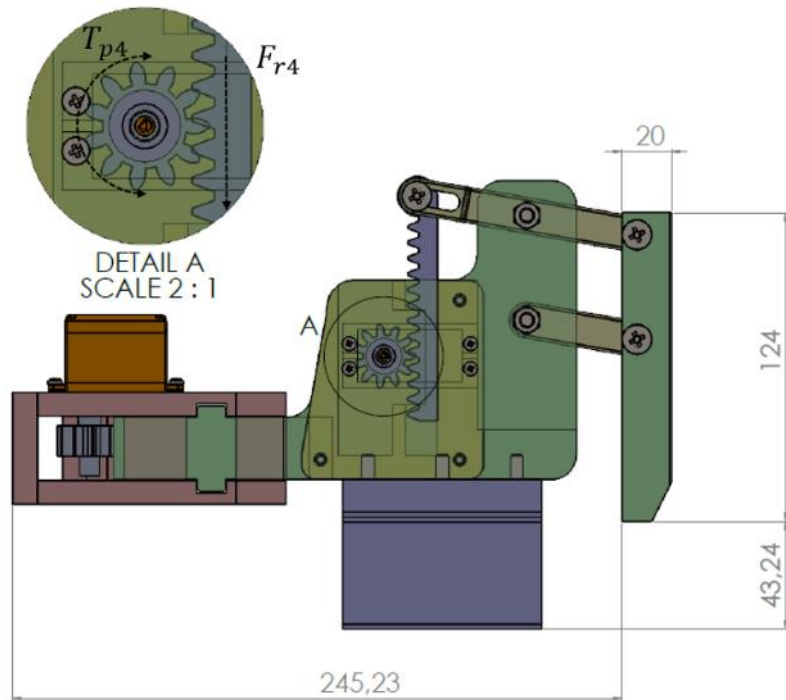


Şekil 10. Robotik Tutucu-2 Sistem Tasarımı

Yatay kremayer dişli uygulamalarında kütle hareketinden iki kuvvet sorumludur. Birinci kuvvet kılavuz parçasına etki eden statik sürtünme kuvveti, ikinci kuvvet ise kütleyle ivmelendirip hareket etmesini sağlayan kütle atalet kuvvetidir. Şekil 10'da ikinci tasarıma etkiyen yatay kuvvet görülmektedir. Eş.(5) kullanılarak ikinci tasarımın yatay tahrik motorlarının tork değerleri hesaplanabilir. Hesaplanan tork değerleri dikkate alınarak dikey ve yatay kremayer dişli uygulamaları için 0,98 N.m torka sahip MG995 servo motoru seçilmiştir. Çizelge 2'de hesaplanan tasarım parametre değerleri görülmektedir.

Çizelge 2. Robotik Tutucu-2 Sistem Tasarım Yatay Mekanizma Tasarım Parametreleri

$m_{c3}$	$g$	$\alpha$	$J$	$T_{p3}$	$r_p$
0,526 kg	9,81 $m/s^2$	5,23 rad/sn	0,86 $kg.m^2$	24,9 Nmm	11,34 mm



Şekil 11. Robotik Tutucu-2 Sistem Tasarımına Etkiyen Dikey Kuvvetler.

Dikey kremayer dişli uygulamalarında yük kılavuzlama yönünde hareket eder, böylece hareket ettirilen kütleyle bağlı kuvvet kılavuzlama esnasında parçalar arasında oluşan sürtünmeden etkilenmez. Şekil 11’de dikey hareket esnasındaki etkiyen kuvvetler teknik resim üzerinde gösterilmiştir. Eş.(6)’de dikey kremayer dişli uygulaması için motor seçimi için gerekli tork değeri hesaplaması yapılmıştır. Eş.(6)’de görülen  $m_{kd}$  kremayer dişli parçasının kütleini,  $m_p$  pinyon dişli parçasının kütleini belirtmektedir. Çizelge 3’de dikey kuvvetler için hesaplanmış tasarım parametre değerleri görülmektedir.

$$T_{p4} = (m_{kd} \times g \times \mu \times r_p) + \left( \frac{1}{2} \times m_p \times r_p^2 \times \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \right) + (m_{kd} \times g) \quad (6)$$

**Çizelge 3.** Robotik Tutucu-2 Sistem Tasarımı Dikey Mekanizma Tasarım Parametreleri

$m_{kd}$	$g$	$\mu$	$T_{p4}$	$J$	$r_p$	$m_p$
0,0108 kg	9,81 m/s <sup>2</sup>	0,4	2,05 Nmm	1,52 kg.m <sup>2</sup>	11,34 mm	0,0045 kg

İkinci mekanik robotik tutucu sistem tasarımında robotik tutucunun kavrayabileceği maksimum kutu ölçüleri 194 mm genişlik, 414 mm uzunluk, 188 mm yükseklik değerleri olarak tespit edilmiştir.

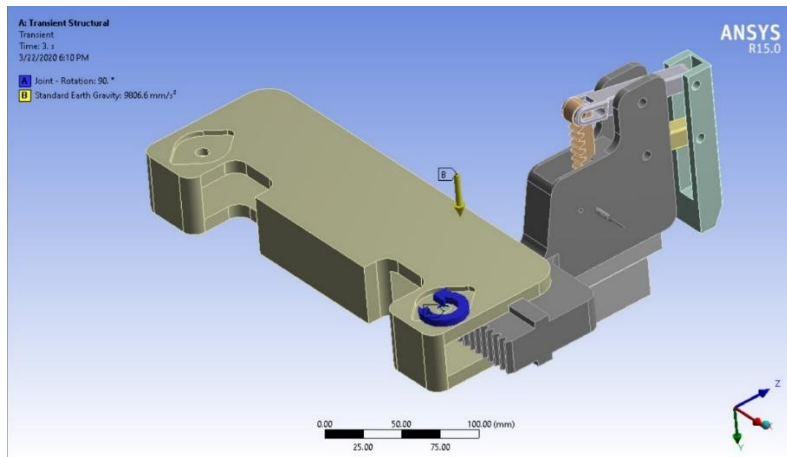
**Çizelge 4.** Gerçekleştirilen Tasarımların Sonuç Parametreleri

Tasarım Parametreleri	Robotik tutucu-1	Robotik tutucu-2	Hedef Değer
Maksimum Taşıyabileceği Yük	1,185 kg	1,27 kg	1 kg
Maksimum Kutu Genişlik Değeri	194 mm	194 mm	180 mm
Maksimum Kutu Uzunluk Değeri	123 mm	414 mm	250 mm
Maksimum Kutu Yükseklik Değeri	226 mm	188 mm	100 mm
Taşınacak Malzeme	Karton	Karton	Karton
Robotik Tutucu Sistem Malzeme	ABS	ABS	ABS
Robotik Tutucu Sistem Ağırlığı	0,815 kg	0,73 kg	1 kg

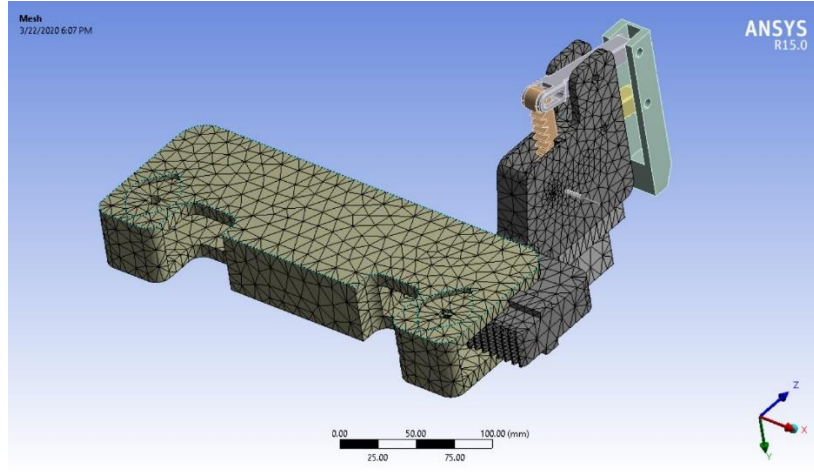
Çizelge 4’de yapılan iki robotik tutucu sistemin tasarım kabiliyetleri hedef değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Birinci tasarımın kutu uzunluk hedef değerini sağlayamadığı görülmektedir. Geliştirilen ikinci tasarım diğer parametreleri sağladığı gibi kutu uzunluk değerinin 1,6 katını sağladığı tespit edilmiştir.

### 3. ROBOTİK TUTUCU TAHİRİK SİSTEMİ YAPISAL ANALİZİ

Robotik tutucu sisteminde en yüksek tork değerinin uygulandığı kremayer dişli parçanın yapısal analizi gerçekleştirilerek dişlerde oluşan gerilme miktarları incelenmiştir. Şekil 12’de analiz modeli için uygulanan sınır koşulları görülmektedir. A ile gösterilen sınır koşulu bağlantı tipi y ekseninde dönme serbestliğine sahiptir. Pinyon dişlinin gerçekleştirdiği açısal hareket, zamana bağlı olarak 0°, 30°, 60° ve 90° olacak şekilde girilmiştir. B ile gösterilen sınır koşulu y ekseninde uygulanan yerçekimi ivmesini belirtmektedir.



**Şekil 12.** Robotik Tutucu Yapısal Analiz Modeli Sınır Koşulları



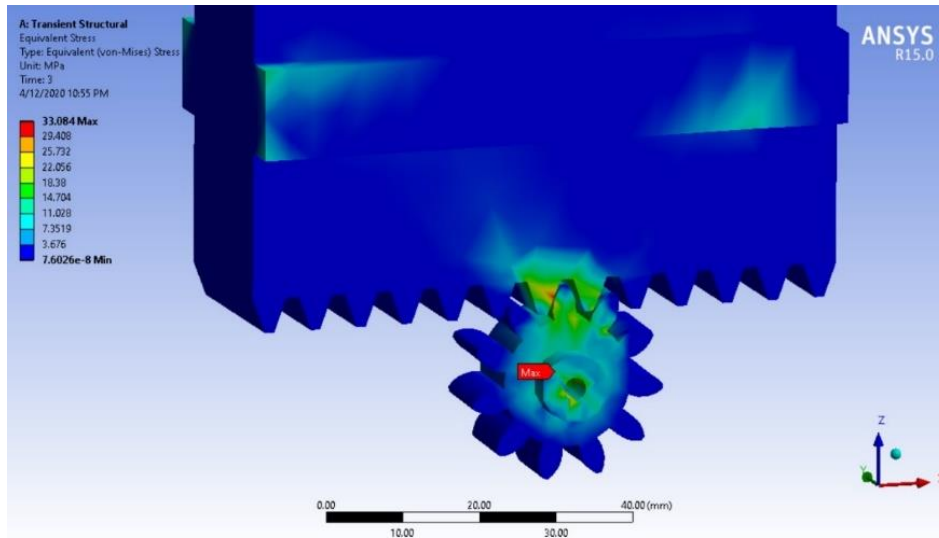
Şekil 13. Robotik Tutucunun Hesaplama Ağı Modeli

Şekil 13’de hesaplama ağı modeli görülmektedir. Tetrahedral hesaplama ağ örgüsü oluşturulmuştur. Hesaplama ağı modeli Çizelge 5’de görüldüğü üzere 49935 adet düğüm noktasına ve 24086 adet elemana sahiptir.

Çizelge 5. Hesaplama Ağı Modeli Özellikleri

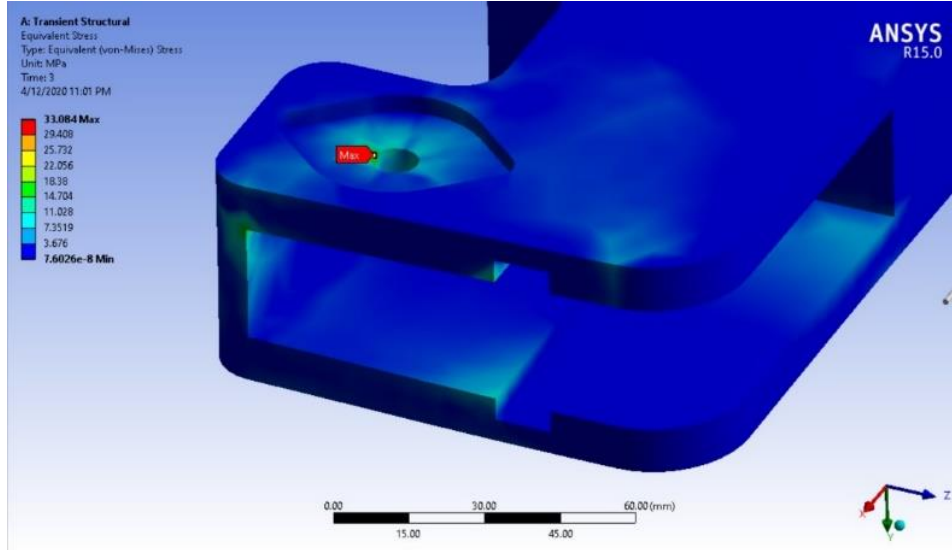
Hesaplama Ağı Parametreleri	Değer
Düğüm Noktası	49935
Eleman	24086
Malzeme	ABS
Hesaplama Ağı Tipi	Tetrahedral

Şekil 14’de kremayer dişli mekanizmasındaki maksimum gerilmenin olduğu bölge görülmektedir. PLA türevi malzemelerin iyi süneklik özellikleri nedeniyle daha ayrıntılı parçalar için kullanılmaktadır fakat bunun yanında mekanik dayanım özellikleri düşüktür. ABS türevi malzemeler PLA türevi malzemelere göre daha sert olmalarının yanında yüksek dayanım özelliğine sahip oldukları için analiz sonuçlarını destekleyecek şekilde parça imalatları için baskıda ABS filament seçilmiştir. Yapısal analiz sonucunda maksimum 33,084 MPa gerilme görülmektedir, ABS malzemenin akma gerilmesi 40 MPa olarak alınmıştır [13]. Tasarımdaki güvenlik faktörü 1,2 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 14. Kremayer Pinyon Dişli Yapısının Gerilme Dağılımı

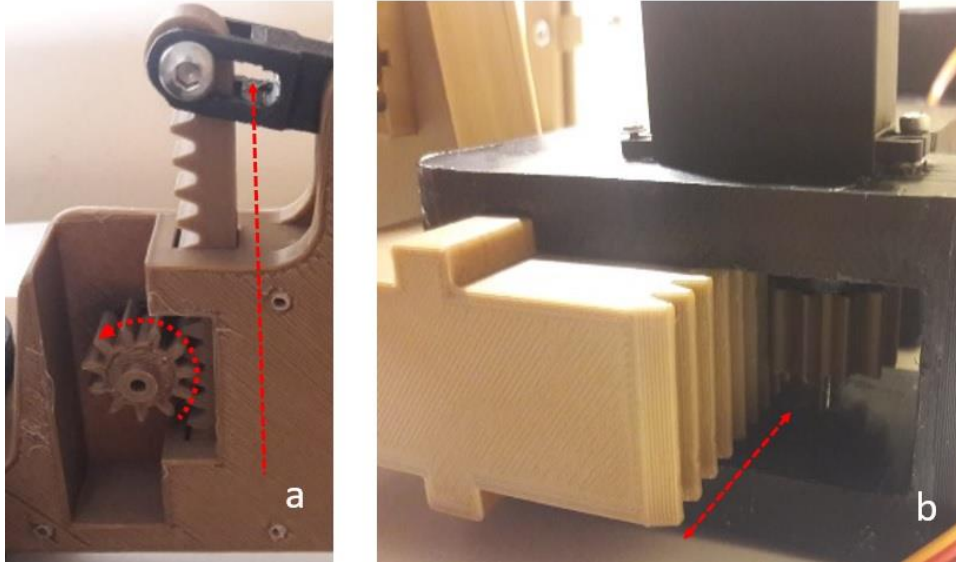
Şekil 15’de kılavuzlama parçasında ve pinyon dişli motor mili bağlantı noktasında maksimum 33,084 MPa gerilme değeri olduğu görülmektedir. Ayrıca, Şekil 15’de pinyon dişli yataklamasının yapıldığı bölgede 33,084 MPa maksimum gerilme değeri olduğu görülmektedir.



Şekil 15. Kılavuzlama Bölgesi Gerilme Dağılımı

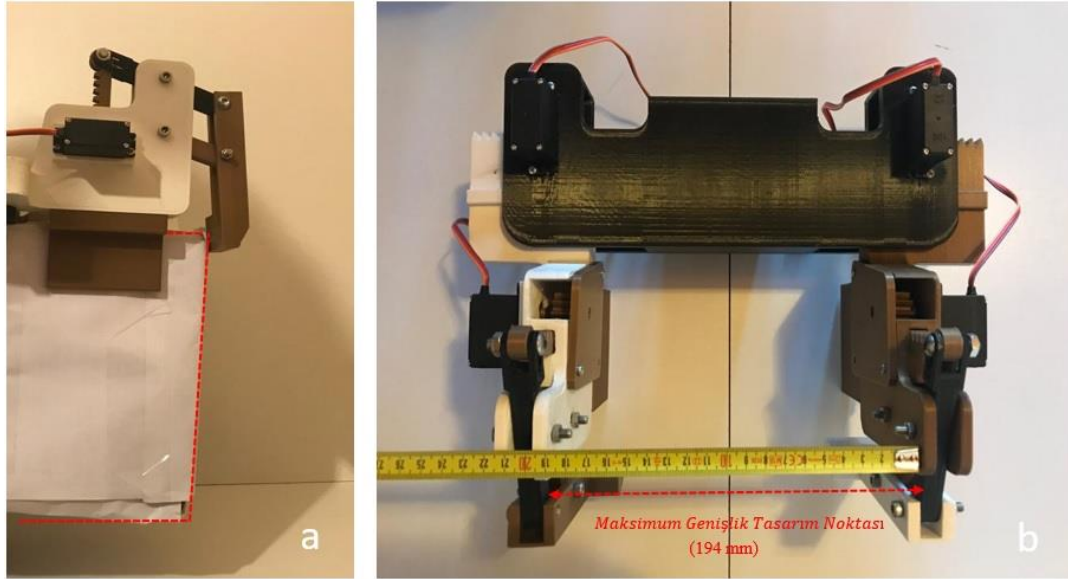
#### 4. EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ İLE PROTOTİP ÜRETİMİ

Mekanik tasarımı gerçekleştirilen robotik tutucu, Creality 3D-CR-10S pro model 3B yazıcı ile ergiyik biriktirme eklemeli imalat yöntemi ile ABS filament malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Baskı işleminde 40 mm/s baskı hızı ile 0.30 mm katman kalınlığında %100 doluluk oranına sahip katmanlar oluşturulmuştur. 3B yazıcı ile imalatı gerçekleştirilen parçaların yüzey pürüzlülük değerleri birbirine göre montaj ilişkisi içerisinde çalışan parçaların sürtünme katsayılarını arttırarak, tahrik motoru tasarımı tork değerlerinin üstüne çıkmasına sebebiyet vermektedir. Bu sebepten ötürü yüzey pürüzlülük değerleri ve geçme toleranslarını istenilen  $\pm 0,1$  mm mertebesine getirebilmek için freze işleminden geçmiştir. Mafsal hareketi yapan bölgelerde  $\pm 0,5$  mm tolerans ile çalışılmıştır.



Şekil 16. Robotik Tutucu Sistemin Dikey ve Yatay Kremayer-Pinyon Dişli Mekanizmaları İle Hareketi:  
(a) Dikey Uygulama. (b) Yatay Uygulama

Şekil 16(a)'da dikey kremayer ve pinyon dişli uygulaması örneği görülmektedir. Servo motor ile pinyon dişliye dönme momenti etkisi verilerek istenilen dikey hareket başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir. Şekil 16(b)'de yatay kremayer-pinyon dişli mekanizması görülmektedir. Servo motor ile pinyon dişliye dönme momenti etkisi verilerek istenilen yatay hareketi başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir.



Şekil 17. Robotik Tutucu Sistem Prototipi : (a) Kutu Kavrama Hareketi. (b) Maksimum Kavrama Uzunluğu.

Kavrama kabiliyeti testlerinde Şekil 17(a) ve Şekil 17(b)'de görüldüğü üzere, robotik tutucunun tasarım noktası olan 194 mm genişlik ölçüsünde kavrama yapabildiği görülmüştür. Gerçekleştirilen fonksiyon testlerinde eş zamanlı bir şekilde kapanma ve açılma hareketlerini gerçekleştirebildiği görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yatay ve dikey kremayer-pinyon dişlileri kullanılarak iki farklı robotik tutucu tasarımı gerçekleştirilmiş ve eklemeli imalat ile üretimi yapılmıştır. Çene-1 ve klavuz parçalarının geleneksel talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak imalatı çok adımlı imalat proseslerine ve zamana ihtiyaç duymaktadır. Bu sebepten ötürü eklemeli imalat yöntemi ile parça üretim işlemi karmaşık geometriye parçaların imalat süreçlerini basite indirgeyerek avantaj sağlamıştır. Her iki robotik tutucuda istenilen eksenlerdeki doğrusal hareketler kremayer-pinyon dişli mekanizmaları ile sağlanmıştır. Her iki mekanizmada oluşturulan doğrusal kuvvetler mafsallı bağlantı yapıları üzerinden istenilen doğrultuya aktarılarak, istenilen kavrama işlemlerinin yaptırılması hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen iki farklı robotik tutucu mekanik tasarımında 4 adet servo motor vasıtasıyla pinyon dişlileri tahrik edilmiştir. Motor ile oluşturulan dairesel hareket kremayer dişliye aktarılmış ve klavuz parça içerisinde yataklanmış şekilde oluşturulan doğrusal kuvvet çene-1 parçasına iletilerek ürünü sıkıştırarak kavrama gerçekleştirilmiştir. Diğer iki adet servo motor tahriki ile oluşturulan dairesel hareket kremayer dişliye aktarılarak doğrusal hareket elde edilmiştir. Robotik tutucu-1 için bağlantı-1 ve bağlantı-2 parçaları yardımı ile x ekseninde oluşturulan doğrusal hareket çene-2 parçasına iletilerek x ekseninde hareket sağlanmıştır. Robotik tutucu-2 için bağlantı-1 ve bağlantı-2 parçaları yardımı ile z ekseninde oluşturulan doğrusal hareket çene-2 parçasına iletilerek -z ekseninde hareket sağlanmıştır. Robotik tutucu-1 tasarımında maksimum 194 mm genişlik, 123 mm uzunluk ve 226 mm yükseklik ölçülerde kutuları kavrayabilmektedir. Robotik tutucu-2 tasarımında maksimum 194 mm genişlik, 414 mm uzunluk 188 mm yükseklik ölçülerinde kutu kavrayabilmektedir. Robotik tutucu-2 ile robotik tutucu-1'e göre 3,5 kat daha fazla uzunluktaki kutular kavranabilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Samir R., Bahavesh P., A Review On Grasping Principle and Robotic Grippers, International Journal of Engineering Development and Research, Vol. 4 , Issue 1, Pages 483-490, 2016.
2. Dilibal S., Guner E., Akturk N. Three-finger SMA robot hand and its practical analysis. Robotica, Vol. 20, Issue 2, Pages 175-180, 2002.
3. Engeberg E.D., Dilibal S., Vatani M, Choi J.W., Lavery J. Anthropomorphic finger antagonistically actuated by SMA plates. Bioinspiration Biomimetics, Vol. 10, Issue 5, Pages 1-15, 2015.



4. Dilibal S., Sahin H., Çelik Y. Experimental and numerical analysis on the bending response of the geometrically gradient soft robotics actuator. *Archives of Mechanics*, Vol. 70, Issue 5, Pages 391-404, 2018.
5. Mantriota G., *Theoretical Model of the Grasp with Vacuum Gripper*, Elsevier, Vol. 42, Pages 2-17, 2007.
6. Khadeeruddin M., Prasad K., Mohammed R., Design and Analysis of a Two-Jaw Parallel Pneumatic Gripper, *International Journal of Computational Engineering Research*, Vol. 3, Issue 12, Pages 41-46, 2013.
7. Diller E., Sitti M., Three-Dimensional Programmable Assembly by Untethered Magnetic Robotic Micro-Grippers, *Advanced Functional Material Journal*, Vol. 24, Pages 4397-4404, 2014.
8. Monkman G. J., Hesse S., Steinmann R., Schunk H., *Robot Grippers*, Wiley-Vch, Weinheim, 2004.
9. Krishnamoorthy K., Design and Development Of A Lead Screw Gripper For Robotic Application, *An International Journal Mechatroj*, Vol. 2, Issue 1, Pages 1-12, 2019.
10. Lanni C., Ceccarelli M., An Optimization Problem Algorithm for Kinematic Design of Mechanisms for Two-Finger Grippers, *The Open Mechanical Engineering Journal*, Vol. 3, Pages 49-62, 2009.
11. Nassiraei A., Concept of intelligent mechanical design for autonomous mobile robots, *Kyushu Institute of Technology*, Fukuoka, 2007.
12. Zhengtao H., Weiwei W., Kensuke H., Designing a Mechanical Tool for Robots with 2-Finger Parallel Grippers, *arXiv*, 1, 2019.
13. Galeja M, Hejna A, Kosmela P, Kulawik A, "Static and Dynamic Mechanical Properties of 3D Printed ABS as a Function of Raster Angle", 2020.