



Konferans Bildirisi

Döner Platform ile Elektrikli Forkliftlerde Görüş Açısının ve Ergonominin İyileştirilmesi

Nazif GEZER¹, Halil DEVECİOĞLU²

¹ Robutel Otomasyon ve Mekatronik, Hareketli Sistemler Geliştirme Mühendisi, Orcid ID:
<https://orcid.org/0009-0006-8481-2736>, e-mail: ngezer@robutel.com

² Robutel Otomasyon ve Mekatronik, Gömülü Sistem Geliştirme Mühendisi, Orcid ID:
<https://orcid.org/0009-0004-9016-083X>, e-mail: hdevecioglu@robutel.com

* Sorumlu Yazar: ngezer@robutel.com; +90 (533) 963 27 67

Received 28 October 2024

Received in revised form 21 December 2024

In final form 25 December 2024

4th International Conference on Design, Research and Development
(RDCONF 2024)
December 19 - 20, 2024

Reference: Gezer, N., & Devecioglu, H. (2024). Improving visibility and ergonomics in electric forklifts with rotating platform. *Orclever Proceedings of Research and Development*, 5(1), 437-450.

Özet

Elektrikli forkliftlerde operatör ergonomisi ve görüş açısı, intralojistik sektöründeki verimlilik ve iş güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, döner platform entegre edilmiş elektrikli forkliftlerin, operatörün sürüş konforunu ve iş ortamındaki görüş alanını nasıl iyileştirdiğini incelemektedir. Ergonomik tasarımların çalışan sağlığı ve iş kazalarını azaltma üzerindeki etkileri, yapısal ve elektronik yenilikler ışığında detaylandırılmıştır.

Anahtar : Forklift, Döner Platform, ECU, Encoder, EMF, Inverter, Solenoid Valf



Improving Visibility and Ergonomics in Electric Forklifts with Rotating Platform

Abstract

Operator ergonomics and visibility in electric forklifts are of critical importance for productivity and occupational safety in the intralogistics sector. This study examines how electric forklifts with integrated rotating platforms improve operator driving comfort and visibility in the work environment. The effects of ergonomic designs on employee health and reducing occupational accidents are detailed in the light of structural and electronic innovations.

Keywords: Forklift, Rotating Platform, ECU, Encoder, EMF, Inverter, Solenoid Valve



1. Giriş

Günümüzde intralojistik sektörü, mal ve hizmet akışının kesintisiz bir şekilde sürdürülmesi için hayati bir rol oynamaktadır. Forkliftler, bu sürecin kritik elemanlarından biri olarak öne çıkar. Ancak, mevcut forklift tasarımlarında operatörün görüş alanının kısıtlanması ve ergonomik olmayan yapılar hem iş kazalarına hem de meslek hastalıklarına yol açmaktadır. Bu çalışmanın amacı, döner platformlu forklift tasarımlarını inceleyerek bu sorunlara çözüm sunmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, gerçek elektrikli forklift kullanıcılarından (operatörlerden) gelen veriler doğrultusunda elektrikli forkliftlerde yüksek hacimli ürünlerde taşıma işlemi sırasında karşılaşılan “Görüş Alanının” azalması sorunu başta olmak üzere, elektrikli forkliftlerde kullanılan standart platform yapıları ve döner platformlu yeni tasarımlar ile iyileştirme çalışmalarının sonuçları ele alınmıştır.

Kullanılan döner platform, elektro-hidrolik sistemle entegre edilmiş bir şasi üzerine monte edilmiştir. Elektronik kontrol ünitesi (ECU) ve elektromanyetik fren (EMF) bileşenleri test için özel olarak seçilmiştir. Testlerde yapısal analiz yazılımları, görüş alanı simülasyon programları ve ergonomi değerlendirme modelleri kullanılmıştır.

2.1. Yapısal Dayanımlar ve Malzeme

Yapısal analiz, mühendislikte yapıların dayanıklılığını, stabilitesini ve performansını değerlendirmek için kullanılan temel bir tekniktir. Döner platformun mekanik dayanımı da bu belirtilen değerlendirme kriterlerine göre yapısal analiz yazılımlarıyla test edilmiştir. Uygun emniyet katsayısı belirlenmiş ve emniyetli sınırları koruyacak şekilde yüksek mukavemetli yapı çeliği (St-52) kullanılmıştır.

Tablo 1: St-52 Mekanik Özellikleri

Çekme Mukavemeti (Rm)	520 - 680 MPa
Akma Mukavemeti (Re)	≥ 355 MPa (çubuklarda 16 mm'ye kadar)
Elastisite Modülü (E)	190 - 210 GPa
Poisson Oranı (ν)	0,3
Yoğunluk (ρ)	7,85 g/cm ³
Uzama (% - A5)	% 15-20
Sertlik (HB)	160 - 180 HB

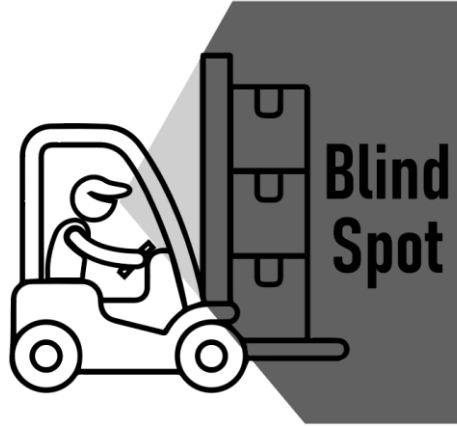
2.2. Operatörden Gelen Görüş Alanı Analiz Verileri

Operatörün standart forkliftlerde oluşan ve sahada kullanımda, araçlarımızın kullanım sonuçlarından, yaş ortalaması 35 ve bu iş için ortalama çalışma süresi 4 yıl olan operatörlerin farklı şirketlerden gelen anonim verileri ile tablo haline getirilmiştir.

Tablo 2: 79 Adet Üretilmiş Araçlardan Yüksek Hacimli Araç Kullanan Operatör Kullanıcı Verileri

Veri Tipi	Operatör Sayısı
Yüksek Hacimli Yük Taşıyan Operatörlerin Sayısı (79 Araç İçerisinden)	48
Görüş Alanının Yetersiz Olduğunu Söyleyen Operatör Sayısı	48
Bel ve/veya Boyun Rahatsızlığı Olan Operatör Sayısı	36

Tablodaki veriler incelendiğinde, 79 operatörden 48'inin sürekli yüksek hacimli yük taşıyan şirketlerde aktif olarak çalıştığı görülmüştür. Bu 48 operatörün tamamı, "Yüksek hacimli yüklerde görüş alanım yetersiz" şikayetinde bulunmuştur. Ayrıca, bu gruptaki 48 operatörden 36'sı "Bel ve/veya boyun rahatsızlığım var" şeklinde geri bildirimde bulunmuştur.



Şekil 1: Yüksek Hacimli Yüklerde Oluşan "Kör Nokta"

Şekilde görülen 'kör nokta' alanı, yüksek hacimli yüklerde operatörün yanı sıra çevrede bulunan kişileri de iş kazası riskine maruz bırakmakta ve olumsuz durumların oluşma ihtimalini artırmaktadır.

2.3. Elektronik Komponentler

Seçilen elektronik komponentler, ilgili uzmanlık alanlarının belirttiği gereksinimler ve sistemin ihtiyaçları doğrultusunda titizlikle değerlendirilmiş ve bu doğrultuda en uygun parçalar seçilmiştir. Bu süreçte, her bir komponentin sistemle olan uyumluluğu, işlevselliği ve güvenilirliği detaylı bir şekilde incelenmiştir. Belirlenen komponentlerin



birbiriyle sorunsuz bir şekilde iletişim kurabilmesi için gerekli teknik altyapı sağlanmış ve en güvenli çalışma koşullarını temin edecek uygulamalar hayata geçirilmiştir.

2.3.1. Encoder ve Çalışma Yapısı

Encoder, hareketin ya da bir konumun sayısal verilere dönüştürülmesini sağlayan bir sensör türüdür. Genellikle motorlarda, robotik sistemlerde ve otomasyon projelerinde kullanılır. Encoderler, özellikle hareketin ölçülmesi ve kontrol edilmesinde kritik bir rol oynar [1].

2.3.2. EMF Yapısı ve Çalışma Prensibi

Elektromanyetik frenler (EMF), elektrik enerjisini manyetik kuvvetlere dönüştürerek hareketi kontrol eden fren sistemleridir. Bu frenler, mekanik parçalar arasındaki teması gerek duymadan, manyetik alanın etkisiyle hareketi yavaşlatır veya durdurur. EMF frenleri, genellikle hassas hareket kontrolü gereken uygulamalarda kullanılır.

Elektromanyetik frenlerin temel prensibi, elektromanyetik indükleme yasasına dayanır. Bu sistemlerde bir elektrik akımı, manyetik bir alan oluşturur. Bu manyetik alan, hareketli bir parça ile etkileştirilerek Eddy akımları oluşturulur. Oluşan Eddy akımları, hareketli parçaya zıt bir kuvvet uygulayarak hareketi yavaşlatır. Bu frenleme kuvveti, akımın büyüklüğü ve manyetik alanın yoğunluğu ile orantılıdır [2].

2.3.3. ECU ve Çalışma Prensibi

Modern motorlu taşıtların elektronik sistemlerini yönetmek ve kontrol etmek için tasarlanmış bir elektronik cihazdır. Motor performansı, yakıt verimliliği, emisyon kontrolü ve sürüş dinamikleri gibi birçok kritik fonksiyonu yürüten ECU, aracın "beyni" olarak kabul edilir.

ECU, forkliftin çeşitli sensörlerinden gelen verileri toplar ve bu verileri belirli algoritmalar çerçevesinde işler. Bu işlem sonucunda, forkliftin farklı bölümlerine uygun komutlar gönderir.

Bileşenleri;

- Mikrodenetleyici (Microcontroller): Ana işlem birimidir. Verileri işler ve kararları alır.
- Giriş-Çıkış Birimleri: Sensörlerden gelen sinyalleri alır ve aktüatörlere çıkış sinyalleri gönderir.

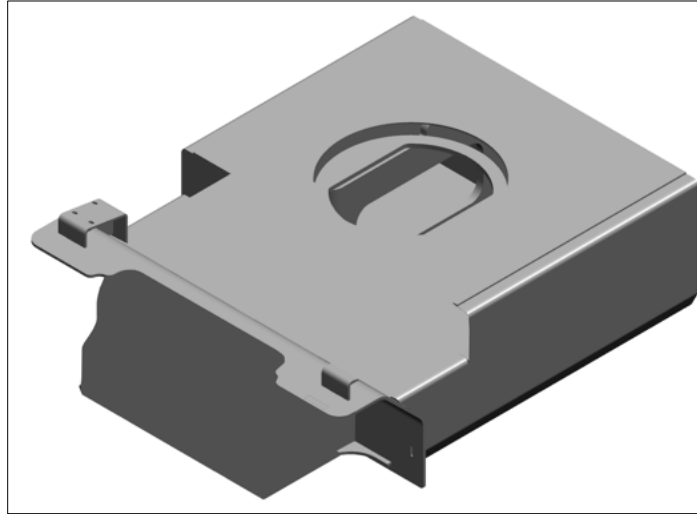
- Bellek (ROM/RAM/Flash): Yazılımı ve geçici veri depolaması için kullanılır.
- Güç Yönetimi: ECU'ya gelen elektrik enerjisinin uygun seviyelere düşürülmesini sağlar.

2.4. Yapısal Değişiklikler

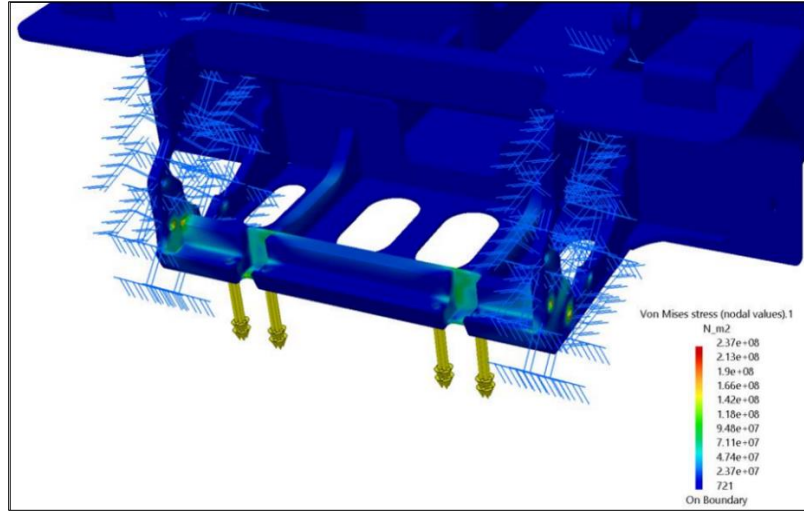
Yeni şasi tasarımı, döner platforma uyum sağlayacak şekilde geliştirilmiş ve mekanik, elektrik, hidrolik tüm bölümler optimize edilmiştir. Standart forkliftlere göre yapılan yapısal değişiklikler şu şekilde sıralanabilir:

- Şasinin yapısal değişiklikleri,
- Batarya bölgesinin arka ağırlık tarafına taşınması,
- Döner platform için dönme merkezi ve dişli grubunun eklenmesi,
- Hidrolik, elektronik ve diğer tüm komponentlerin yeni şasi içerisine yerleştirilmesi,
- Operatör Baş Üstü Koruyucu yapısının yeniden tasarlanması.

Şasi, döner platform nedeniyle genel olarak daha alçak tasarlanmıştır (Bkz. Şekil 2). Bu tasarımın temel nedeni, bataryanın orta bölmeden alınarak platformun orta bölgeye entegre edilmesidir. Yapılan analizlerde, yapının güvenlik sınırlarının altında kaldığı tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 3).

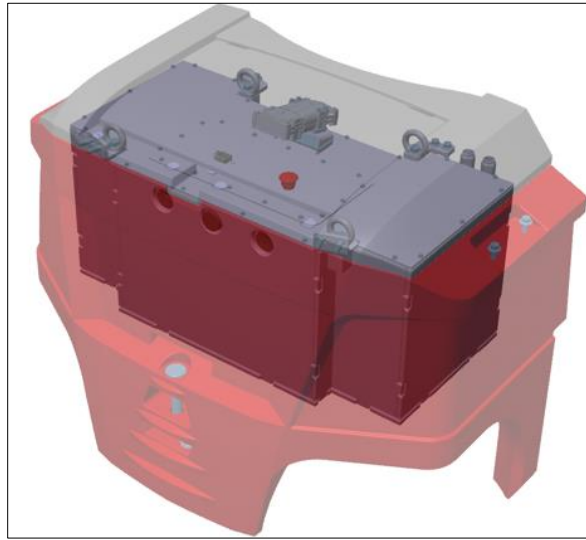


Şekil 2: Şasinin Yapısı



Şekil 3: Şasi Analizi

Batarya bölgesi, şasi içerisinden alındığı için arka ağırlığın içerisine değerlendirilmek üzere benzersiz bir tasarımla bütünleşik yapı oluşturulmuştur. Batarya içerisine bazı havalandırma ve su boşaltma bölgeleri eklenerek olası durumlara karşı önlem alınmıştır. (Bkz. Şekil 4)



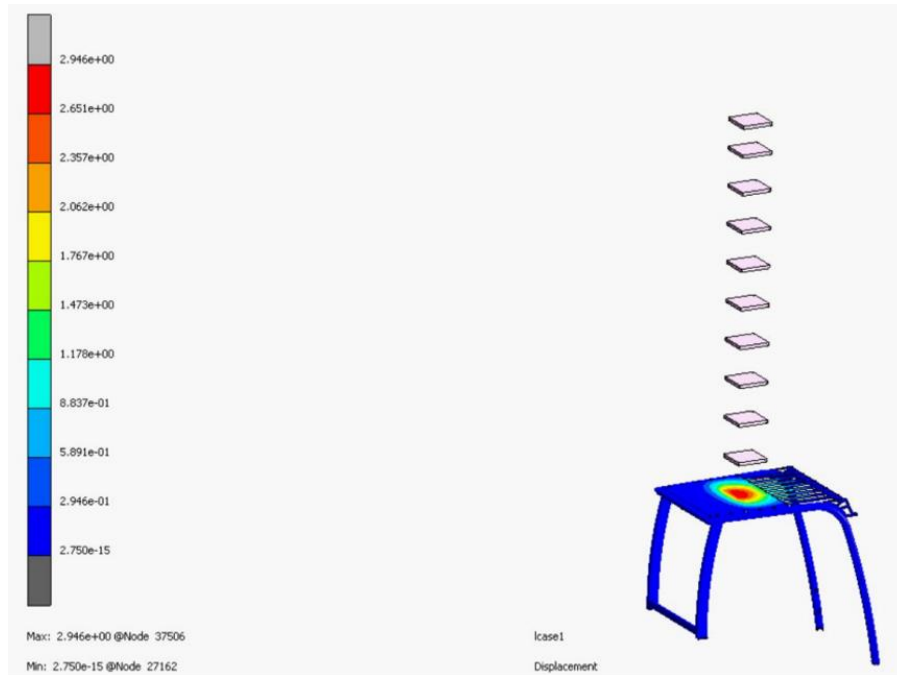
Şekil 4: Batarya ve Arka Ağırlık Birleşik Yapısı

Operatör baş üstü koruyucu, aracın gidiş yönünde koruduğu alan içindeki emniyetini 180° döndükten sonra da koruyabilmesi için uygun şekilde tasarlanmıştır (Bkz. Şekil 5).

Yapısal testlerde alınan sonuçlara göre emniyetli değerlerin altında sonuçlar çıkmıştır (ISO 6055 testlerine göre 2,946 mm değer belirtilmiştir.) (Bkz. Şekil 6).



Şekil 5: Operatör Baş Üstü Koruyucu Yapısı

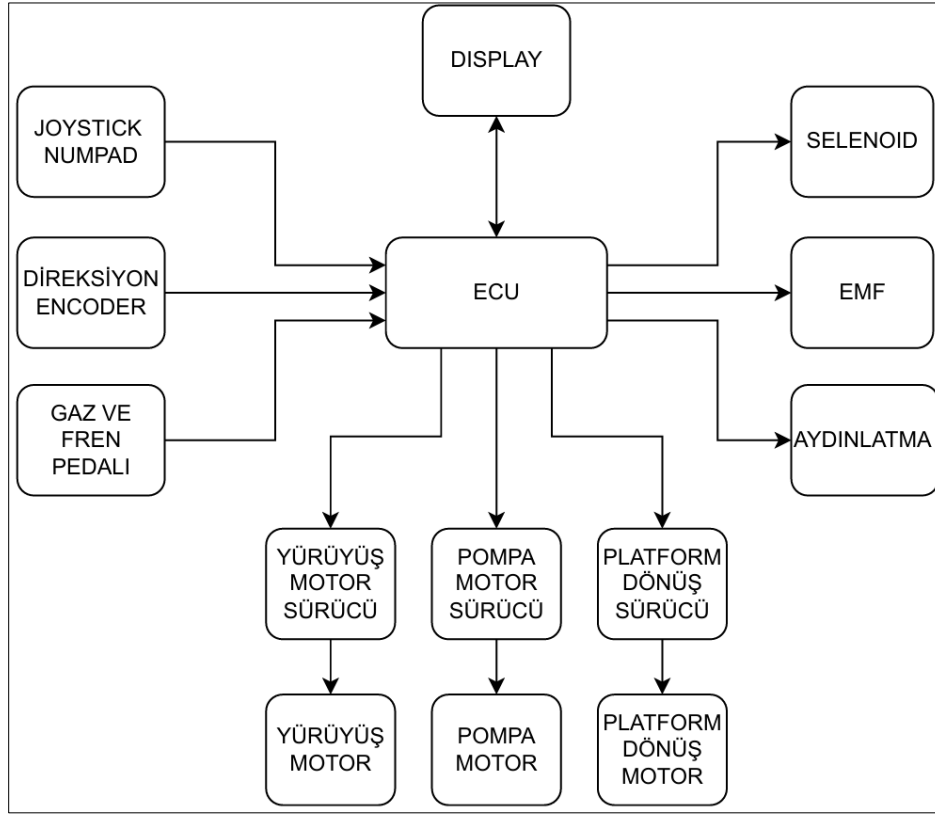


Şekil 6: Operatör Baş Üstü Koruyucu Yapısal Analiz Sonucu

2.5. Elektronik Bileşenlerin Birbiri ile Çalışması

Şekil 7'de, elektronik kontrol ünitesinin (ECU) giriş ve çıkışları gösterilmektedir. ECU, joystick, direksiyon encoder ve gaz-fren pedalı gibi giriş birimlerinden aldığı verileri işleyerek sistemin yönetimini sağlamaktadır. Gaz pedalı, yürüyüş motoru sürücüsünü kontrol ederek yürüyüş motoru aracılığıyla aracın tahrikini gerçekleştirmektedir. Joystick, lift, tilt ve side shift olarak adlandırılan yük hareketlerini pompa motor

sürücüsü ve selenoidler yardımıyla yönetmekte; üzerindeki buton aracılığıyla ise platform dönüş motorunu kontrol ederek platformun hareketlerini düzenlemektedir.



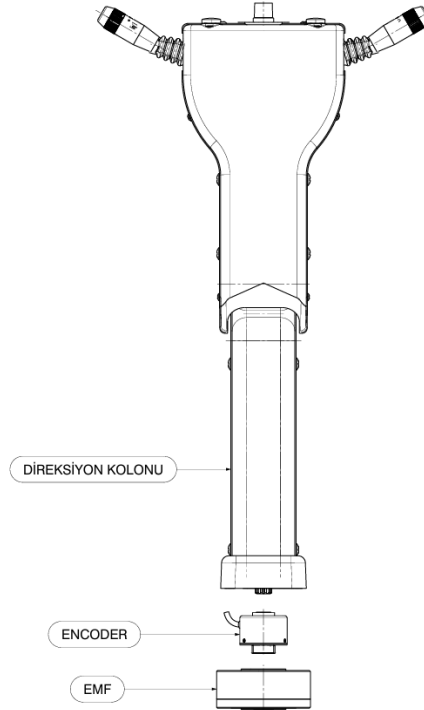
Şekil 7: ECU Çalışma Şeması

ECU, elektromanyetik fren (EMF) ile direksiyon dönüş frenleme işlemini gerçekleştirmekte ve aydınlatma gibi diğer çıkışlar, kolçak üzerinde bulunan numpad ile kontrol edilmektedir. Sistem durumunu ve kullanıcıya yönelik bilgileri göstermek için kullanılan ekran (display), aynı zamanda belirli kalibrasyon ve parametrik değişikliklerin yapılmasına olanak tanımaktadır. ECU, tüm bu bileşenler arasındaki koordinasyonu sağlayarak aracın temel işlevlerini eksiksiz bir şekilde yerine getirmektedir.

2.5.1. Direksiyon Sisteminin Çalışma Prensibi

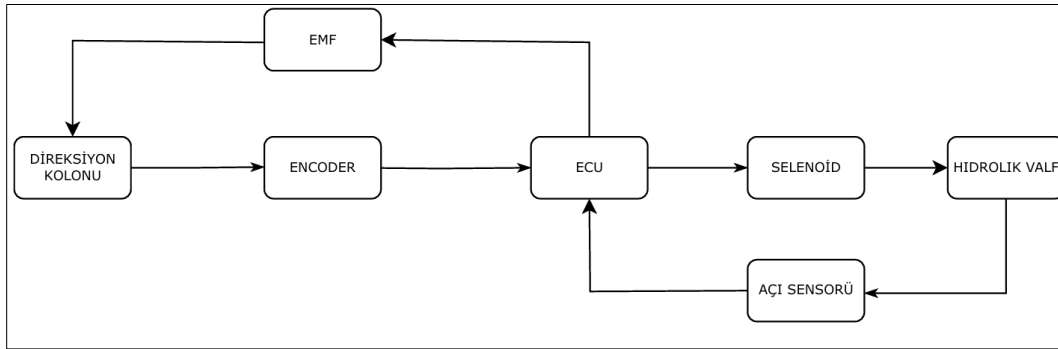
Encoder ve elektromanyetik fren (EMF), direksiyon miline entegre bir şekilde bağlı olup, direksiyon hareketlerinin yönü ve açısına ilişkin verileri sinyaller aracılığıyla Araç Kontrol Ünitesi'ne (ECU) iletir. ECU, bu verileri aks üzerinde bulunan aç sensöründen

elde edilen bilgilerle birleştirilerek tekerleklerin hedeflenen konuma ulaşması için gerekli kontrol komutlarını oluşturur (Bkz. Şekil 8).



Şekil 8: Direksiyon Sistemi Elemanları

Bu kapsamda, ECU'ya bağlı olan elektrikli selenoid valf, aks silindirine hidrolik akışı sağlamak amacıyla hassas olarak açılıp kapanacak şekilde yönetilir. Bununla birlikte ECU, pompa sürücüsünü, sistem ihtiyaçlarına uygun olarak, belirli bir devirde çalıştırarak yağ akışının gerekli miktar ve basınçta aktarılmasını temin eder (Bkz. Şekil 9).

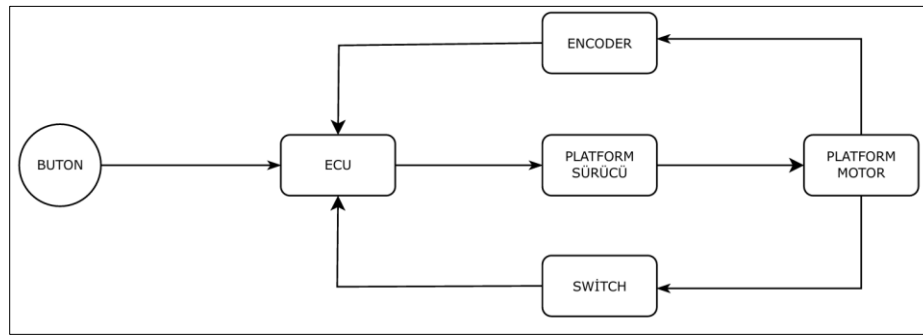


Şekil 9: Direksiyon Çalışma Şeması

Bu çok yönlü sistem, aracın çalışma performansının optimize edilmesine olanak tanırken hem sessiz hem de enerji verimliliği sağlar. Aynı zamanda, operatöre joystick aracılığıyla hassas ve ergonomik bir kontrol mekanizması sunarak, sürüş konforunu önemli ölçüde artırır. Sistem, tüm bu fonksiyonları entegre bir yapıda bir araya getirerek hem aracın güvenilirliğini hem de uzun vadeli operasyonel verimliliğini destekler.

2.5.2. Platform Sisteminin Çalışması

Kolçakta bulunan tuş takımı üzerindeki bir butona basıldığında, bu işlem Araç Kontrol Ünitesi'ne (ECU) bir bilgi sinyali olarak iletilir. ECU, bu sinyali alır ve işledikten sonra platform motor sürücüsünü, motorun hangi konuma gitmesi gerektiği konusunda talimatlandırılır. Motor sürücüsü, motor ve motor üzerinde bulunan encoder aracılığıyla platformun istenilen konuma hassas bir şekilde hareket etmesini sağlar. Encoder, motorun hareketini ve mevcut konumunu yazılımsal olarak ECU'ya bildirerek, hareketin kesintisiz ve doğru bir şekilde gerçekleşmesini temin eder (Bkz. Şekil 10).



Şekil 11: Platformun Çalışma Şeması

Platformun hareketi sırasında, iki noktada bulunan sınır switchleri de devreye girerek fiziksel doğrulama amacıyla geri bildirim sağlar. Bu sınır switchleri, platformun belirlenen maksimum ve minimum konumlara ulaşp ulaşmadığını tespit eder ve ECU'ya bilgi iletir. Böylelikle, platformun uygun konuma geldiğinin doğrulaması iki katmanlı bir kontrol mekanizmasıyla gerçekleştirilir; encoder ile yazılımsal, sınır switchleri ile fiziksel bir doğruluk sağlanır.

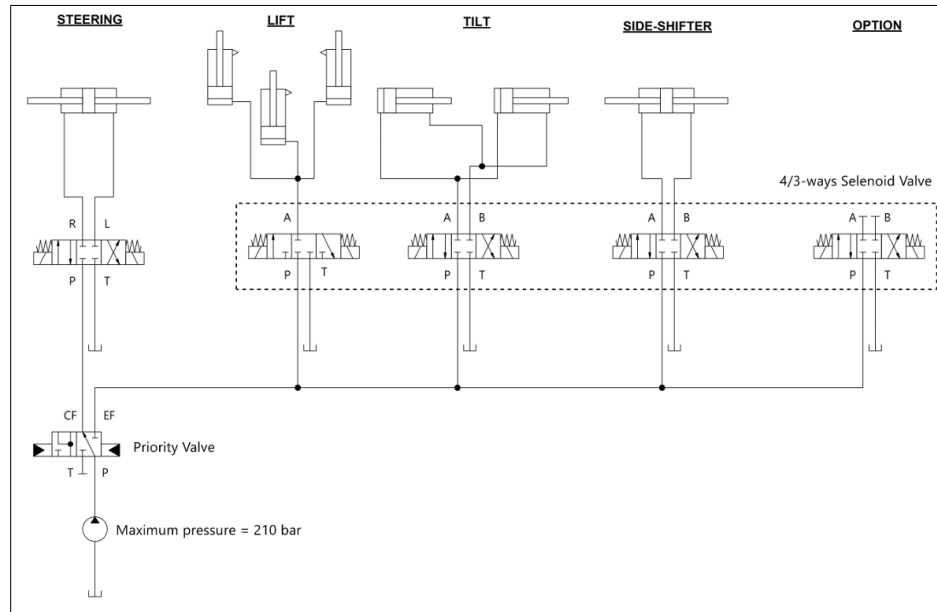
Bu entegre kontrol sistemi, hassasiyet ve güvenilirlik açısından çok yüksek bir performans sunar. Aynı zamanda, operatörün platform üzerinde karmaşıklıklardan uzak, ergonomik ve kolay bir kontrol deneyimi yaşamasını temin eder. Sistem hem yazılım hem donanım bileşenlerinin uyumlu çalışması sayesinde uzun vadeli güvenilirlik ve etkinlik sunarak, endüstriyel uygulamalarda önemli bir avantaj sağlar.

2.6. Elektro-Hidrolik Sistem

Elektro-hidrolik sistem, klasik hidrolik yaklaşımın yerine geçerek sistemin mekaniksel hatalarının daha kolay kontrol edilmesini ve hata oranının azaltılmasını hedeflemektedir. Joystick kullanımı sayesinde, standart forkliftlere kıyasla daha yüksek iş verimliliği sağlanması amaçlanmıştır.

Şekil 12'de gösterilen hidrolik şemada, mekanik kollu valf sistemi yerine selenoid kontrollü valf sistemi kullanılmıştır. Bu değişim, mekanik kontrol yerine daha hassas ve güvenilir bir kontrol imkânı sunan elektronik sisteme geçişi sağlamıştır.

Ayrıca, klasik yaklaşımdaki "Direksiyon Kontrol Birimi'nin" zamanla operatörü yoran tepkisel kuvveti, kullanıcı konforunu artırmak amacıyla elektronik direksiyon sistemi ile değiştirilmiştir. Bu sayede daha ergonomik ve konforlu bir sürüş deneyimi sunulmuştur.



Şekil 12: Hidrolik Şema

2.7. Batarya ile Bütünleşik Arka Ağırlık Uygulaması

Operatör bölümünden alınan batarya, arka ağırlık içerisine entegre edilerek forkliftlerde karşı ağırlık görevini destekleyen birleşik bir yapı oluşturulmuştur. Bu sayede operatör bölgesi genişletilmiş ve platformun operatör bölümüne dahil edilmesi sağlanmıştır. Montajı ve bakımı kolay olan bu yapı, Li-Ion bataryaların doğası gereği olası patlamalara karşı tasarlanmış olup, hava ve sıvı teması engellenmiş, ayrıca sıvı boşaltımı için gerekli düzenlemeler yapılmıştır.



3. Sonuçlar

Bu alışma sonucunda, döner platform entegre edilen elektrikli forklift tasarımlarının, operatör ergonomisini ve görüş alanını önemli ölçülerde iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Ergonomi değerlendirmelerinde, döner platformlu tasarımların operatörün fiziksel yorgunluğunu azaltırken, uzun vadeli meslek hastalıklarının önüne geçtiği tespit edilmiştir. Görüş alanı simülasyonları ise döner platformun, yükleme ve taşıma süreçlerinde görüş kısıtlamalarının önemli ölçülerde azaltıldığını ortaya koymuştur. Ek olarak elektronik kontrol sistemleri sayesinde, platformun hassasiyeti ve işlevselliği artırılarak, operatörün kontrol üzerindeki hakimiyeti maksimum düzeye çıkarılmıştır.

Yapısal analiz sonuçları, tasarımın mekanik dayanımını ve güvenliğini doğrulamış, elektro-hidrolik sistemin verimliliği ve hata oranlarındaki azalma, yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmiştir. Bu bulgular, döner platformlu tasarımların, lojistik sektöründeki iş güvenliği ve verimlilik hedeflerine katkı sağladığını kanıtlamaktadır.

4. Tartışma

Bu çalışmanın sonuçları, döner platform entegre edilmiş elektrikli forklift tasarımlarının operatör ergonomisi ve görüş alanı üzerindeki olumlu etkilerini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Ergonomi değerlendirmelerinde elde edilen bulgular, döner platformun fiziksel yorgunluğu azaltma ve meslek hastalıklarını nleme potansiyelini doğrulamaktadır. Bu durum, iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Ancak, ergonomi alanında yapılan bu değerlendirmelerin, daha geniş bir kullanıcı grubu ve farklı iş senaryolarında tekrarlanarak doğrulanması, sonuçların genellenebilirliğini artıracaktır.

Görüş alanı simülasyonları, döner platformun operasyonel süreçlerdeki görüş kısıtlamalarını azaltma potansiyelini göstermektedir. Bu bulgu, özellikle dar alanlarda çalışma gerektiren lojistik operasyonları için kritik bir gelişmedir. Ancak simülasyonlar sırasında kullanılan çevresel ve operasyonel parametrelerin, gerçek saha koşullarına uygunluğunun detaylı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Gerçek saha testleriyle desteklenen simülasyon analizleri, platformun farklı koşullardaki performansını daha iyi anlamamıza olanak tanıyacaktır.

Yapısal analiz sonuçları, tasarımın mekanik dayanımını ve güvenliğini doğrularken, elektro-hidrolik sistemin verimlilikteki iyileşmeleri ve hata oranlarındaki azalma,



tasarımın yenilikçi bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bu sistemlerin uzun vadeli performansı ve bakım gereksinimleri üzerine daha fazla veri toplanması, tasarımın sürdürülebilirliği ve toplam sahip olma maliyeti açısından daha derin bir analiz yapılmasını mümkün kılacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, döner platform entegre edilmiş forkliftlerin lojistik sektörüne ergonomi, iş güvenliği ve operasyonel verimlilik açısından önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte, tasarımın geniş bir yelpazede kullanım alanı bulabilmesi için saha testleri, uzun vadeli dayanıklılık analizleri ve kullanıcı geri bildirimleriyle desteklenmiş daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür çalışmalar hem akademik hem de endüstriyel bağlamda bu yenilikçi tasarımın daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada emeği geçen Sn. Abdullah PADAK, Öner ŞİMŞİR, Hasan T. ARIKAN, İpek FISTIKÇIOĞLU, Emin AYDOĞAN, Akın ÇEVİK, Murat PANGAL, Berat KIZILTAŞ, Yunus Emre TEMEL, Mustafa ADIGÜZEL, Alper KORKMAZ ve Enes KILIÇ isimlerine ayrı ayrı teşekkürlerimizi sunuyoruz.

6. Referanslar

- [1] Kimbrell, J., "Fundamentals of Industrial Encoder Sensing Technologies, Motion Detection Theory and Methods, and Signal Output Styles" (2023)
- [2] Prajapati, K., "Electromagnetic Braking System" (2017)