

DEĞİŞKEN KOL BOYUNA SAHİP LOJİSTİK AMAÇLI MANİPÜLATÖR TASARIMI, ÜRETİMİ VE KONTROLÜ

Duru ASİL - Hilal Tuğçe KARAMAN - Talha Aybars CAN - Mehmet KARAKUŞ - Furkan AKSOY

Danışman : Prof. Dr. Levent MALGACA



Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü



ÖZET

Bu proje kapsamında, sınırlı alanlarda çalışabilecek, üç eksenli hareket kabiliyetine sahip bir robotik manipülatör tasarlanmış, analiz edilmiş ve prototip olarak üretilmiştir. Manipülatör, gerektiğinde uzayabilen ve çalışmasını tamamladıktan sonra katlanarak kompakt hâle gelebilen yapıyla mevcut lojistik manipülatörlerden ayrılmakta, dar alanlarda kullanım avantajı sunmaktadır. Tasarım süreci SolidWorks programı ile gerçekleştirilmiş; sistem üzerinde statik, frekans ve hareket analizleri uygulanarak dayanıklılığı ve performansı test edilmiştir. SolidWorks üzerinden yapılan hareket analizleri doğrultusunda uygun motor seçimi gerçekleştirilmiştir. Kontrol algoritması GMT Suite programı ile geliştirilmiş, prototipin hareketleri ise bir PLC sistemi aracılığıyla kontrol edilmiştir.

GİRİŞ

Robotik depolama sistemleri; depo ve lojistik süreçlerde verimliliği, güvenliği ve hızı artırmak için robot teknolojilerinden faydalanan modern çözümlerdir. İnsan hatalarını azaltır, alan kullanımını optimize eder ve kesintisiz çalışarak üretkenliği artırır. Özellikle e-ticaret, otomotiv, sağlık ve perakende gibi sektörlerde ürünlerin güvenli depolanması ve zamanında teslimatı için tercih edilir.^[1]

AMAÇ

Projenin temel amacı, lojistik depolama alanlarında verimliliği artırmak ve alan kullanımını optimize etmek amacıyla yenilikçi bir manipülatör geliştirmektir. Bu kapsamda değişken kol uzunluğuna sahip bir manipülatör tasarımı gerçekleştirilecektir. Mevcut sabit kollu robotların aksine, önerilen sistem, dar alanlarda etkin bir yerleştirme yapabilmek için kol uzunluğunu ayarlama yeteneğine sahip olacak ve böylece ürün yerleştirme için gereken alanı önemli ölçüde azaltacaktır.

YÖNTEM

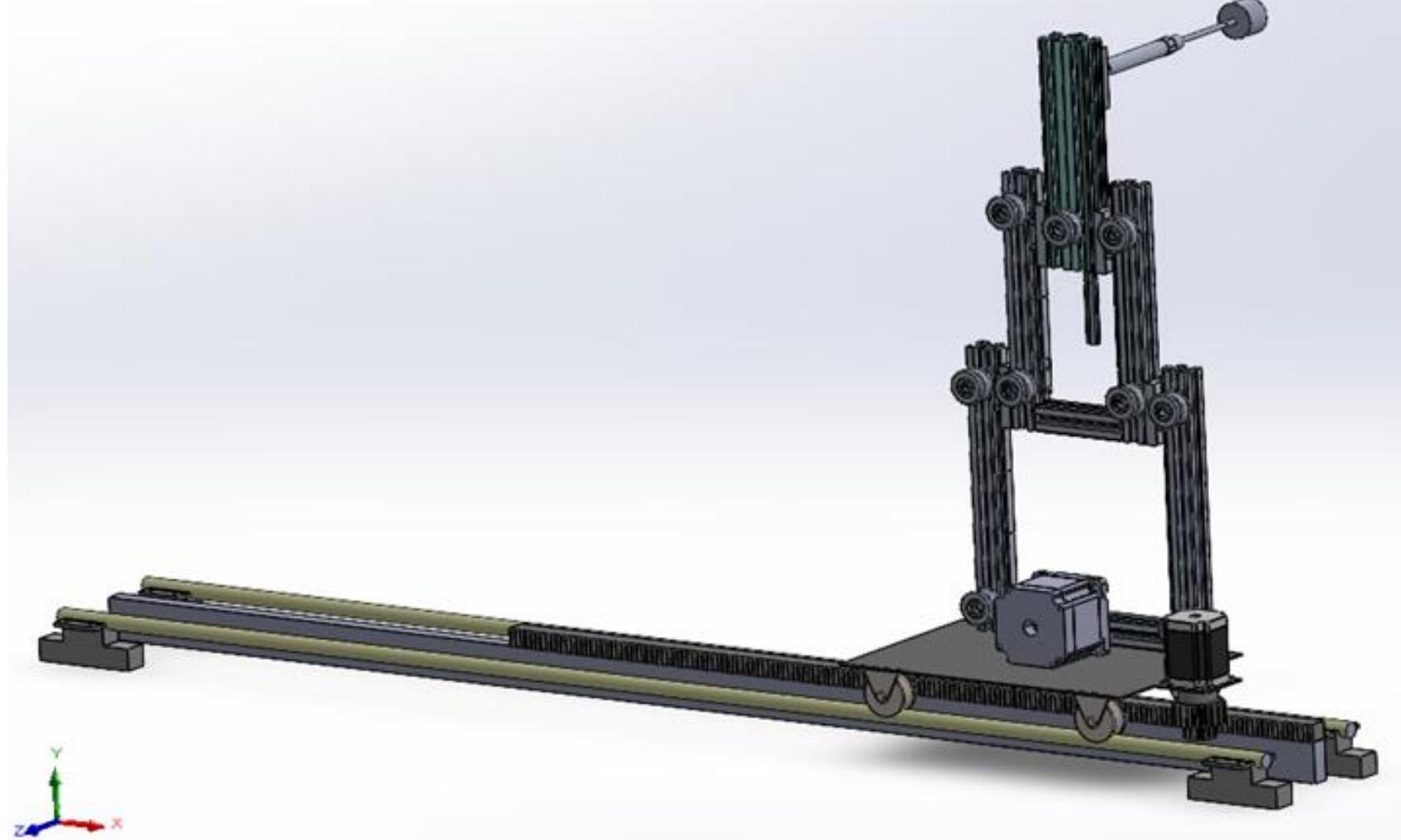
- 1- Problemin Belirlenmesi
- 2- Literatür Taraması
- 3- Tasarım Süreci
- 4- Yapısal Analiz Çalışmaları
- 5- Hareket Analizi
- 6- Montaj
- 7- Kontrol Sistemi Geliştirme

TASARIM

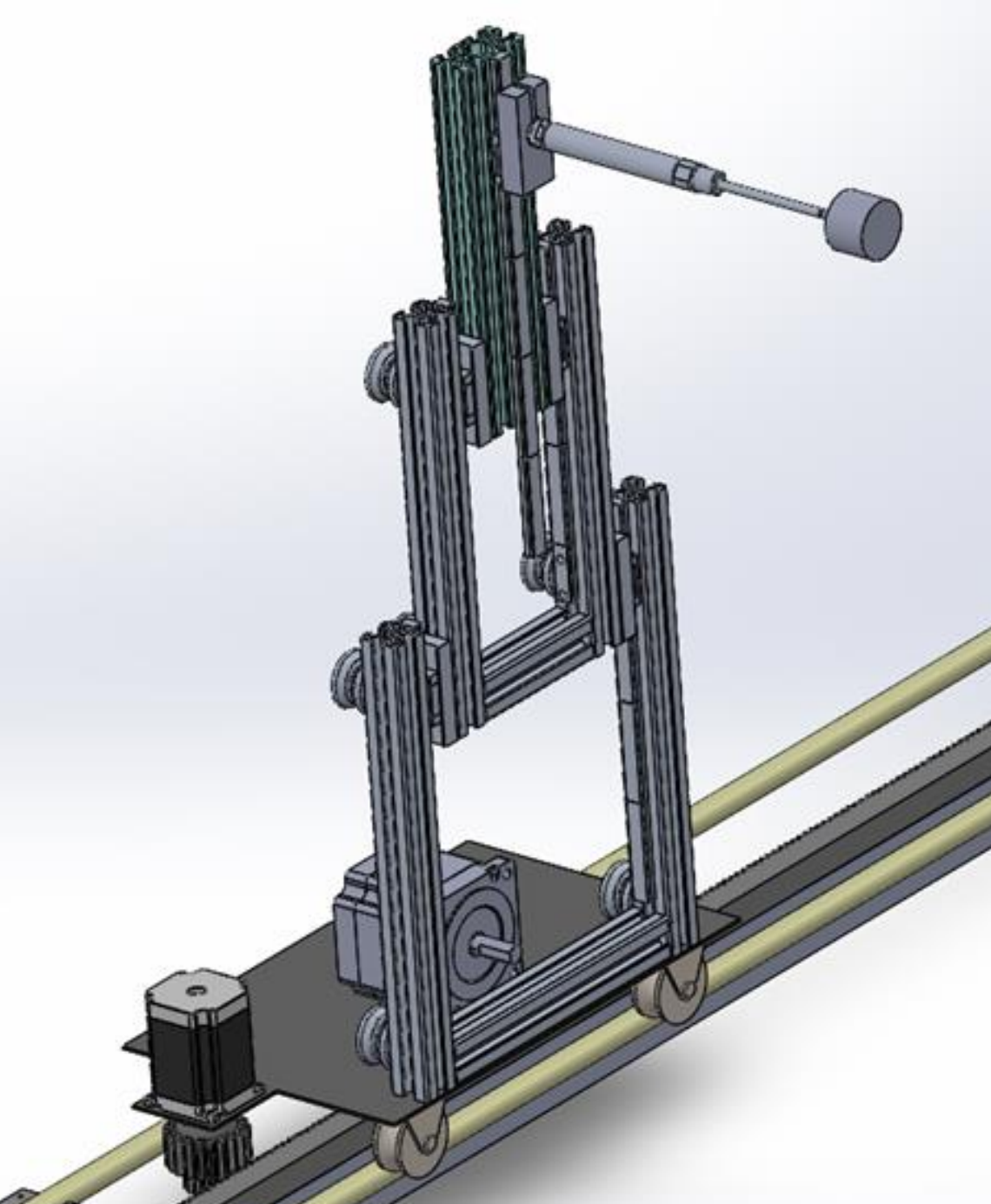
Robotik sistemde eksenel hareketler üç farklı mekanizma ile sağlanmıştır:

- X eksenli hareketi, yüksek moment aktarımı ve verimlilik sunan kremayer-pinyon mekanizmasıyla gerçekleştirilmiştir.
- Y eksenli, katlanabilir bir taşıyıcı sistemle çalışır; bu sistem, rulmanlı makaralar ve PVC kaplı çelik halatla desteklenen sigma profillerden oluşur.
- Z eksenli için ise pnömatik piston-silindir sistemi tercih edilmiştir. Hava verildiğinde piston uzayarak malzemeyi alır, hava kesildiğinde ise eski konumuna dönerek bırakır. Uç kısmında yer alan elektromıknatıs, enerji verildiğinde aktifleşip malzemeyi tutar, enerji kesildiğinde pasifleşerek bırakır.

Tasarımda alüminyum malzeme kullanılarak, hedeflenen hafiflik/dayanım oranı sağlanmıştır. Y eksenli taşıyıcı yapısı için altı adet 30×30 mm ve bir adet 30×60 mm sigma profil tercih edilmiştir. Tüm montajlar, vida ve T-somun bağlantı elemanlarıyla yapılmıştır.



Şekil 1. SolidWorks programı üzerinden tasarım görseli-1

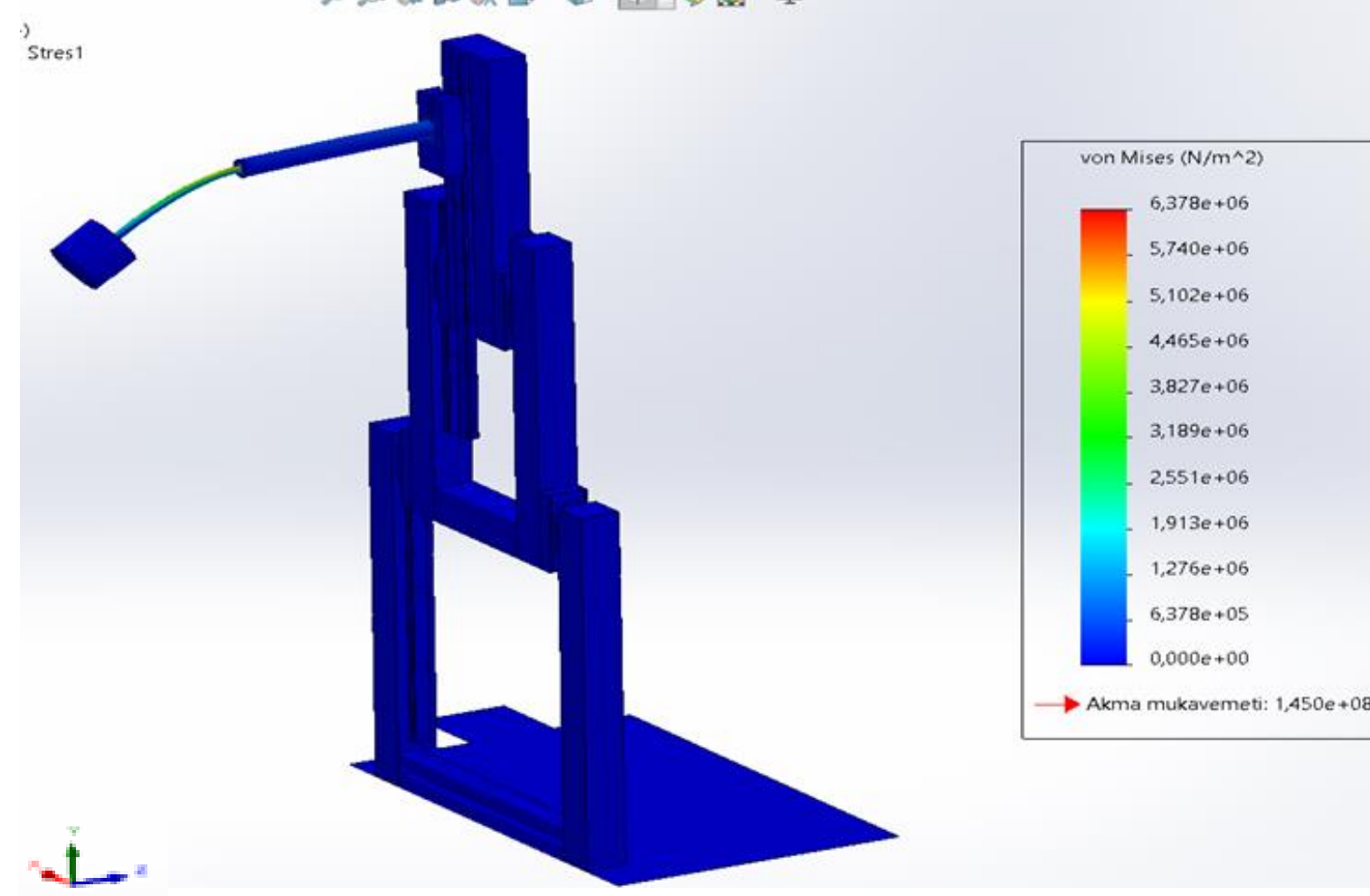


Şekil 2. SolidWorks programı üzerinden tasarım görseli-2

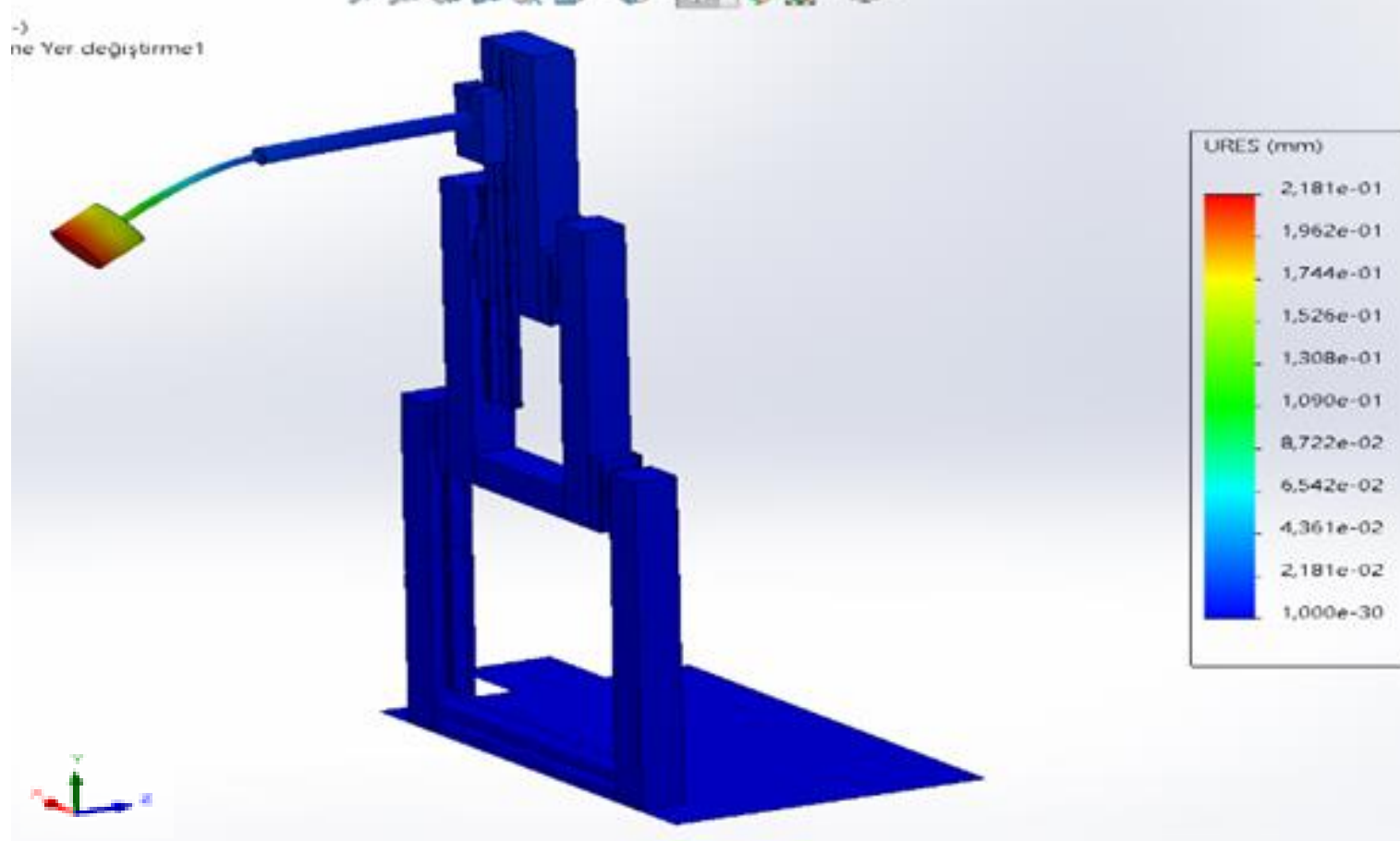
YAPISAL ANALİZ ÇALIŞMALARI

Proje kapsamında yapısal bütünlüğü değerlendirmek amacıyla SolidWorks ortamında sonlu elemanlar yöntemiyle (FEA) statik analizler gerçekleştirilmiştir. CAD modeli uygun sınır koşulları ve malzeme özellikleri ile simülasyona aktarılmış, kritik bölgelere etkiyen yükler altında deformasyon, gerilim (von Mises) ve gerinim dağılımları incelenmiştir.

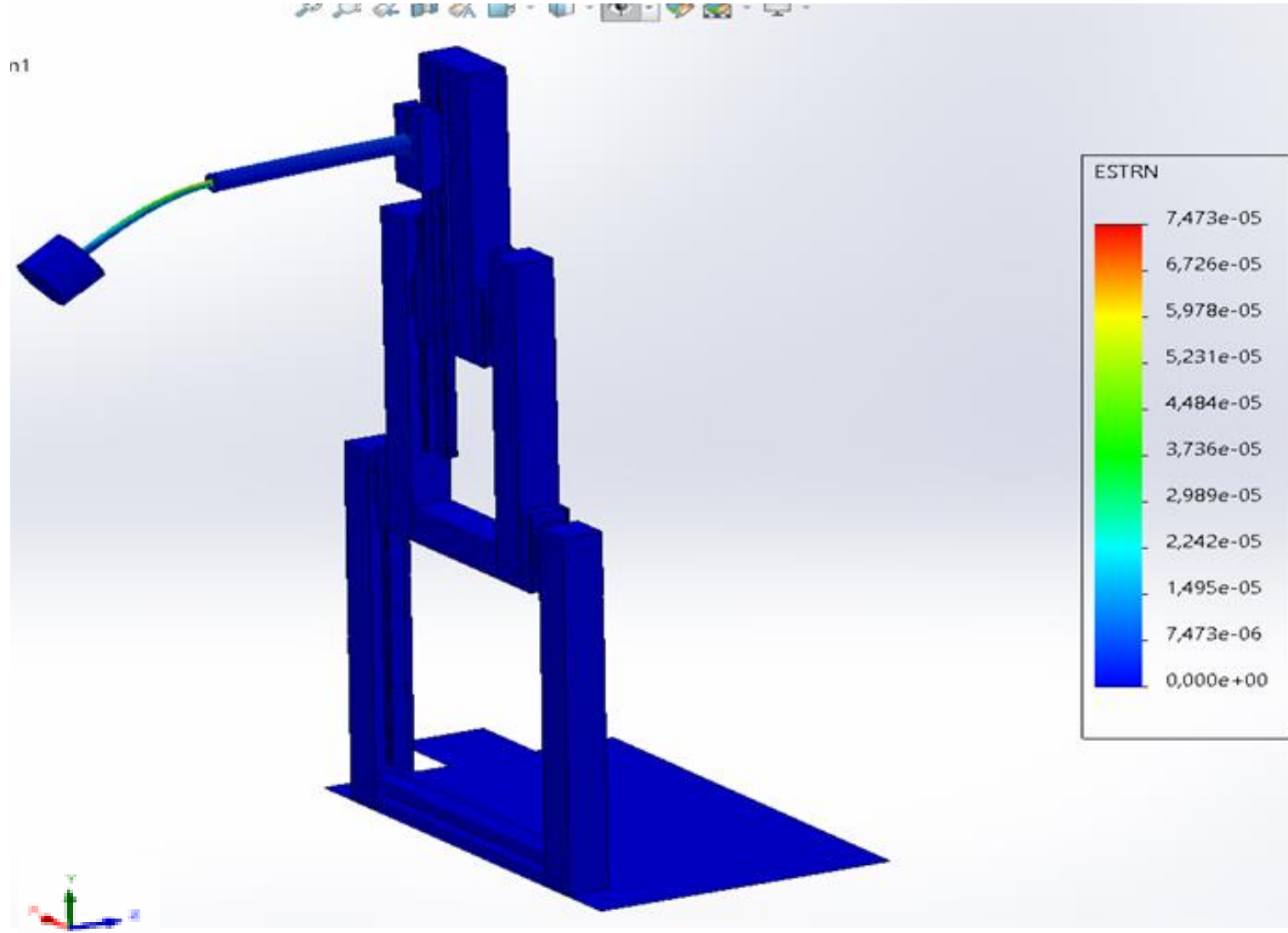
Analiz sonuçları, sistemin yer değiştirme değerlerinin toleranslar içinde kaldığını ve gerilim seviyelerinin malzemenin akma dayanımının altında olduğunu göstermiştir. Bu sayede tasarımın güvenli ve mekanik olarak yeterli olduğu doğrulanmıştır.



Şekil 3. Eşdeğer gerilme dağılımları



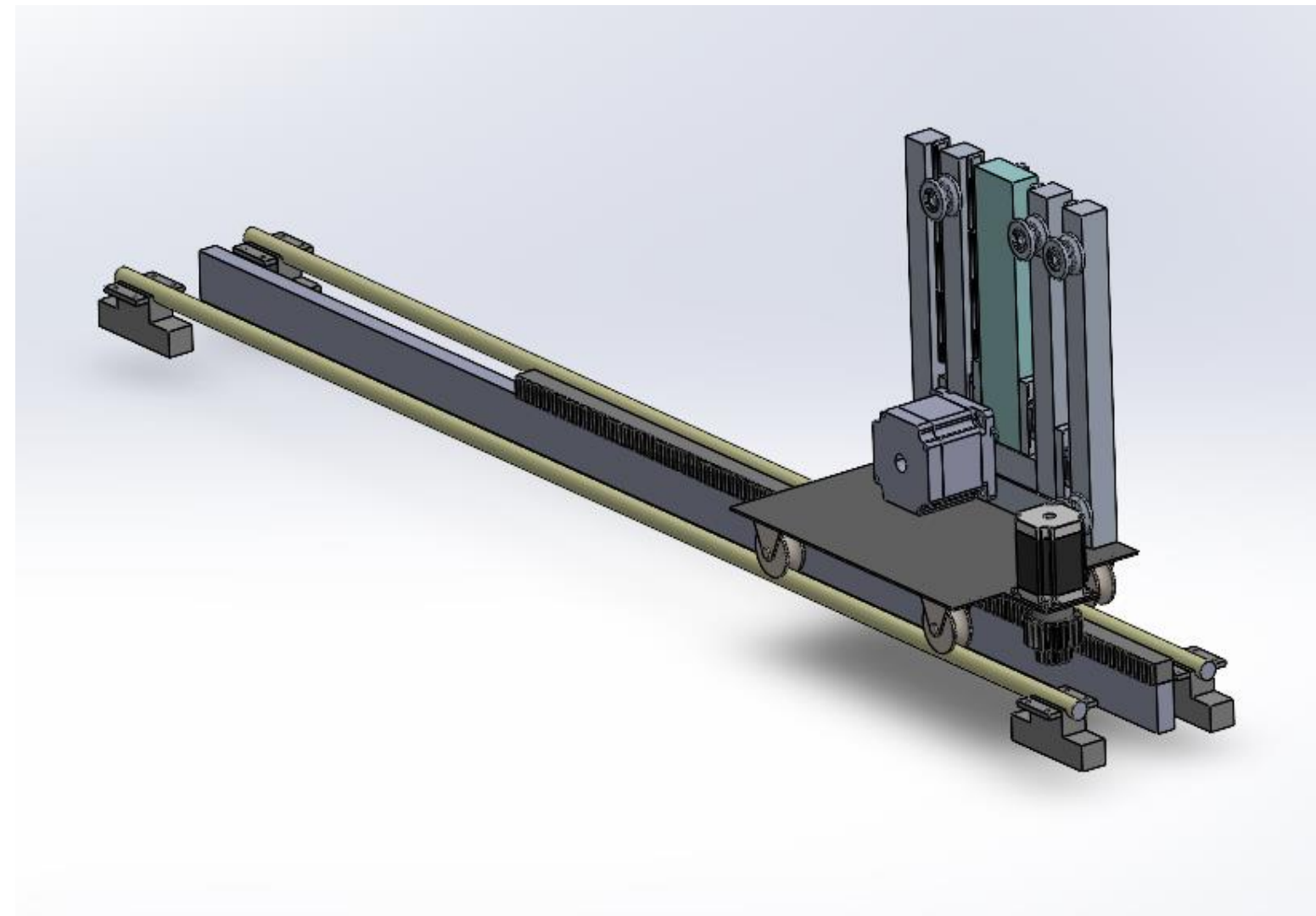
Şekil 4. Yer değiştirme dağılımları



Şekil 5. Gerinim dağılımları

HAREKET ANALİZİ

Alüminyum ve çelik malzemeler kullanılarak, SolidWorks Simulation programı üzerinden M1.5–M2.5 kremayer-pinyon sistemleri için farklı sürelerde (5–30 sn) hareket analizleri yapılmıştır. Açısal hız, tork ve güç değerleri elde edilerek motor seçimi için gerekli veriler belirlenmiştir. Analiz sonucunda, çelik malzemede olup M2.5 kremayer sisteminde pinyonun 15 saniyede 1.5 metre yol alması en uygun senaryo olarak seçilmiştir. Analiz sonucunda alınan tork çıktısı ile Nema 23 step motoru, X eksenli tahriği için seçilmiştir. Kontrol için Nema 23 step motoruna uygun GMT GSTD - 2556 step motor sürücüsü kullanılmıştır.



Şekil 6. SolidWorks programı üzerinden tasarım görseli-3

ÜRETİM VE MONTAJ

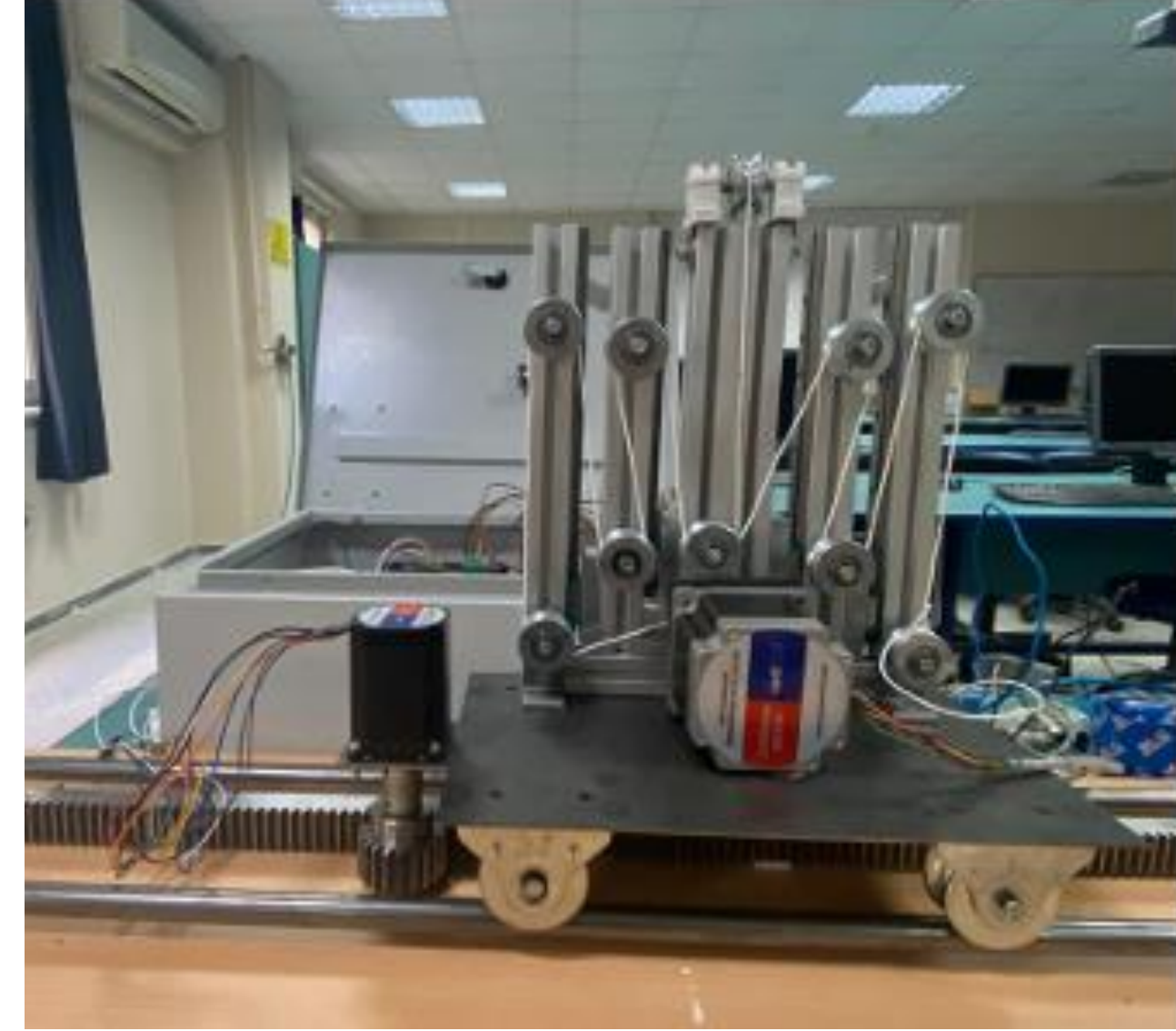
Proje kapsamında 3 eksenli hareket edebilen bir mekatronik sistem tasarlanmış ve montajı gerçekleştirilmiştir. Yapı elemanları olarak alüminyum sigma profiller, lineer kızaklar, kremayer-pinyon, makara-kayış sistemleri, step motorlar (Nema 23 ve Nema 34) ve pnömatik sistem kullanılmıştır.

- X eksenli: 2.5 modül, 1 m uzunlukta kremayer-pinyon mekanizması ile sağlanmıştır. Tekerlekler ve miller, doğrusal hareketi dengeli ve düşük sürtünmeli hale getirir. Bu eksen, Nema 23 step motoru ile tahrik edilmektedir.
- Y eksenli: Platform, Nema 34 step motoru ve 10 adet makaradan oluşan rulmanlı makara-kayış sistemiyle yukarı-aşağı hareket eder. Kızaklar doğrusal yönlendirme sağlar. Bu eksen, Nema 34 motoru ile tahrik edilmektedir.
- Z eksenli: Pnömatik silindir, taşıyıcı kızığa civata-somun bağlantısı ile monte edilmiştir.

Tüm motorlar ve mekanik parçalar, civata-somun ve L braket bağlantılarıyla montajlanmış; oluşan boşluklar takviye plakalarla giderilmiştir.



Şekil 7. Manipülatör açık konumda



Şekil 8. Manipülatör kapalı konumda

KONTROL SİSTEMİ

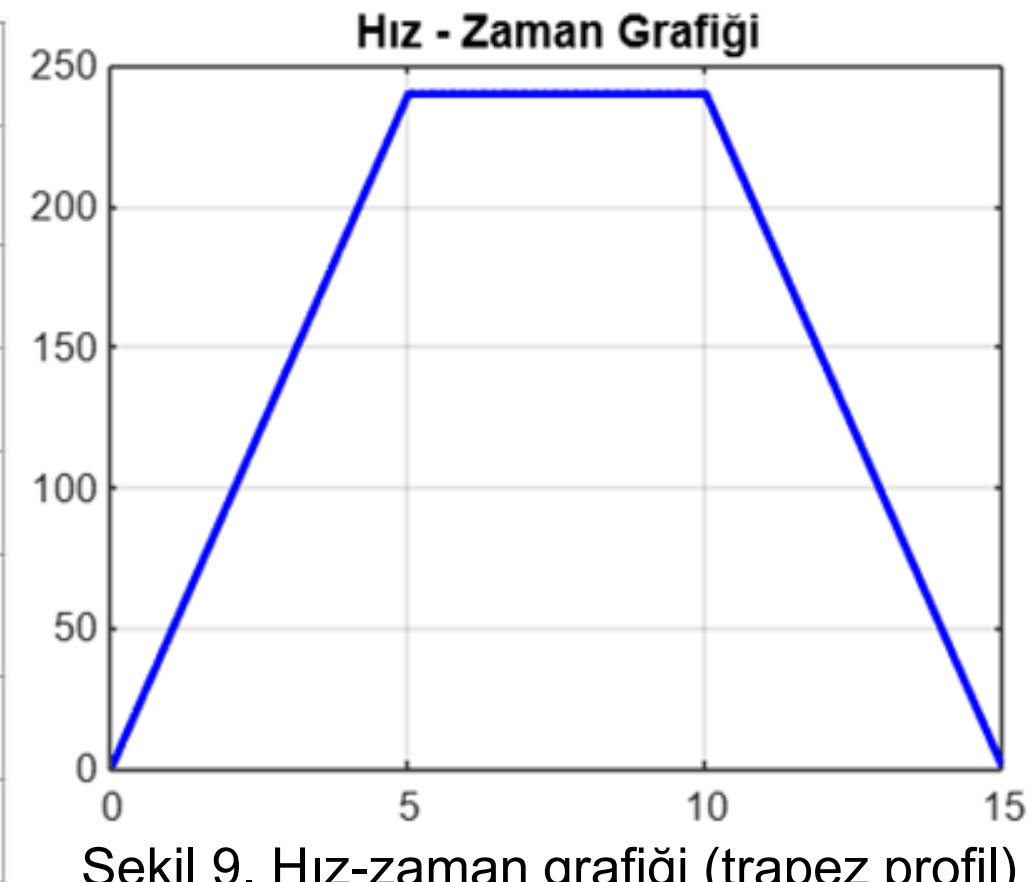
Manipülatör hareketi için GMTSuit yazılımı ile senaryolar oluşturulmuştur. X ve Y eksenleri aynı anda çalışarak makara sistemiyle yükselme ve kremayer-pinyon ile yatay hareketi gerçekleştirir. Hareketler, hızlanma-sabit hız-yavaşlama parametreleriyle verilen puls sayısına göre kontrol edilir.

Tüm hareketler, konuma göre ayarlanmış trapez profil şeklinde puls ve frekans ile kontrol edilmiştir.

GMT GLC-396T model PLC 'ye ek olarak GXM-081A dijital giriş genişletme modülü kullanılmıştır. X ekseninde kontrol için Nema 23 step motoruna uygun GMT GSTD - 2556 step motor sürücüsü, Y ekseninde ise Nema 34 motoruna uygun GMT GSTD - 2860 step motor sürücüsü kullanılmıştır.

Tablo 1. Manipülatör görev aşamaları

Görev No	Görevler
Görev -1	Nema 34'e-Nema 23'e enerji verilir
Görev -2	Pnömatik valf açılır
Görev -3	Mıknatıs aktif olur
Görev -4	Pnömatik valf kapatılır
Görev -5	Nema 34-Nema 23 ilk konuma dönüş
Görev -6	Pnömatik valf açılır
Görev -7	Mıknatıs inaktif olur



Şekil 9. Hız-zaman grafiği (trapez profil)

SONUÇLAR

Tasarımı ve üretimi tamamlanan 3 eksenli manipülatör, kompakt yapısı sayesinde hedeflenen işlevselliği sağlamıştır. Yapılan denemelerde, eksen hareketleri senkron ve kararlı şekilde gerçekleşmiş; pnömatik sistem ve elektromıknatıs ile malzeme alma-bırakma işlemleri başarıyla tamamlanmıştır. Sistem, prototip olarak verimli ve modüler bir çözüm sunmaktadır.

TEŞEKKÜR

Projemizde bize yol gösteren, kıymetli desteklerini esirgemeyen hocalarımız Sn. Prof. Dr. Levent MALGACA'ya, Sn. Dr. Seda VATAN CAN'a ve Sn. Arş. Gör. Muhammet Can TÜRÜT'e; sponsor olarak bizi destekleyen S2 Otomasyon ve Emor firmalarına teşekkürlerimizi sunarız. Bu proje, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. Sağladıkları katkılardan dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1] Smashing Robotics. 2025. "Why Should We Use Autonomous Industrial Mobile Manipulators?" <https://www.smashingrobotics.com/why-should-we-use-autonomous-industrial-mobile-manipulators/>