

**KOLTUK TİPİ MERDİVEN ASANSÖRÜ TASARIMI ve
DENETİMİNİN İNCELENMESİ**

Erhan AÇIKGÖZ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLTUK TİPİ MERDİVEN ASANSÖRÜ TASARIMI ve DENETİMİNİN
İNCELENMESİ**

Erhan AÇIKGÖZ
0000-0001-7528-9193

Doç. Dr. Elif Erzan TOPÇU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Erhan AÇIKGÖZ tarafından hazırlanan "KOLTUK TİPİ MERDİVEN ASANSÖRÜ TASARIMI ve DENETİMİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Elif Erzan TOPÇU

Başkan : Doç. Dr. Elif Erzan TOPÇU
0000-0002-6115-3110
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

 İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gürsel ŞEFKAT
0000-0002-5686-0195
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

 İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE
0000-0003-1387-907X
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

 İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım


Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../.....

Erhan AÇIKGÖZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOLTUK TİPİ MERDİVEN ASANSÖRÜ TASARIMI ve DENETİMİNİN İNCELENMESİ

Erhan AÇIKGÖZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Elif Erzan TOPÇU

Engelliler, yaşlılar, hastalar ya da bir kaza sonucu hareket kabiliyetini kaybeden insanlar açık ya da kapalı mekânlarda merdivenleri inip çıkamamaktadırlar. Bunun gibi benzeri kısıtlayıcı durumlar hareket kabiliyetini kaybeden bireylerin toplumdan soyutlaşmasına sebep olabilmektedir. Günümüzde merdivenlerin korkuluklarına ya da korkulukların hemen yanına montajlanabilen bir ray boru profili üzerinde hareket edebilen bir merdiven asansörü ile hareket kabiliyetine sahip olmayan bireyler merdivenlerden refakat edilmeden kolayca inip çıkabilmektedirler.

Bu çalışmada, koltuk tipi merdiven asansörünün açılı ve hız kontrolü üzerine çalışılmıştır. Sistemin tasarımı yapıldıktan sonra prototipi 3D tasarım programı ile çizilerek montajlaması yapılmıştır. Boyutlandırma çalışmasından sonra sistemin hareket denklemleri “Newton Hareket Yasaları” ve “Enerji Tabanlı Lagrange Yöntemi” kullanılarak elde edilmiştir. Bu hareket denklemleri kullanılarak sistemin MATLAB/Simulink programında benzetimi ve kapalı döngü denetimi incelenmiştir. Sistemde taşıyıcının hız ve koltuğun açısal konum denetimi için iki ayrı denetim organı kullanılmıştır. Koltuk mekanizmasının düz ve yokuş yol profilindeki hareketi, koltuğun farklı açısal giriş profillerini takibi, hareket boyunca yola dik konumda durması gibi farklı ihtiyaçlara tepkisi çeşitli denetim teknikleri kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Koltuk tipi merdiven asansörü, kapalı döngü denetim, matematiksel modelleme, engelli platformu

2020, vii + 53 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE DESIGN AND CONTROL OF THE SEAT TYPE STAIR LIFT

Erhan AÇIKGÖZ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Dr. Elif Erzan TOPÇU

Disabled people, elderly people, patients or people who have lost their mobility due to an accident cannot go up and down stairs in open or closed spaces. Similar restrictive situations such as these can cause individuals who lose their mobility to be isolated from society. Today, individuals who do not have the ability to move with a stair lift that can move on a rail pipe profile that can be mounted on the railing of the stairs or right next to the railing, can easily get up and down the stairs without escort.

In this study, angle and speed control of seat type stair lift has been studied. Firstly the system was designed, its prototype was drawn with 3D design program and assembled. The motion equations of the system were obtained by using "Newton's Laws of Motion" and "Energy Based Lagrange Method". Using these motion equations, the simulation and closed loop control of the system in MATLAB / Simulink program were examined. In the system, two separate control structure were used for the speed control of the carrier and angular position control of the seat. The system response according to various inputs such as different road and angular seat profiles were examined using various control techniques.

Key words: Seat type disabled stair lift, closed loop control, mathematical modeling, disabled platform

2020, vii + 53 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında ve yüksek lisans eğitimim sürecinde değerli zamanı, birikimi ve tecrübeleri ile destek olan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Elif Erzan TOPÇU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca bana değerli bilgiler öğreterek yol gösteren bütün öğretmenlerime ve bu günlere gelmemi sağlayan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Erhan AÇIKGÖZ
.../.../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kuramsal Temeller.....	3
2.2. Kaynak Araştırması.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Koltuk Tipi Merdiven Asansörünün Tasarımı, Boyutları ve Yapısı.....	13
3.2. Sistem Hareket Denklemlerinin Eldesi	17
3.2.1. Newton Hareket Yasaları ile Sistemin Hareket Denklemlerinin Eldesi	17
3.2.2. Enerji Tabanlı Lagrange Yöntemi ile Sistemin Hareket Denklemlerinin Eldesi	21
3.3. Göbek Sargısı Denetimli DA Motoru ve Transfer Fonksiyonu	22
3.4. Denetim Sistemleri ve PID Denetleyici Genel Özellikleri	24
3.4.1. Denetim Sistemleri.....	24
3.4.2. PID Denetleyici Genel Özellikleri	26
3.5. MATLAB/Simulink Modelinin Oluşturulması ve Sistemin PID Denetimi.....	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	31
4.1. Senaryo A.....	31
4.2. Senaryo B	32
4.3. Senaryo C	36
4.4. Senaryo D.....	39
4.5. Senaryo E	41
4.6. Senaryo F	44
5. SONUÇ.....	46
KAYNAKLAR	48
EKLER.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	52

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
a	İvme (m/s^2)
b	Viskoz sürtünme katsayısı ($N/(m/s)$)
F	Kuvvet (N)
I_G	Ters sarkaç, koltuk ve engelli/yaşlı insanın atalet momenti ($kg \cdot m^2$)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
α	Yokuş açısı (rad)
θ	Sarkacın açısı (rad)
$\dot{\theta}$	Sarkacın açısal hızı (rad/s)
$\ddot{\theta}$	Sarkacın açısal ivmesi (rad/s^2)
ω	Açısal hız (rad/s)
x	Merdiven asansörünün konumu (m)
\dot{x}	Merdiven asansörünün hızı (m/s)
\ddot{x}	Merdiven asansörünün ivmesi (m/s^2)
K_p	Oransal kazancı
K_i	İntegral kazancı
K_d	Türev kazancı
K_b	Motorun kazancı (Nm/A)
K_m	Motorun kazancı (Nm/A)
L	Sarkacın O noktası ile kütle merkezi arasındaki mesafe (m)
L_i	İndüktans (H)
m	Ters sarkaç, koltuk ve engelli/yaşlı insanın toplam kütlesi (kg)
M	Merdiven asansörünün gövdesinin kütlesi (kg)
r_3	Düz dişli bölüm dairesi yarı çapı (m)
r_{pinyon}	Pinyon dişli bölüm dairesi yarı çapı (m)
R	Direnç (ohm)
k, n	Dişli çevrim oranları
\mathcal{L}	Lagrangian
f_{ro}	Yuvarlanma direnç katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
KE	Kinetik enerji
PE	Potansiyel enerji
TESYEV	Türkiye Engelliler Spor Yardım ve Eğitim Vakfı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
PID	Oransal-İntegral-Türevsel (Proportion-Integral-Derivative)
CNC	Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (Computer Numerical Control)
WI-FI	Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity)
DA	Doğrusal Akım

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Inclinator ismi verilen ilk modern merdiven asansörü	3
Şekil 2.2. Hiro 320 engelli platformu.....	4
Şekil 2.3. Tekerlekli sandalye genel ebatları	4
Şekil 2.4. Flow 2 koltuk tipi merdiven asansörü.....	6
Şekil 2.5. Gizli makas asansörü	6
Şekil 2.6. Tek ray üzerinde hareket edebilen koltuk tipi merdiven asansörü prototipi.....	7
Şekil 2.7. Zincirli tahrik sistemine sahip merdiven asansörü prototipi.....	8
Şekil 2.8. Merdiven asansörü prototipinin taslak çizimi.....	9
Şekil 2.9. Merdiven asansörü ve PID kapalı çevrim sistemi.....	11
Şekil 2.10. Merdiven asansörü şematik görünüşü ve sistemin blok diyagramı	11
Şekil 2.11. Sensör eklenen merdiven asansörünün izometrik görünüşü.....	12
Şekil 3.1. Ayakta dikilen ve oturan insan katı modellerinin ebatları	14
Şekil 3.2. Koltuk tipi merdiven asansörünün genel ebatları	14
Şekil 3.3. Koltuk tipi merdiven asansörünün eğimli merdivende hareketinin gösterimi	15
Şekil 3.4. Merdiven asansörünün fiziksel şeması ve kapalı döngü blok şemaları	16
Şekil 3.5. Sistemin serbest cisim diyagramı (Koltuk+ mil+insan)	18
Şekil 3.6. Koltuk açısını düzenleyen motor, dişli ve koltuk sistemi	19
Şekil 3.7. Taşıyıcının serbest cisim diyagramı.....	20
Şekil 3.8. Göbek sargısı denetimli DA motoru	23
Şekil 3.9. Açık-döngü denetim sistemi	24
Şekil 3.10. Kapalı-döngü denetim sistemi	25
Şekil 3.11. PID denetimi blok diyagramı.....	26
Şekil 3.12. Benzetim modeli senaryosu	27
Şekil 3.13. Taşıyıcı ve koltuk sisteminin benzetim modeli	29
Şekil 3.14. Sistemin kapalı döngü MATLAB/Simulink benzetim modeli	30
Şekil 3.15. Taşıyıcının hız-zaman değişimi (açık döngü çalışma hali).....	31
Şekil 3.16. Taşıyıcının güç-zaman değişimi (açık döngü çalışma hali).....	32
Şekil 3.17. Senaryo B sistemin kapalı döngü MATLAB/Simulink benzetiminin P ve PI denetimi sonucu hız-zaman grafikleri	33
Şekil 3.18. Senaryo B koltuk sisteminin açı-zaman grafiği	34
Şekil 3.19. Senaryo B için açı ayar motoru güç-zaman grafiği	35
Şekil 3.20. Senaryo B için taşıyıcı motorun güç-zaman grafiği	35
Şekil 3.21. Senaryo C benzetim modeli senaryosu	36
Şekil 3.22. Senaryo C için koltuk sisteminin açı-zaman grafiği	36
Şekil 3.23. Senaryo C için taşıyıcı sistemin hız-zaman grafiği.....	37
Şekil 3.24. Senaryo C için açı ayar motoru güç-zaman grafiği	38
Şekil 3.25. Senaryo C için taşıyıcı motoru güç-zaman grafiği	38
Şekil 3.26. Senaryo D için arzu edilen koltuk açısı-zaman grafiği.....	39
Şekil 3.27. Senaryo D için koltuk sisteminin açı-zaman grafiği.....	40
Şekil 3.28. Senaryo D için koltuk taşıyıcının hız-zaman grafiği	40
Şekil 3.29. Senaryo D için açı ayar motoru güç-zaman grafiği	41
Şekil 3.30. Senaryo D için tahrik motorunun güç-zaman grafiği	41
Şekil 3.31. Senaryo E için koltuk sisteminin açı-zaman grafiği	42
Şekil 3.32. Senaryo E için taşıyıcının hız-zaman grafiği	42
Şekil 3.33. Senaryo E için açı ayar motoru güç-zaman grafiği.....	43
Şekil 3.34. Senaryo E için tahrik motoru güç-zaman grafiği	43

Şekil 3.35. Senaryo F için taşıyıcı hız-zaman grafiği	44
Şekil 3.36. Senaryo F için koltuk sistemi aç-zaman grafiği.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Hiro 320 engelli platformunun teknik değerleri	5
Çizelge 2.2. Flow 2 koltuk tipi merdiven asansörünün teknik değerleri	5
Çizelge 3.1. PID denetleyicide K_p , K_i ve K_d ' nin sistem cevabı üzerindeki etkileri.....	27
Çizelge 3.2. Koltuk tipi merdiven asansörünün sistem parametreleri	28

1. GİRİŞ

Yaşlılık, bireylerin fiziksel ve ruhsal kabiliyetlerinin tekrar yerine gelmeyecek şekilde yavaş yavaş kaybedilme hali olarak tanımlanabilir (Hablemitoğlu ve Özmete, 2010).

2020 yılında dünya nüfusunun yaklaşık %22'sinin 60 yaş üstü insanlardan oluşacağı WHO verilerinde açıklanmıştır. (Anonim 2018a).

TÜİK'in verilerinde yaşlı nüfus olarak görülen 65 ve üstü yaş nüfusu, Türkiye'de son beş yılda %16 artarak 2018 yılında 7 milyon 186 bin 204 kişi olmuştur. Yaşlı nüfusun toplam nüfusa oranı 2014 yılında %8 iken, 2018 yılında %8,8'e yükselmiştir (Anonim 2018b).

Engelli birey TESYEY verilerinde, doğumdan önce ya da sonra çeşitli sebeplerden dolayı, fiziksel, ruhsal, psikolojik ve sosyal yeteneklerinde işlev kaybına uğraması sebebiyle, topluma uyum sağlamak ve günlük ihtiyaçlarını karşılamada güçlüklerle sahip olan bireyler olarak tanımlanmaktadır (Anonim 2019a).

Dünya nüfusunun yaklaşık olarak % 15'inin bir engeli olduğu WHO'nun araştırmalarında sunulmuştur. Ayrıca sakatlık oranları da kısmen yaşlanan nüfus ve kronik sağlık durumlarındaki artış nedeniyle yükselmiştir (Anonim 2018c). TÜİK'in yapmış olduğu araştırma sonuçlarına göre 2011'de ülkemizde en az bir engeli olan (3 yaş ve üstü) nüfusun oranı % 6,9 olduğu görülmüştür (Anonim 2011).

Yaşlı ve ortopedik engelli bireylerin karşılaştıkları en önemli sıkıntılardan biri bina içi ya da dışındaki mekânlarda bulunan merdivenleri yardım almadan inip çıkamamalarıdır. Merdiven korkuluklarına ya da korkuluklarının yanına montajlanabilen tek ray profili ya da ray profilleri üzerinde hareket edebilen merdiven asansörleri ile hareket kabiliyeti kısıtlı bireyler merdivenlerden yardım almadan inip çıkabilmektedir. Yapılan araştırmalarda birçok çeşitte merdiven asansörünün yurt dışında üretildiği ve ticari olarak satıldığı görülmüştür. Merdiven asansörlerinin, engelli arabası ile binilebilen tiplerine engelli platformu, koltuklu olanlarına özellikle bina içi merdivenlerde kullanılan asansörlerine de koltuklu merdiven asansörü denilmektedir. Engelli platformları boyut

olarak, koltuk tipi engelli asansörlerine göre daha fazla yer kapladığı için bina içlerindeki dar merdivenlere koltuk tipi merdiven asansörü montajı daha uygun görünmektedir.

Ülkemizdeki merdiven asansörleri araştırıldığında, bu sistemlerin üretimi yapılmadan daha çok ithal edilip, ülkemizde bulunan işletmeler tarafından satıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Son yıllarda bu ürünlerin eksikliğini ve gerekliliğini fark eden bazı işletmeler eğimli merdivenlerde hareket edebilen merdiven asansörleri imal ederek bu eksikliğini gidermeye başlamışlardır.

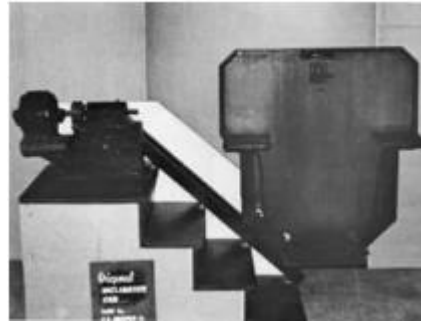
Bu çalışmada tek ray boru profili üzerinde eğimli ve çok katlı binaların merdivenlerinin bükümlü borularında hareket edebilen koltuk tipi merdiven asansörü Solidworks 3D tasarım programı ile tasarlanıp montajlanmıştır. Boyutlandırma işlemiyle beraber sistemin hareket denklemleri “Newton Hareket Yasaları” ve “Enerji Tabanlı Lagrange Yöntemi” kullanılarak elde edilmiştir. Bu hareket denklemleri kullanılarak sistemin MATLAB/Simulink programında benzetimi ve denetimi incelenmiştir. Sistemde hız ve açısal konum denetimi için iki ayrı denetim organı kullanılmıştır. Koltuk mekanizmasının düz ve yokuş yol profilindeki hareketi, koltuğun farklı açısal giriş profillerini takibi, hareket boyunca yola dik konumda durması gibi farklı ihtiyaçlara tepkisi çeşitli kontrol teknikleri uygulanarak karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kuramsal Temeller

Merdiven asansörleri engelli, yaşlı ya da sonradan hareket kabiliyetini kaybetmiş bireylerin merdivenlerden refakatsiz olarak kolayca inip çıkabilmelerini sağlayan mekanik sistemlerdir. Merdiven asansörleri, engelli asansörleri olarak da adlandırılabilir.

Merdiven asansörlerinin tarihsel gelişimi incelendiğinde tarihte ilk olarak kullanımı Arrow Lift firmasının 1500'lü yılların ortalarında VIII. Kral Henry'nin Whitehall Kalesi'nde bulunan yirmi basamaklı merdivenden inip çıkabilmesine yardımcı olmak için yapılan bir mekanik sistemin olduğu düşünülmektedir. Modern bir merdiven asansörünün kullanılması ise ilk kez 1923 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde görülmüştür. C.C. Crispen hasta bir arkadaşı için merdiven çıkıp inebilen Şekil 2.1' de verilen Inclinator ismini verdiği bir merdiven asansörünü tasarlamış ve üretebilmiştir (Anonim 2020a).



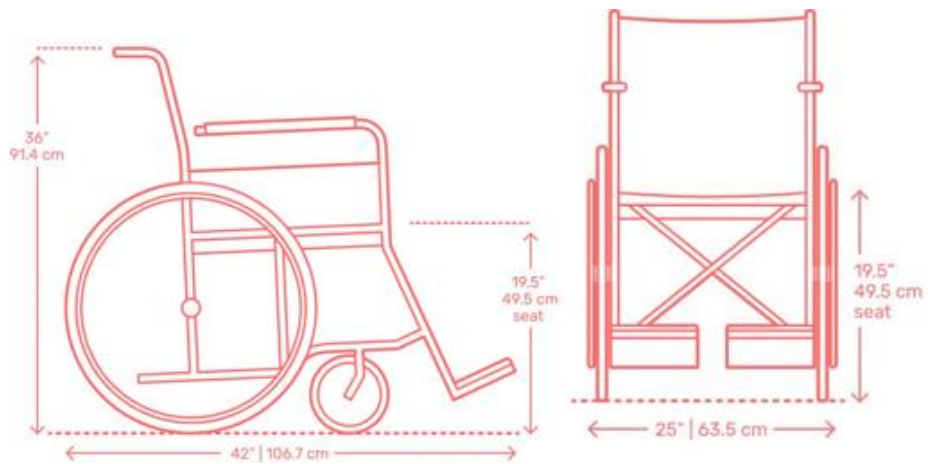
Şekil 2.1. Inclinator ismi verilen ilk modern merdiven asansörü (Anonim 2020a).

Merdiven asansör çeşitleri Nur Asansör firmasının verilerinde koltuk tipi asansör, platform tipi asansör ve gizli makas asansör olarak üçe ayrılmaktadır. Platform tipi merdiven asansörleri engelli platformu olarak da adlandırılmaktadır. Engelli platformları ve koltuk tipi merdiven asansörleri yapıldıkları farklı tasarımlara göre hem düz hem de döner merdivenlerde hareket edebilmektedir (Anonim 2020b).

Engelli platformları: Tekerlekli sandalye ile kullanıma uygun olan, daha çok kamusal ve açık alanlarda kullanılabilen merdiven asansörleridir (Anonim 2020b). Bu merdiven asansör çeşidine Şekil 2.2’de gösterilen Almanya’da engelli asansörleri üreten Hiro firmasının Hiro 320 modeli örnek olarak verilebilir. Hiro 320 engelli platformunun teknik değerleri Çizelge 2.1’ de belirtilmiştir. Engelli platformların tahrik sistemi yaygın olarak kremayer-pinyon dişli sisteminden oluşmaktadır. Bu engelli platformunda poliüretan kaplı tekerlekler boruya karşılıklı olacak şekilde baskı yayı ile sıkıştırılarak sabitlenir. Sıkıştırılan bu tekerlekler elektrik motoru ile tahrik edilerek engelli platformun iki paslanmaz boru üzerinde hareket etmesi sağlanmaktadır (Anonim 2020c).



Şekil 2.2. Hiro 320 engelli platformu (Anonim 2020c)



Şekil 2.3. Tekerlekli sandalye genel ebatları (Anonim 2020f)

Engelli platformlarında kullanılabilen standartlara uygun genel ebatları 63.5x106.7x91.4 cm olan bir tekerlek sandalye örneği Şekil 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.1. Hiro 320 engelli platformunun teknik değerleri (Anonim 2020c)

Tahrik	Patentli çekiş tahriki (Euro patent no: 0525141)
Tahrik yolu	İki adet paslanmaz çelik boru üzerinde çalışır
Çalışması:	Uzaktan kumanda veya kablolu kontrol ünitesi
Güç sarfiyatı	0.25 kW - 0.75kW
Hız	0,1 m/s, kavisli bölümlerde otomatik hız azaltma
Yük taşıma kapasite	300 kg'a kadar
Güç kaynağı	Standart şebeke çıkışı üzerinden 230 Volt besleme, normal yerel şebeke voltajına uyarlanabilir. Sürüş sırasında şarj edilebilir batarya ile besleme, durdurma istasyonlarında otomatik şarj
Platform boyutu	Derinlik / genişlik: Minimum: 68/75 cm, maksimum: 80/125 cm Katlanmış durumda genişlik: 40 cm

Koltuk tipi merdiven asansörleri: Daha çok evler ya da villalar gibi kapalı mekânlarda kullanıma uygun merdiven asansörleridir. Tek ya da çift ray boru üzerinde hareket edebilen farklı tipleri bulunabilmektedir (Anonim 2020b). Almanya merkezli çok uluslu bir holding olan Thyssenkrupp Asansör'ün Şekil 2.4'de verilen Flow 2 markası ile piyasada satılan ürünü koltuk tipi merdiven asansörlerine örnek verilebilir. Flow 2 koltuk tipi asansörün teknik özellikleri de Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Flow 2 koltuk tipi merdiven asansörünün teknik değerleri (Anonim 2006)

Tahrik tipi	Kremayer ve pinyon
Tahrik motor gücü	350 W
Sertifikasyon:	Makine Direktifi 2006/42 / EG BS EN 81-40
Desibel (maks.)	67 dB(A)
Hız (maks.)	0.15 m/s
Yük taşıma kapasitesi	125 kg'a kadar

Çizelge 2.2. Flow 2 koltuk tipi merdiven asansörünün teknik değerleri (devamı)

Merdiven eğimi	70°'ye kadar
Emniyet kemeri	Var
Çalıştırma	Standart olarak kumanda kolu kontrolü
Batarya	2 adet 12 V
Besleme gerilimi	24 VDC, 2.5 A
Şebeke beslemesi	230 VAC, 0.35 A
Şarj süresi	24 saat



Şekil 2.4. Flow 2 koltuk tipi merdiven asansörü (Anonim 2020d)

Gizli makas asansörleri: Platform tipi asansör çeşitlerine örnek verilebilir. Yaygın olarak 3-4 basamağı olan yerlerde kullanılmaktadır. Şekil 2.5' te verildiği gibi zeminde kaybolacak şekilde montajlanabildiği için kullanımı kolaydır. Montajı ve kurulumu esnasında mimarı yapılara zarar vermez (Anonim 2020b).

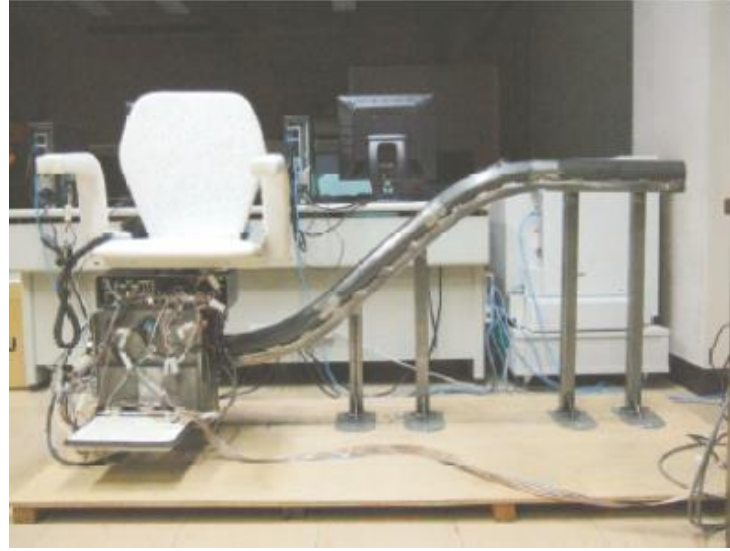


Şekil 2.5. Gizli makas asansörü (Anonim 2020e)

2.2. Kaynak Araştırması

Bu bölümde merdiven asansörleri alanında literatür araştırması sunulmuştur. Koltuk tipi engelli asansörlerinin ters sarkaç sistemine benzer bir sistem olması sebebiyle ters sarkaç sistemi hakkında yapılmış araştırmalara da yer verilmiştir.

Hirata ve ark. (2007) çalışmalarında tek ray profili üzerinde hareket edebilen koltuk tipi merdiven asansörün prototipini üretmişlerdir. Üretilen prototip Şekil 2.6’da verilmiştir. Üretilen prototipte iki adet motor kullanılmıştır. Motorlardan birini merdiven asansörünün bükümlü boru üzerinde hareket etmesini sağlamak için diğerini ise koltuğun yere göre paralel kalmasını sağlamak için kullanmışlardır. Algılayıcı olarak bir adet eğim sensörü kullanmıştır. Çalışmalarının sonucunda elde ettikleri verileri kayan mod denetleyici ile deneysel olarak incelemişlerdir.



Şekil 2.6. Tek ray üzerinde hareket edebilen koltuk tipi merdiven asansörü prototipi (Hirata ve ark. 2007)

Kulkarni ve ark. (2018) taşıyıcı üniteyi bükümlü ray profili üzerinde zincir dişli mekanizması ile tahrik ederek hareket ettiren bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmada 120 kg ağırlığına kadar engelli ve yaşlıları taşımak hedeflenmiştir. Merdiven asansörlerinde kullanılan kremayer-pinyon dişli ile tahrik, zincirli tahrik ve kayışlı tahrik sistemleri

hakkında bilgiler verilmiştir. Zincir dişli ile tahrik edilerek bükümlü ray üzerinde hareket ettirmeye çalıştıkları merdiven asansörü prototipi Şekil 2.7' de verilmiştir.



Şekil 2.7. Zincirli tahrik sistemine sahip merdiven asansörü prototipi (Kulkarni ve ark. 2018)

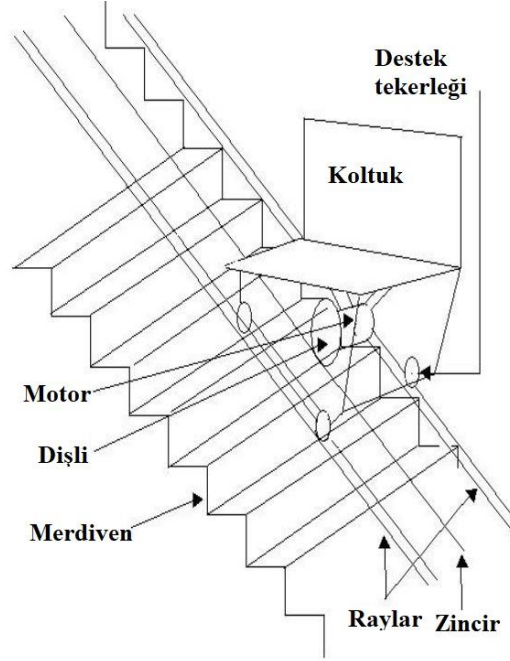
Chougule ve ark. (2018) bir halat ile tahrik edilen merdiven asansörünün hareket denklemlerini çıkarmışlardır. Halat ile tahrik edilen merdiven asansörünü Catia programı kullanarak modellemişler ve ANSYS ile önem arz eden parçalarının yük altındaki gerilmelerini analiz etmişlerdir.

Khidir ve ark. (2017) çalışmalarında maksimum 95 kg yük taşıyabilen, kremayer ve pinyon ile tahrik edilen bir merdiven asansörünü Solidworks programı ile modellemişlerdir. Tahrik sistemini oluşturan kremayer-pinyon dişli sisteminin yük altındaki gerilmeleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Navya ve ark. (2018) çalışmalarında merdiven asansörünün çalışma prensibini otomatik kontrol blokları ile açıklamışlardır. Wi-Fi ve sensörler kullanılarak android uygulaması ile evlerde kurulu merdiven asansörlerinin kontrol edilebilmesi üzerine bilgiler verilmiştir.

Gaikwad ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada 2400 dev/dak devrinde redüktör montajlı bir DA motor kullanarak deneysel olarak inceleyebilecekleri küçük bir merdiven asansörü

prototipi imal etmişlerdir. İmal edilen prototipin çalışma prensibini anlatan taslak çizimi Şekil 2.8’ de verilmiştir. Prototipin yük altındaki parçaların analizini ANSYS programı ile yapmışlardır.



Şekil 2.8. Merdiven asansörü prototipinin taslak çizimi (Gaikwad ve ark. 2013)

Sorate ve ark. (2015) makalelerinde merdiven asansörlerinde kullanılan tahrik mekanizmalarını incelemişlerdir. Birbirinden farklı tahrik mekanizmalarının olumlu ve olumsuz yönlerini karşılaştırmışlardır.

Ayas (2018) tez çalışmasında 150 kg yükü taşıyabilen bir engelli platformu tasarımı yapmış ve prototipinin imalatını gerçekleştirmiştir. Bu prototipin iskeletinin çalışma sırasında gerilmelerini sonlu elemanlar yöntemi ile analizini yapmıştır.

Bozbuğa (2018) engelli platformlarını kavramsal tasarım yönüyle incelediği tez çalışmasında, engelli platform çeşitleri hakkında bilgiler vermiş, mukavemet hesaplamaları yaparak bir prototip imal etmiştir.

Kaymul (2019) bir engelli platformunu Solidworks programı ile montajlamıştır. Bilgisayar ortamında engelli platform saçına alüminyum ve paslanmaz olarak farklı iki

malzeme atayarak saçın yük altında gerilme analizlerini incelemiştir. Ayrıca engelli platform sistemlerinin maliyet analizlerini yaparak farklı sistemlerin maliyet analizlerini karşılaştırmıştır.

Koltuklu merdiven asansörleri ters sarkaç sistemine benzer bir sisteme sahip olduğu için ters sarkaç sistemi üzerine de kaynak taraması yapılmıştır.

Arya ve George (2018) makalelerinde arabalı ters sarkaç sistemini incelemiştir. Arabanın hareketinin denetimi için PD denetleyici, ters sarkacın açılı kontrolünün denetimi için ise PID denetleyici olmak üzere iki ayrı kontrol cihazı kullanmıştır. Simülasyon çalışmalarının sonucunda bütünleşik denetim ile daha iyi yanıt alınabileceği sonucuna varmışlardır.

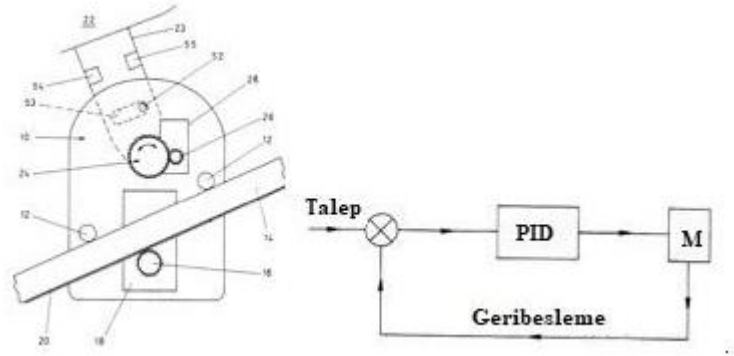
Ertuğrul (2015) ters sarkaç sistemini S7-1200 PLC ile kontrol etmeyi hedeflemiştir. Sistemin dinamik denklemlerini Lagrangian yöntemi kullanarak elde etmiştir. Bu denklemleri kullanarak sistemin transfer fonksiyonuna ulaşmıştır. Ayrıca kayış ve kasnakta oluşan bir ters sarkaç sistemini Solidworks programıyla tasarlayıp üretimini gerçekleştirmiştir. Üretilen bu sistem ile tezinde elde ettiği verileri deneysel olarak karşılaştırıp inceleyebilmiştir.

Kızır (2008) farklı denetim yöntemleri kullanarak ters sarkaç sisteminin açılı denetimini incelemiştir. MATLAB/Simulink ile sarkacın farklı açılarda hareketini bloklar halinde modellemiştir. Ayrıca tasarladığı bulanık mantık tipi denetleyici ile bozucu etkiler altında kararlı şekilde çalıştırabilmiştir.

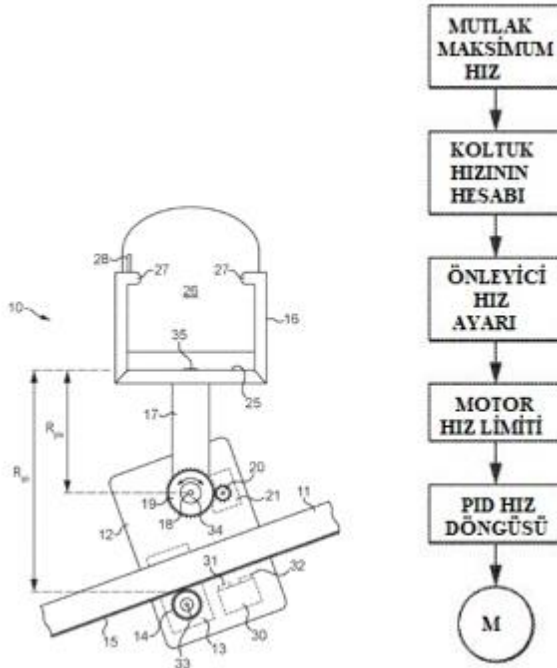
Peker (2017) yüksek lisans tez çalışmasında ters sarkaç sisteminde sarkacın zamana bağlı açılı değişimlerini PI ve PD denetleyicileri ile incelemiştir. Ters sarkaç sistemini MATLAB/Simulink programı ile sistem modellemesini gerçekleştirmiştir.

Glöwer (1995) kabul edilen patent başvurusunda ters sarkaca benzer koltuklu asansörlerin eğim sensörü kullanarak PID denetleyici ile koltuğun güvenli bir şekilde hareket etmesini amaçlamıştır. Şekil 2.9' da verilen resimde görüldüğü üzere ray profili üzerinde hareket

eden merdiven asansörü ve eğim sensörünü algılayıcı olarak kullanarak kapalı döngü PID denetleyici sistemi verilmiştir.



Şekil 2.9. Merdiven asansörü ve PID kapalı çevrim sistemi (Glower 1995)

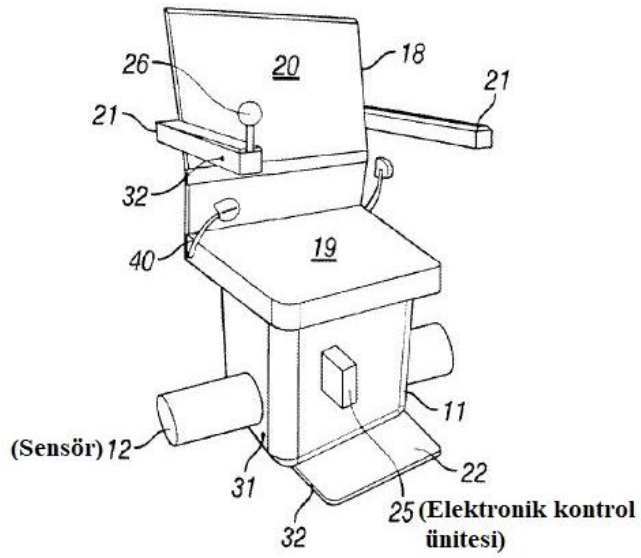


Şekil 2.10. Merdiven asansörü şematik görünüşü ve sistemin blok diyagramı (Cook 2016)

Cook (2016) patent çalışmasında bir merdiven asansörünün hızını kontrol etmek için bir yöntem sunmaktadır. Merdiven asansörünün şematik görünüşü ve sistemin çalışmasını anlatan blok diyagramı Şekil 2.10'te verilmiştir. Merdiven raylarındaki eğimli virajlarda, asansörün dönme hızı ölçülür ve sonra asansör tahrik motorunun hızı, dönme hızına göre

kontrol edilir. Sistemde dönme hızlarını izlemek için 3 eksenli bir jiroskop kullanmıştır ve bu jiroskoptan gelen çıktılar farklı hız kontrolü sağlamak için işlenmiştir.

Stannah (2013) koltuk tipi merdiven asansörleri ve engelli platformlarının gövdesine hareket yönü doğrultusunda sensörler yerleştirmesini önermiştir. Bu sensörler asansörün hareketi esnasında bir engelle karşılaşabilmesi durumunda engelle çarpmadan asansörün durmasını sağlamıştır. Merdiven asansörü ve gövdesine eklenen sensörler Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Sensör eklenen merdiven asansörünün izometrik görünüşü (Stannah 2013)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

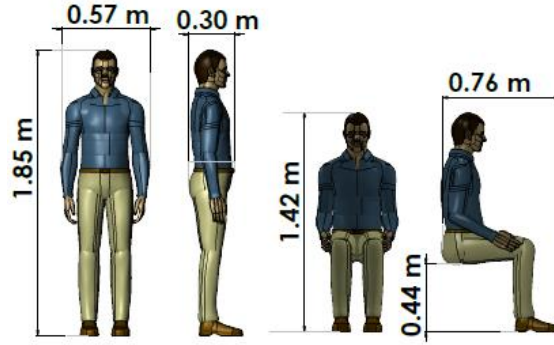
Tez çalışmasının “Materyal ve Yöntem” kısmında koltuk tipi merdiven asansörünün tasarımı, boyutlandırılması ile ilgili bilgi verilmiştir. Daha sonra “Newton’ un Hareket Yasaları” ve “Enerji Tabanlı Lagrange Yöntemi” kullanılarak sistemin hareket denklemleri elde edilmiştir. Ardından MATLAB/Simulink programında sistemin benzetim modeli hazırlanmış ve elde edilen sonuçlar “Bulgular ve Tartışma” kısmında sunulmuştur. Çalışmada koltuk tipi merdiven asansör taşıyıcısının hızının ve asansör koltuğunun açılma konumunun denetimi için iki ayrı denetim organı kullanılarak kontrol edilmiştir.

3.1. Koltuk Tipi Merdiven Asansörünün Tasarımı, Boyutları ve Yapısı

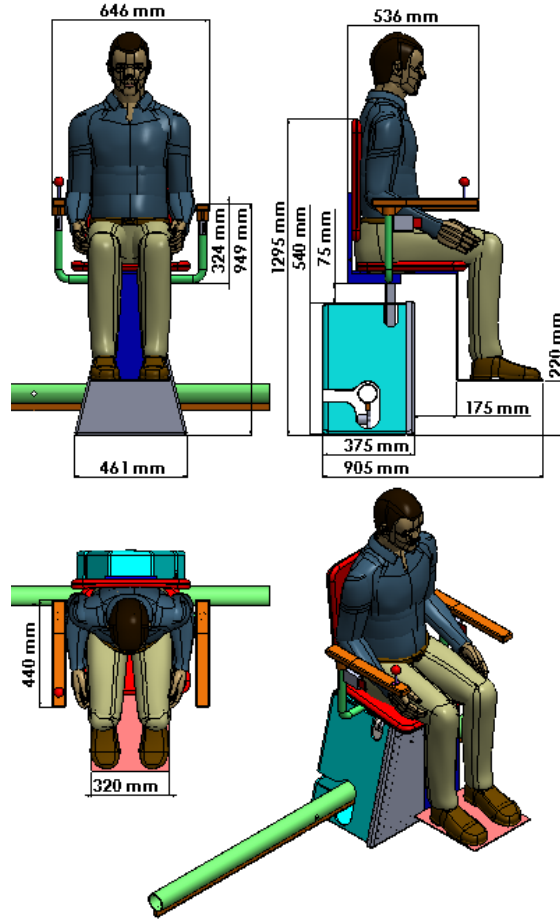
Avrupa’da koltuk tipi merdiven asansörleri; 2006/42/EC Makine Emniyet Yönetmeliği’ne ve EN 81-40 Asansör Standardına uygun olarak imal edilmektedirler. Bu tezde Solidworks tasarım programı ile montajı yapılan koltuk tipi merdiveni asansörün boyutlandırılmasında Avrupa’da standartlara uygun üretilen koltuk tipi asansörlerinin teknik dokümanları, literatürde yapılan çalışmalar, Cook (2016) ve Glower (1995)’in patentleri yol gösterici olmuştur. Koltuk tipi merdiven asansörünün boyutlarının uygunluğu GRABCAD verilerinde bulunan ayakta dikilen ve oturan bir insan modelinin bilgisayar ortamında montajı yapılan merdiven asansörüne eklenerek uygunluğunun kontrolü de yapılmıştır. Ayakta duran ve oturan insan katı modelinin ölçüleri Şekil 3.1’de Solidworks programı ile ölçülendirilip verilmiştir (Anonim 2019b, Anonim 2019c).

Ülkemizde yaygın olarak karşılaşılabilecek ölçülerde bir merdiven, asansör gövdesinin uygunluğunu kontrol etmek için tasarlanıp montaja eklenmiştir (Anonim 2020g). Tez çalışmasında boyutları ile esas alınan ve Solidworks programı ile montajı yapılan koltuk tipi merdiven asansörünün genel ebatları Şekil 3.2’de verilmiştir.

EN 81-40 Asansör Standardına göre koltuk tipi merdiven asansörlerinin tek ray boru profili üzerindeki ilerleme hızının en fazla 0.15 m/s olması istenmektedir. Bu sebeple çalışmada da bu hız değeri referans alınmıştır.



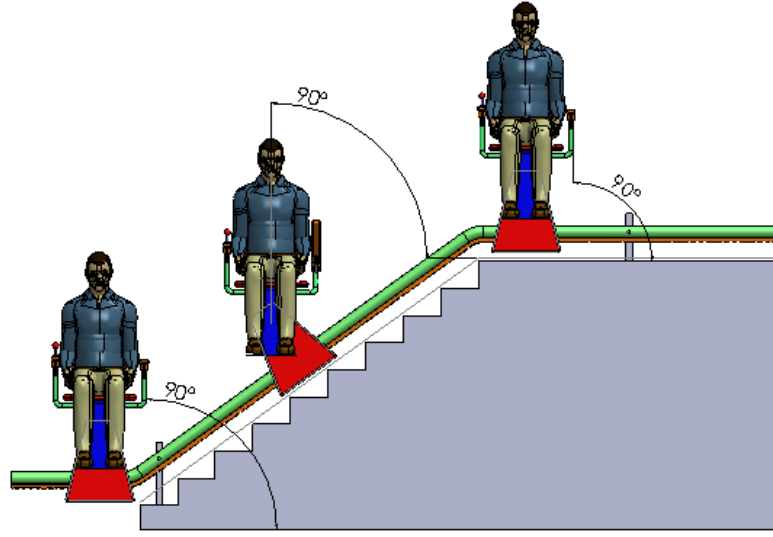
Şekil 3.1. Ayakta dikilen ve oturan insan katı modellerinin ebatları (Anonim 2019b, Anonim 2019c).



Şekil 3.2. Koltuk tipi merdiven asansörünün genel ebatları

Koltuk tipi merdiven asansörünün düz ve eğimli bir yol profilini takip ederken oluşacak hareketin gösterimi Şekil 3.3' de verilmiştir. Burada taşıyıcı kısmın yol profilini takip ederken koltuğu taşıyan sistemin yere göre açısının tüm hareket boyunca yatay eksene

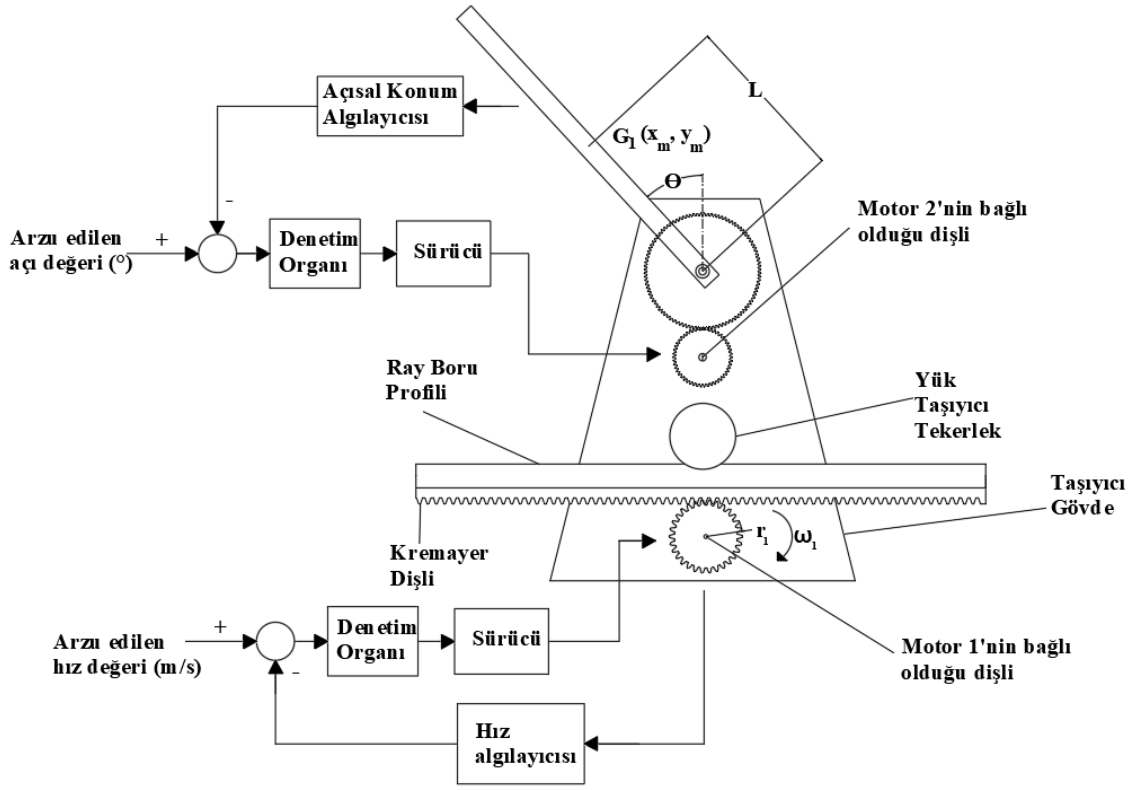
göre 90° olması istenmektedir. Tez çalışmasında incelenen sistemin fiziksel şeması Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Koltuk tipi merdiven asansörünün eğimli merdivende hareketinin gösterimi

Koltuk tipi merdiven asansörünü oluşturan taşıyıcı sistemi ve koltuğun montajlandığı sistemde denetim organı, sürücüler ve algılayıcılar da dahil edilmiştir. Gelişen CNC boru büküm teknolojisi ile üç eksende büküm işlemi yapılabilmektedir. Taşıyıcının pinyon dişli ile tahrik edilerek boru profili üzerinde ilerleyebilmesi için kremayer dişliler boruların büküm şekline göre bükülüp kaynatılmaktadır. Böylece bu tez konusu olan tek ray profili üzerinde hareket edebilen koltuk tipi merdiven asansörleri hem döner hem de eğimli merdivenlerde hareket edebilmektedir

Sistemde 2 adet doğru akım (DA) motoru bulunmaktadır. Motorlardan biri kremayer-pinyon dişli tahrik mekanizması ile merdiven asansörünün hareket etmesini sağlarken ikinci motor bir adet düz dişliyi tahrik ederek koltuğun yere göre açısının dik olmasını sağlama amacıyla eyleyici eleman olarak kullanılmaktadır. Motorlar asansör gövdesine eklenen 2 adet 24 V batarya ile çalışmaktadır.



Şekil 3.4. Merdiven asansörünün fiziksel şeması ve kapalı döngü blok şemaları

Taşıyıcının motor seçimi için asansörün toplam kütlelerinin 1.5 katı yük taşıyabilecek ve maksimum 40° eğimde hareket edebilecek DA motor seçilmiştir. Buna göre yokuş ve yuvarlanma kuvveti ve sabit hız ile hareket durumu dikkate alınarak 225 kg yükü hareket ettirebilecek tahrik kuvveti $F_{\text{tahrik}} = 1442 \text{ N}$ olarak hesaplanmıştır. Sistem kremayer-pinyon dişli ile tahrik edilmektedir. Buna göre taşıyıcıyı tahrik eden motor için gerekli tork değeri $M = F \cdot r_{\text{pinyon}}$ eşitliğinden $M=40.3 \text{ Nm}$ olarak bulunmuştur. Sistemde istenen 0.15 m/s hız için sistemin redüktör çıkış devri 50 dev/dak olarak seçilmiştir. Sistemi hareket ettirebilecek motor gücü %80 verim değeri için $P=M \cdot \omega = 270 \text{ W}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alınarak Transtecno DA motor kataloğundan sistemin çıkış torku ve gücünü sağlayan gücü 350 W, motor devri 3000 dev/dak, redüktör çevrim oranı 60 ve redüktör çıkış torku 45 Nm olan uygun redüktörlü 24 V DA motor seçilmiştir (Anonim 2020h).

Açı ayar motoru için belirlenen tasarım kriteri kullanılacak redüktörün çıkış devrinin 30 dev/dak olmasıdır. Konutlarda kullanılan merdiven eğimleri mühendislik bilgileri verilerinde $35^\circ - 38^\circ$ olduğu verilmiştir (Anonim 2020g). Açı ayar motorunun taşıyacağı yükün 1.5 katı yükü hareket ettirebileceği ve merdiven eğiminin maksimum 40° olabileceği belirlenmiştir. Taşıyıcı motoru için yapılan hesaplar açı ayar motoru için yapıldığında gerekli gücün 222 W ve redüktör çıkış torkunun 56,6 Nm olarak hesaplanmıştır. Transtecno DA kataloğunda sistemin çıkış torku ve gücünü sağlayan 350 W, motor devri 3000 d/d, redüktör çevrim oranı 100 ve redüktör çıkış torku 67 Nm olan uygun redüktörlü 24 V DA motor seçilmiştir (Anonim 2020h).

Merdivenlerin kalkış, iniş ve merdivenin hareket edeceği mesafe büyüklüğüne göre çeşitli bölümlerinde batarya şarj noktaları bulunmaktadır. Merdiven asansörleri çalıştırılmadığı durumlarda şarj istasyonlarında şarj edilmektedir.

3.2. Sistem Hareket Denklemlerinin Eldesi

Bu bölümde tek ray boru profilinde hareket edebilen koltuk tipi engelli asansörünün hareket denklemleri “Newton Hareket Yasaları” ve “Enerji Tabanlı Lagrange Yöntemi” kullanılarak çıkarılmıştır. Koltuk tipi merdiven asansör sisteminde; asansör gövdesi öteleme hareketi, koltuk genel düzlemsel hareket yapmaktadır. Koltuk sisteminin bağlantısı sebebiyle bir ters sarkaç yapısı ile benzeşim gösterdiği söylenebilir.

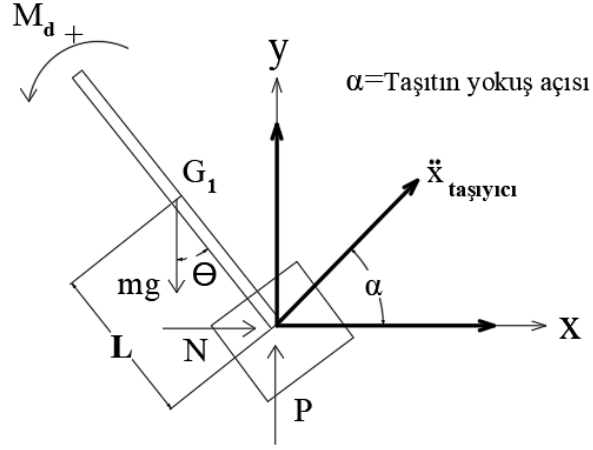
3.2.1. Newton Hareket Yasaları ile Sistemin Hareket Denklemlerinin Eldesi

Sistemin koltuk kısmına ait serbest cisim diyagramı Şekil 3.5’te verilmiştir. Koltuk, mil ve insan olarak modellenen kısmın hareket denklemleri;

$$\Sigma F_x = m(a_{G_1})_x \Rightarrow N = m(a_{G_1})_x \quad (3.1)$$

$$\Sigma F_y = m(a_{G_1})_y \Rightarrow P - mg = m(a_{G_1})_y \quad (3.2)$$

$$\Sigma M_{G_1} = I_{G_1} \ddot{\theta} \Rightarrow M_d + PL \sin \theta + NL \cos \theta = I_{G_1} \ddot{\theta} \quad (3.3)$$



Şekil 3.5. Sistemin serbest cisim diyagramı (Koltuk+ mil+insan)

olarak elde edilir. Burada $N, P, (a_{G_1})_x$ ve $(a_{G_1})_y$ bilinmeyen değişkenlerdir. Kinematik değişkenler $(a_{G_1})_x$ ve $(a_{G_1})_y$ bulunduğunda tepki kuvvetleri hesaplanabilir. Bunun için kinematik analiz incelenmelidir. $\vec{a}_O = \ddot{x}\vec{i}$, taşıyıcı rijit olduğu için her yerde ivme eşittir.

$$\vec{a}_{G_1} = \vec{a}_O + \vec{a}_{G_1/O} \Rightarrow \vec{a}_{G_1} = \ddot{x}_t \cos \alpha \vec{i} + \ddot{x}_t \sin \alpha \vec{j} + \vec{a}_{G_1/O} \quad (3.4)$$

$$\vec{r}_{G_1/O} = -L \sin \theta \vec{i} + L \cos \theta \vec{j} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} (a_{G_1})_x \vec{i} + (a_{G_1})_y \vec{j} = \ddot{x}_t \cos \alpha \vec{i} + \ddot{x}_t \sin \alpha \vec{j} + \{ \ddot{\theta} \vec{k} \times (-L \sin \theta \vec{i} + L \cos \theta \vec{j}) \\ - \dot{\theta}^2 (-L \sin \theta \vec{i} + L \cos \theta \vec{j}) \} \end{aligned} \quad (3.6)$$

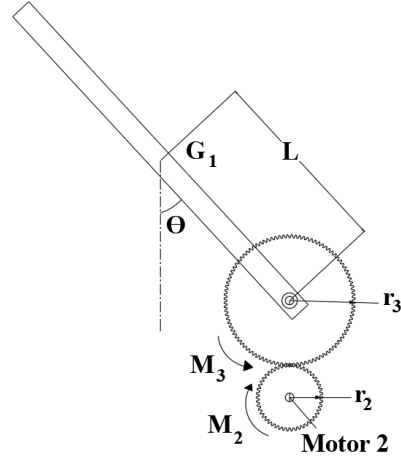
$$(a_{G_1})_x = \ddot{x}_t \cos \alpha - \ddot{\theta} L \cos \theta + \dot{\theta}^2 L \cos \theta \quad (3.7)$$

$$(a_{G_1})_y = \ddot{x}_t \sin \alpha - \ddot{\theta} L \sin \theta - \dot{\theta}^2 L \cos \theta \quad (3.8)$$

Bulunan (3.7) ve (3.8) numaralı denklemler (3.1) ve (3.2) numaralı denklemlerde yerine yazılarak P ve N kuvvetleri elde edilebilir.

$$N = m \ddot{x}_t \cos \alpha - m \ddot{\theta} L \cos \theta + m \dot{\theta}^2 L \sin \theta \quad (3.9)$$

$$P = m \ddot{x}_t \sin \alpha + mg - m \ddot{\theta} L \sin \theta - m \dot{\theta}^2 L \cos \theta \quad (3.10)$$



Şekil 3.6. Koltuk açısını düzenleyen motor, dişli ve koltuk sistemi

Koltuk açısını düzenleyen tahrik motoru, dişli ve koltuk sistemi Şekil 3.6' da gösterilmiştir. Buradan hareketle tahrik motoru momenti ile koltuk sistemine uygulanan moment arasındaki ilişki aşağıdaki gibi elde edilebilir. Buna göre;

$$\frac{M_3}{M_2} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = n \Rightarrow M_3 = M_d = M_2 n \quad (3.11)$$

elde edilir ve sarkaca dişliden uygulanan moment (3.3) numaralı denklemde (3.9) ve (3.10) numaralı denklemleri yerine yazılarak;

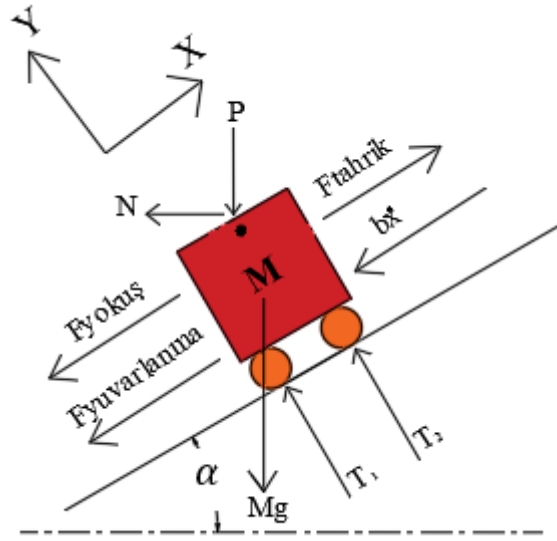
$$M_d = (I_{G_1} + mL^2)\ddot{\theta} - m\ddot{x}_t L(\sin\alpha \cdot \sin\theta + \cos\alpha \cdot \cos\theta) - mgL\sin\theta \quad (3.12)$$

olarak elde edilir. Bu denklemden açısal ivme:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{(I_{G_1} + mL^2)} (M_d + m\ddot{x}_t L(\sin\alpha \cdot \sin\theta + \cos\alpha \cdot \cos\theta) + mgL \cdot \sin\theta) \quad (3.13)$$

olarak bulunur.

Merdiven asansörünün taşıyıcı kısmının eğimli profildeki hareketi için serbest cisim diyagramı Şekil 3.7' de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Taşıyıcının serbest cisim diyagramı

Merdiven asansöründe kremayer dişli mekanizması taşıyıcı hızı:

$$v_{\text{taşıyıcı}} = \omega_1 \cdot r_{\text{pinyon}} \quad (3.14)$$

olarak ifade edilir. Taşıyıcı sistemdeki dişli mekanizması için

$$M_{M_1} \cdot \omega_{M_1} = M_1 \cdot \omega_1 \longrightarrow \frac{\omega_{M_1}}{\omega_1} = \frac{M_1}{M_{M_1}} = k \longrightarrow \omega_{M_1} = \omega_1 \cdot k \quad (3.15)$$

elde edilir. Newton'un 2. hareket yasasını taşıyıcı gövde için uygulanabilir. x yönündeki hareket denklemleri;

$$\Sigma F_x = M \ddot{x}_t \quad (3.16)$$

$$F_{KRM} - F_{yuv} - Mg \cdot \sin\alpha - b \dot{x}_t - N \cdot \cos\alpha - P \cdot \sin\alpha = M \ddot{x}_t \quad (3.17)$$

(3.9) ve (3.10) numaralı denklemler (3.17) numaralı denklemde yerine yazılarak

$$F_{KRM} = (M + m) \ddot{x}_t + F_{yuv} + (M + m) g \sin\alpha + b \dot{x}_t - m \ddot{\theta} L (\cos\theta \cos\alpha + \sin\theta \sin\alpha) + m \dot{\theta}^2 L (\sin\theta \cos\alpha - \cos\theta \sin\alpha) \quad (3.18)$$

elde edilir. Bu denklemden taşıyıcının ivmesi

$$\ddot{x}_t = \frac{1}{(M+m)} (F_{KRM} - F_{yuv} - (M+m)g\sin\alpha - b\dot{x}_t + m\ddot{\theta}L(\cos\theta\cos\alpha + \sin\theta\sin\alpha) - m\dot{\theta}^2L(\sin\theta\cos\alpha - \cos\theta\sin\alpha)) \quad (3.19)$$

olarak elde edilir.

3.2.2. Enerji Tabanlı Lagrange Yöntemi ile Sistemin Hareket Denklemlerinin Eldesi

Sistemin sahip olduğu toplam kinetik enerji; merdiven asansörünün gövdesinin kinetik enerjisi ile ters sarkacın sahip olduğu kinetik enerjilerin toplamına eşittir.

$$KE = KE_M + KE_m \quad (3.20)$$

Burada KE_m insan, ters sarkaç mili ve koltuğun oluşturduğu ters sarkacın kinetik enerjisi, KE_M sarkacı taşıyan merdiven asansörü gövdesinin kinetik enerjisidir. Ters sarkacın koordinatlarının zamana göre türevleri:

$$x_m = x_t \cos\alpha - L \sin\theta \Rightarrow \dot{x}_m = \dot{x}_t \cos\alpha - L\dot{\theta} \cos\theta \quad (3.21)$$

$$y_m = x_t \sin\alpha + L \cos\theta \Rightarrow \dot{y}_m = \dot{x}_t \sin\alpha - L\dot{\theta} \sin\theta \quad (3.22)$$

denklemlerine eşittir. Toplam kinetik enerji;

$$KE = \frac{1}{2} M \dot{x}_t^2 + \frac{1}{2} m (\dot{x}_m^2 + \dot{y}_m^2) + \frac{1}{2} I_{G_1} \dot{\theta}^2$$

$$KE = \frac{1}{2} (M+m) \dot{x}_t^2 - mL \dot{x}_t \dot{\theta} (\cos\alpha \cos\theta + \sin\alpha \sin\theta) + \frac{1}{2} (I_{G_1} + mL^2) \dot{\theta}^2 \quad (3.23)$$

olarak bulunur. Tek ray profili üzerinde hareket eden merdiven asansörü eğimli ekseninde hareket ederken sistemin potansiyel enerjisi:

$$PE = (M+m).g.x_t.\sin\alpha + mgL.\cos\theta \quad (3.24)$$

eşit olur. Kinetik enerji ve potansiyel enerji denklemlerinden lagrangian fonksiyonu;

$$\mathcal{L} = KE - PE \quad (3.25)$$

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(M + m)\dot{x}_t^2 - mL\dot{x}_t\dot{\theta}(\cos\alpha.\cos\theta + \sin\alpha.\sin\theta) + \frac{1}{2}(I_{G_1} + mL^2)\dot{\theta}^2 - (M + m).g.x_t.\sin\alpha - mgL.\cos\theta \quad (3.26)$$

denklemine eşit olur.

Lagrange denklemi;

$$F_i = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial x_i} \quad (3.27)$$

olarak tanımlanır. (3.27) numaralı Lagrange denklemini (3.26) numaralı denkleme uygulayarak x için;

$$F_{KRM} = (M + m)\ddot{x}_t + F_{yuv} + Mgsina + b\dot{x}_t - m\ddot{\theta}L(\cos\theta\cos\alpha + \sin\theta\sin\alpha) + m\dot{\theta}^2L(\sin\theta\cos\alpha - \cos\theta\sin\alpha) + mgsina \quad (3.28)$$

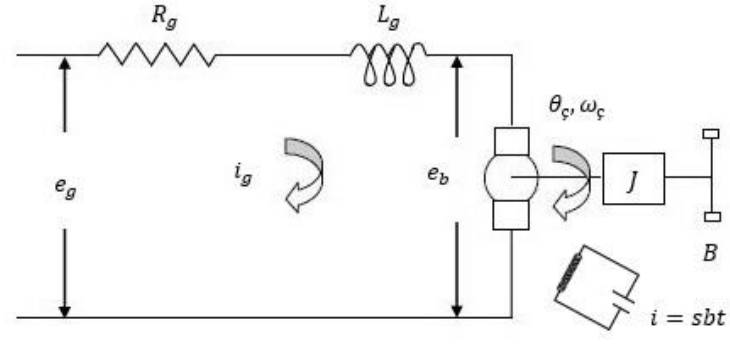
denklemini elde edilir. Benzer şekilde θ değişkeni için (3.27) numaralı denklem kullanılarak moment:

$$M_d = (I_{G_1} + mL^2)\ddot{\theta} - m\ddot{x}_tL(\sin\alpha.\sin\theta + \cos\alpha.\cos\theta) - mgL\sin\theta \quad (3.29)$$

olarak elde edilir.

3.3. Göbek Sargısı Denetimli DA Motoru ve Transfer Fonksiyonu

Göbek sargısı denetimli bir DA motorun sadeleştirilmiş modeli Şekil 3.8'de verilmiştir. Motorun alan sargısı sabit akımla beslenir.



Şekil 3.8. Göbek sargısı denetimli DA motoru

Sistemin elektriksel kısmında $e_g - e_b$ fark gerilimi değişimine karşılık meydana gelen akım değişimi arasındaki bağıntı ve Laplace dönüşümü;

$$e_g(t) - e_b(t) = L_g \frac{di_g}{dt} + R_g i_g(t) \xrightarrow{L.D.} E_g(s) - E_b(s) = [L_g s + R_g] I_g(s) \quad (3.30)$$

olarak ifade edilir. Burada e_b zıt e.m.k rotorun hızı ile orantılı olup doğrusallaştırılmış bağıntısı ve Laplace dönüşümü;

$$e_b(t) = K_b \frac{d\theta_c}{dt} = K_b \omega_c(t) \xrightarrow{L.D.} E_b(s) = K_b s \theta_c(s) \quad (3.31)$$

denklemleri ile verilir. Akım değişimine karşılık meydana gelen döndürme momenti;

$$M(t) = K_m i_g(t) \xrightarrow{L.D.} M(s) = K_m I_g(s) \quad (3.32)$$

denklemleri ile tanımlanır. Mekanik kısmının diferansiyel denklemi ve Laplace dönüşümü;

$$M(t) = J \frac{d^2\theta_c}{dt^2} + B \frac{d\theta_c}{dt} \xrightarrow{L.D.} M(s) = s(Js + B)\theta_c(s) \quad (3.33)$$

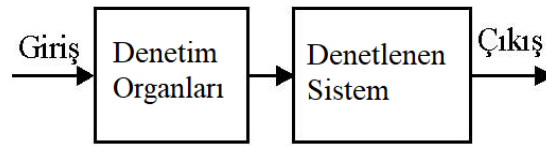
ifadesine eşittir.

3.4. Denetim Sistemleri ve PID Denetleyici Genel Özellikleri

3.4.1. Denetim Sistemleri

Denetim sistemleri kendisini ya da başka bir sistemi kumanda etmek, yönlendirmek ya da düzenlemek üzere birleştirilen fiziksel organlar kümesidir. Mühendislik bakımından denetim sistemleri, insan gereksinimlerine duyulan ihtiyacı sınırlamaya çalışır. Denetim sistemleri, denetlenen niceliklerin değerlerini sabit tutabilir veya önceden belirlenen değerlere değişmesini sağlar. Denetim sistemleri denetim etkisi bakımından ikiye ayrılabilir. Bunlar açık-döngü sistemleri ve kapalı-döngü sistemleridir (Yüksel 2016).

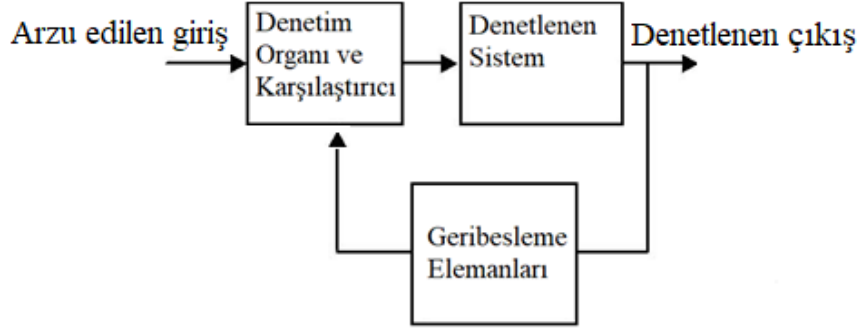
Açık-döngü denetim sistemi: Bu sistemlerde denetimin faaliyetleri denetim sisteminin çıkışından bağımsızdır. Açık-döngü sistemlerinde istenilen giriş değeri ile sistemin çıkış değeri arasında karşılaştırma yapılmaz. Bu sistemlerin kullanıldığı uygulamalar iç ya da dış bozucuların olmadığı uygulamalardır. Çıkış ve giriş arasında bir karşılaştırma olmadığı için, sistemin çalışmasının doğruluğu kalibrasyonla yapılabilir. Otomatik çamaşır makineleri ve trafik lambaları açık-döngü sistemi ile çalışan uygulamalardır. Otomatik çamaşır makinelerinde bir program ile sisteme giriş verilir ve sistem verilen programın sırasını izler. Trafik lambalarında ışıklar belirli bir sıra ve belirli bir süre ile yanıp söner (Yüksel 2016). Açık-döngü denetim sistemi blok şeması Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Açık-döngü denetim sistemi

Kapalı-döngü denetim sistemi: Bu denetim sistemlerinde denetim faaliyeti sistemin denetlenen çıkışına bağlıdır. Kapalı-döngü denetim sistemi, geribeslemeli denetim sistemi olarak da bilinmektedir. Sistemin çıkışı ölçülerek geri beslenir. Sonra istenen giriş değeri ile karşılaştırılır. Kapalı-döngü denetim sistemi Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu denetim sisteminde geribesleme elemanı bulunduğu için sistemin çıkışından sistemin

girişine haber ulaşır. Açık-döngü sistemi ile kapalı-döngü sistemi arasındaki en önemli farklılık geribesleme elemanının ve geri besleme etkisinin kapalı-döngü denetim sistemlerinde bulunmasıdır. Geribesleme etkisi, negatif geribesleme ve pozitif geribesleme olmak üzere ikiye ayrılır (Yüksel 2016).



Şekil 3.10. Kapalı-döngü denetim sistemi

Negatif geribesleme: Sistem çıkışında oluşan değişimler sistem girişini ters yönde etkiler. Bu tip bir sistemde çıkış istenen değere göre bir artış gösterirse, denetim etkisini azaltılıp çıkışın istenen değere geri dönmesini sağlar. Sistem çıkışı istenen değere göre azalma gösterirse denetim etkisi artırılır ve çıkışın istenen değere yükselmesi sağlanır. Negatif geribeslemede girişle çıkışın farkı alınır ve bu fark negatif ya da pozitif değerli olabilir. Bu fark değeri denetim organına hata girişi olarak iletilir ve çıkışın istenen değere getirilmesini ve bu değerde sabit tutulmasını sağlar. Endüstriyel alanlarda kullanılan denetim sistemlerinin neredeyse hepsi negatif geribesleme esasına göre çalışır (Yüksel 2016).

Pozitif geribesleme: Sistem çıkışı girişe aynı yönde etki eder. Sistem çıkışında herhangi bir artış olursa bu giriş ile toplanır hata sinyalinde bir artış meydana getirir. Sistemde çıkışı daha da arttıracak yönde bir etki oluşturur. Sonuç olarak bu artış sistemin fiziksel sınırlamalarına kadar devam eder ve sistem artık denetlenemeyecek hale gelir. Pozitif hatayı sıfırlama imkânı olmadığından dolayı kapalı-döngü denetim sistemlerinde kullanılmaz (Yüksel 2016).

3.4.2. PID Denetleyici Genel Özellikleri

PID denetimi; orantı, integral ve türev temel denetim etkilerini birleştirir. Sistemde hata olduğu sürece denetim komutu da sürekli mevcut olur. PID proportional (orantı), integral (integral) ve derivative (türev) İngilizce kelimelerinin ilk harflerinden oluşur. Standart tipi PID transfer fonksiyonu;

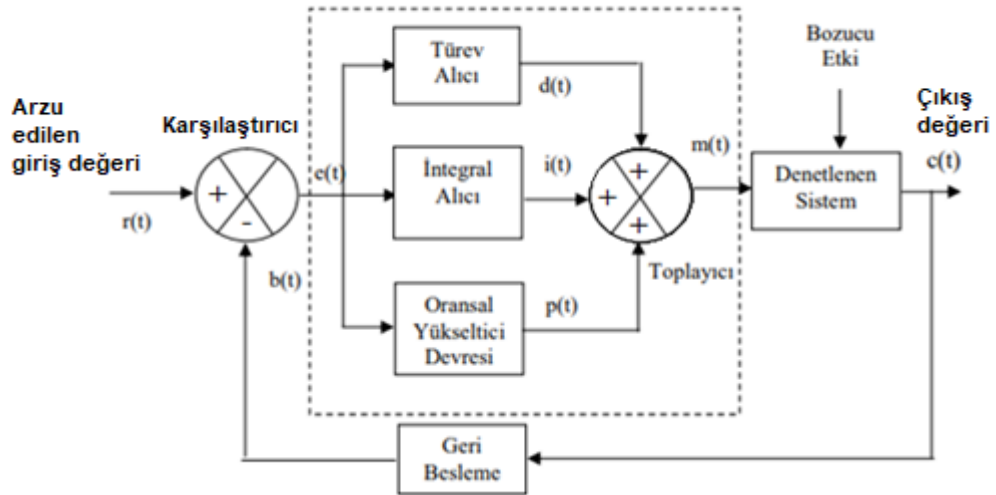
$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3.34)$$

olarak ifade edilir. PID denetimi blok diyagramı ve kapalı döngü çalışan bir sistemin genel gösterimi Şekil 3.11’de verilmiştir.

Ayrıca uygulamalarda kullanılan iki PID bağlantı şekli daha vardır. Bunlar koştut ve ardışık olarak adlandırılan PID denetleyici şekilleridir. Koştut ve ardışık PID denetleyicilerin transfer fonksiyonları;

$$G_d(s)_{koştutPID} = K_{pp} + \frac{1}{T_{ip}s} + T_{dp}s \quad (3.35)$$

$$G_d(s)_{ardışıkPID} = K_{pp} \left(1 + \frac{1}{T_{is}} \right) (1 + T_{ds}s) \quad (3.36)$$



Şekil 3.11. PID denetimi blok diyagramı (Anonim 2009)

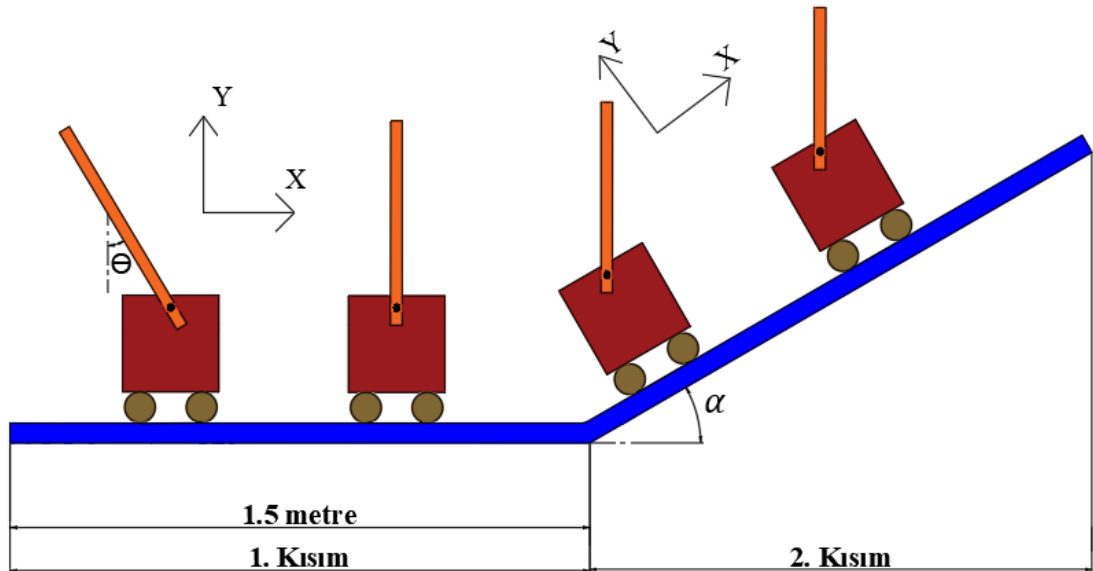
şeklinde ifade edilir (Yüksel 2016). PID denetiminde P, I ve D kazançları sistemin çalışmasında farklı şekillerde etki eder. Bu etkiler Çizelge 3.1’te verilmiştir.

Çizelge 3.1. PID denetleyicide K_p , K_i ve K_d ’ nin sistem cevabı üzerindeki etkileri (Anonim 2009)

Denetleyici	Kazanç	Yükselme Zamanı	Aşma	Oturma Zamanı	Kalıcı Durum Hatası
Oransal	K_p	Azaltır	Arttırır	Biraz azaltır	Azaltır
İntegral	K_i	Biraz azaltır	Arttırır	Arttırır	Yok eder
Türev	K_d	Biraz değiştirir	Azaltır	Azaltır	Etkisi yoktur.

3.5. MATLAB/Simulink Modelinin Oluşturulması ve Sistemin PID Denetimi

Sistemin dinamik davranışını incelemek, hız ve açısal konum denetimi yapmak için sistemin benzetim modeli MATLAB/Simulink programında kurulmuştur. Sistemde koltuğun açısal konum ve taşıyıcının hız denetimi için orantı (P), orantı+integral (PI) tipi denetim organlarının kullanımının sistem cevabı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Benzetim modelinin çalışma senaryosu Şekil 3.12’ de gösterilmiştir. Bu senaryoya göre taşıyıcı 1.5 m düz yolda hareket ettikten sonra eğimli bir yolda hareket etmeye başlamaktadır. Sistemin davranışı bu senaryoya dikkate alınarak incelenmiştir.



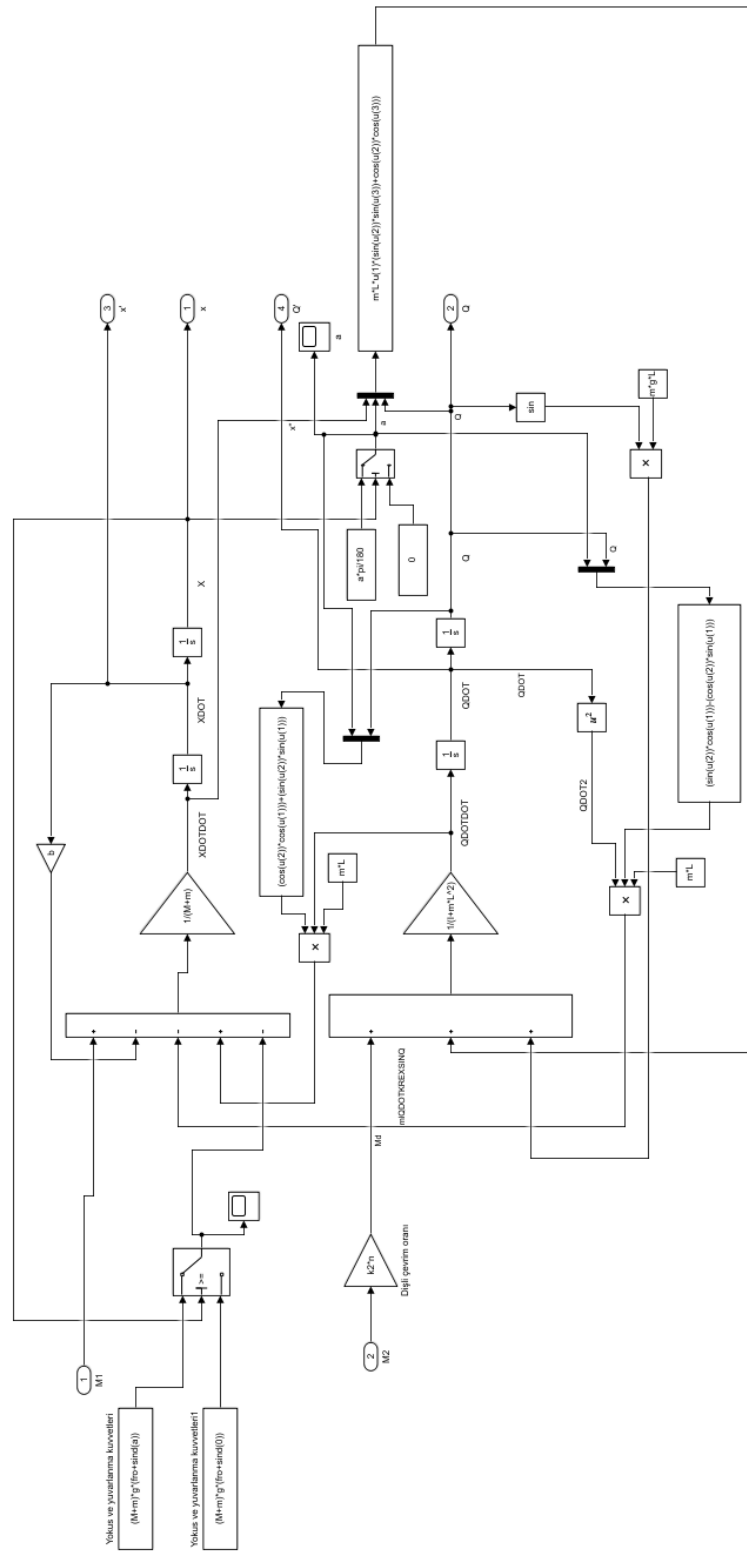
Şekil 3.12. Benzetim modeli senaryosu

Çizelge 3.2’de verilen sistem parametreleri MATLAB/Simulink’te tanıtılıp analiz yapılmıştır. Denetim algoritmasının parametre değerleri deneme yanılma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

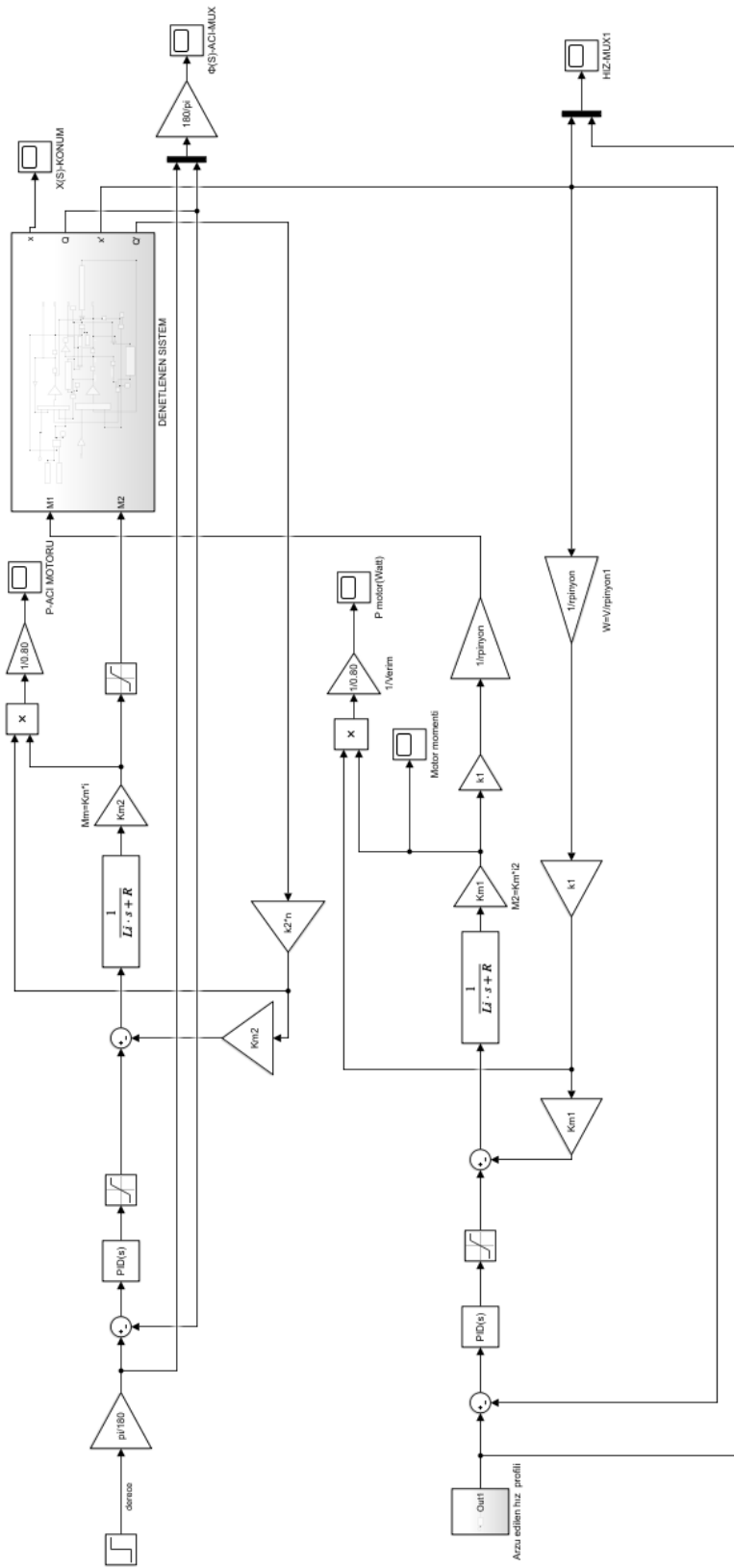
Çizelge 3.2. Koltuk tipi merdiven asansörünün sistem parametreleri

Sembol	Değer	Sembol	Değer
b	0 N/(m/s)	I_G	5.5 kg. m ²
L	0.3 m	R	0.6 ohm
L_i	0.012 H	n	5
m	100 kg	r_3	0.070 m
M	50 kg	g	9.8 m/s ²
r_{pinyon}	0.028 m	k_1	60
r_3	0.2 m	k_2	100
K_{m1}	0.0375 Nm/A	I_G	5.5 kg. m ²
K_{m2}	0.0335 Nm/A	α	30°
f_{ro}	0.015		

Taşıyıcı ve koltuk sistemi için elde edilen (3.13) ve (3.19) numaralı denklemleri kullanılarak kurgulanan MATLAB/Simulink modeli Şekil 3.13’de verilmiştir. Koltuklu merdiven asansörünün kapalı döngü çalışmasının incelenmesi için Şekil 3.4 dikkate alınarak hazırlanan MATLAB/Simulink modeli Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Taşıyıcı ve koltuk sisteminin benzetim modeli



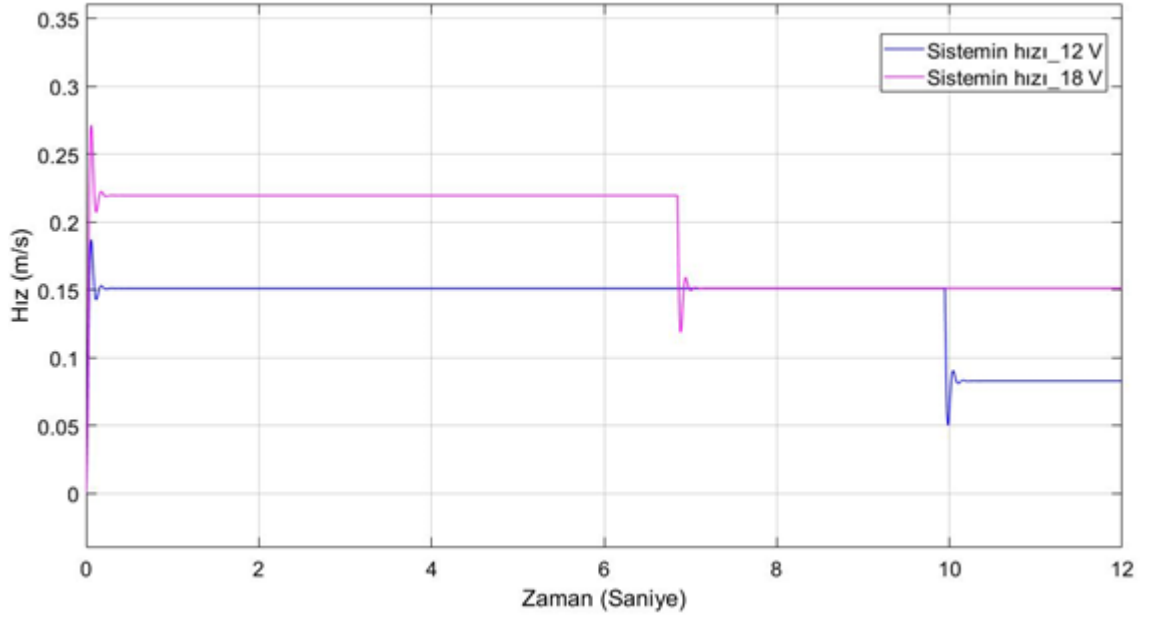
Şekil 3.14. Sistemin kapalı döngü MATLAB/Simulink benzetim modeli

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmanın bu kısmında “Materyal ve Yöntem” bölümünde sunulan benzetim modeli kullanılarak sistemin dinamik davranışı incelenmiştir. Sistemin farklı çalışma koşulları altındaki dinamik davranışı 6 farklı senaryo ile incelenmiştir. Çalışmada taşıyıcının hızı, koltuk sisteminin açısal konum değişimi ve kullanılan motorların güç değişimleri elde edilmiştir.

4.1. Senaryo A

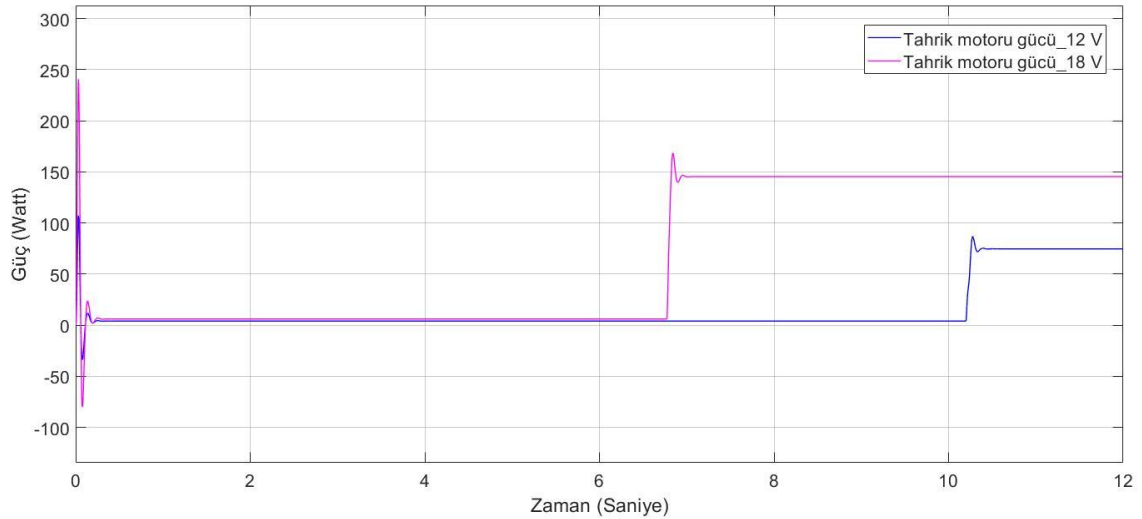
Bu senaryoda taşıyıcı sistemin açık döngü çalıştırılması halinde taşıyıcı kısmının dinamik davranışı kapalı döngü haldeki çalışmasıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Taşıyıcı Şekil 3.12’de verilen yol profilini izleyerek yatay profilde 1.5 m hareket ettikten sonra 30° eğimli merdivenden yukarı çıkmaktadır.



Şekil 3.15. Taşıyıcının hız-zaman değişimi (açık döngü çalışma hali)

Bu senaryoda açık döngü sistemin sistemin 0.15 m/s hız ile hareket edebilmesinin sağlayan motor tahrik gerilim değerleri tespit edilmiştir. Bu hız değerinin yatayda harekette 12 V, yokuşta harekette 18 V olduğu tespit edilmiştir. 12 V ve 18 V giriş gerilimleri uygulanarak model çalıştırılmıştır. Sistemin gecici durum cevabı

incelendiğinde titreşimli sönümlü dinamik davranış gösterdiği görülmüştür. Şekil 3.15’de taşıyıcının motoruna 12 V giriş gerilimi uygulandığında yatay yol profilinde yaklaşık 0.15 m/s hızla hareket edebildiği ancak yokuşta harekete başladığında bu hız değerini koruyamadığı ve hareket hızının 0.05 m/s’ e düştüğü gözlenmiştir. Aynı sisteme yokuşta 0,15 m/s hızla hareketi edebilecek şekilde 18 V giriş gerilimi uygulandığında yatayda hareket esnasında hız değerinin arttığı ve 0.22 m/s hızla hareket ettiği görülmüştür. Sistemin açık döngü çalıştırılması halinde değişken yük şartlarında sabit bir hız profili elde edilememektedir. Sistemin yük durumu değişimine göre sistemin hızı da değişmektedir.



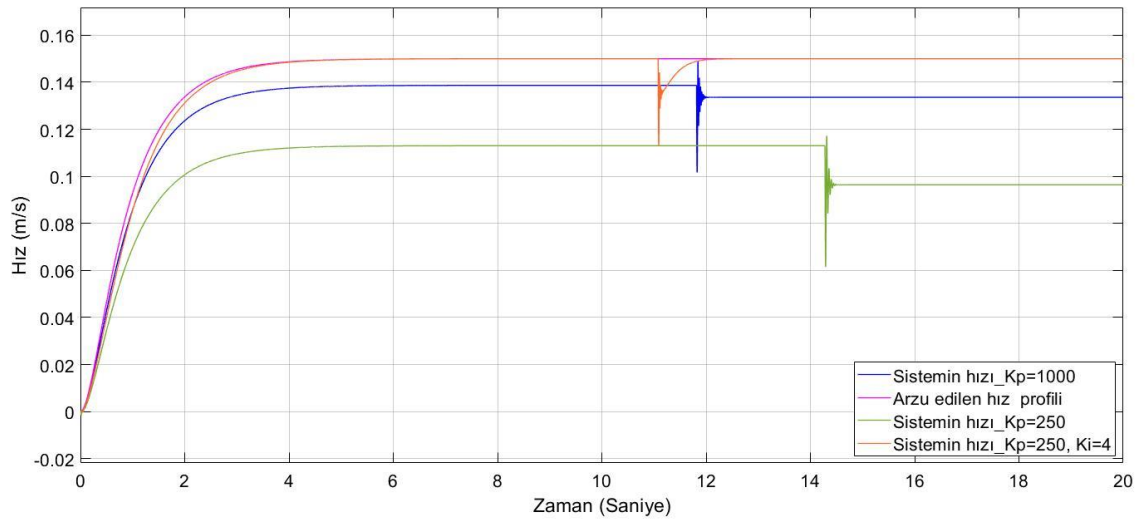
Şekil 3.16. Taşıyıcının güç-zaman değişimi (açık döngü çalışma hali)

Taşıyıcı motorunun 12 V ve 18 V gerilim değerlerinde çalıştırılmasıyla elde edilen güç grafikleri Şekil 3.16’ da gösterilmiştir. Tahrik motoru 12 V gerilim değerinde çalıştırıldığında yataydaki hareketinde yaklaşık 10 W, 30° eğimi çıkarken 75 W güç harcarken, 18 V giriş gerilimi uygulandığında çalıştırıldığında ise yatay hareketi esnasında yaklaşık 15 W, 30° eğimi çıkarken yaklaşık 148 W güç harcadığı görülmüştür.

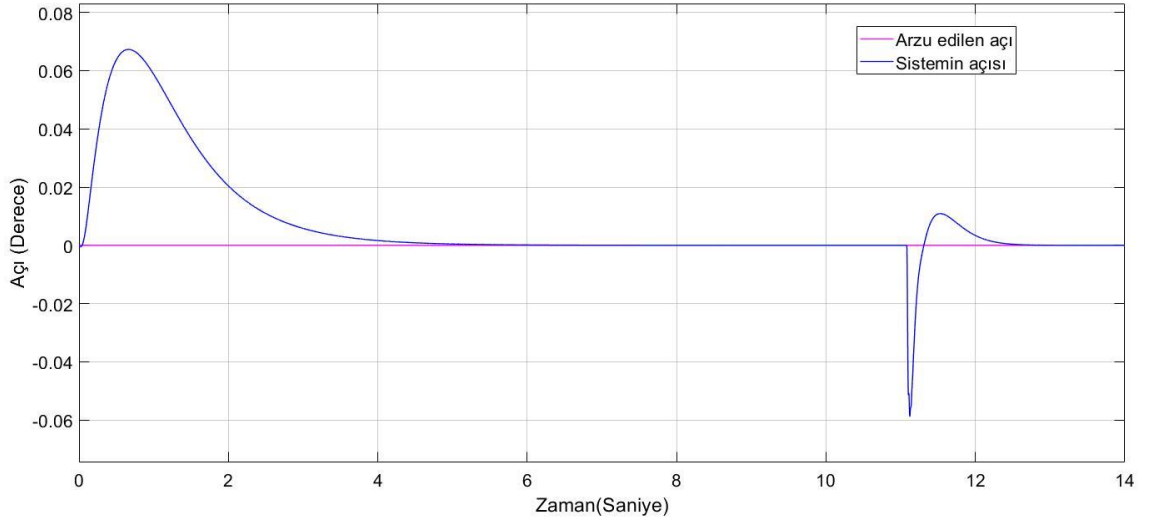
4.2. Senaryo B

Senaryo B’de sistem Şekil 3.12’de verilen yol profilini izleyecek şekilde modellenmiş ve yokuş eğimi $a = 30^\circ$ olarak alınmıştır. Bu senaryoda taşıyıcı ve koltuk sistemi kapalı döngü olarak çalıştırılarak sistemin dinamik davranışı incelenmiştir. Şekil 3.17’ de

görülebileceği gibi taşıyıcının hız kontrolü için orantı etki (P etki) ile denetim yapıldığında $K_p=250$ değeri için kalıcı durum hatası oluştuğu ve taşıyıcının arzu edilen hız değerine ulaşamadığı görülmüştür. Kazanç değeri artırılarak $K_p=1000$ değeri verildiğinde kalıcı durum hatasının azaldığı tespit edilmiştir. Sistemde oluşan bu kalıcı durum hatasını ortadan kaldırmak amacıyla orantı etkiye integral etki ilavesi yapılmış ve sistem PI denetim organı ile kapalı döngü halde çalıştırılmıştır. PI denetim etki ($K_p=250$, $K_i=4$) uygulandığında sistemin arzu edilen hız girişini geçici ve kalıcı durum hali için daha iyi bir performans ile takip ettiği görülmüş ve kalıcı durum halinde hatanın sıfır olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca taşıyıcının yatay ve yokuşta hareket sırasında hızının geçici durum davranışının tamamlanmasından sonra 0.15 m/s olarak sabit kaldığı görülmüştür. Sistemin Senaryo A' da incelenen açık döngü çalışmada ve kapalı döngü halde sadece P etki ile çalıştırıldığı durumda kalıcı durum hatası oluştuğu ve yük değişimlerinde hızın sabit kalmadığı görülmüştür. Sistemin PI denetim organı ile çalıştırılması halinde sistemin farklı yük koşullarında bile hız değerini kalıcı durum halinde 0.15 m/s olarak sağlayabildiği tespit edilmiştir.



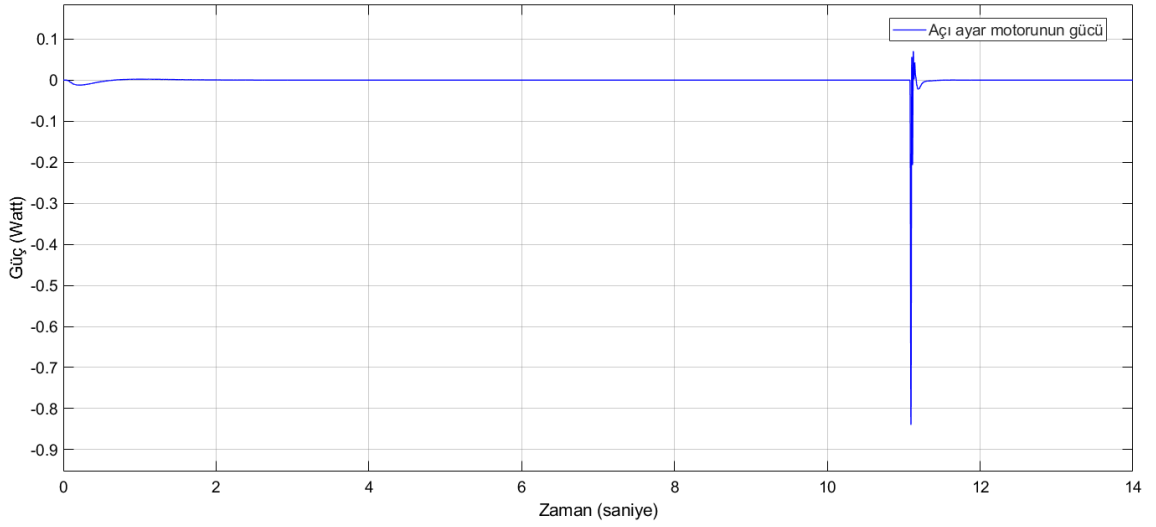
Şekil 3.17. Senaryo B sistemin kapalı döngü MATLAB/Simulink benzetiminin P ve PI denetimi sonucu hız-zaman grafikleri



Şekil 3.18. Senaryo B koltuk sisteminin açı-zaman grafiği

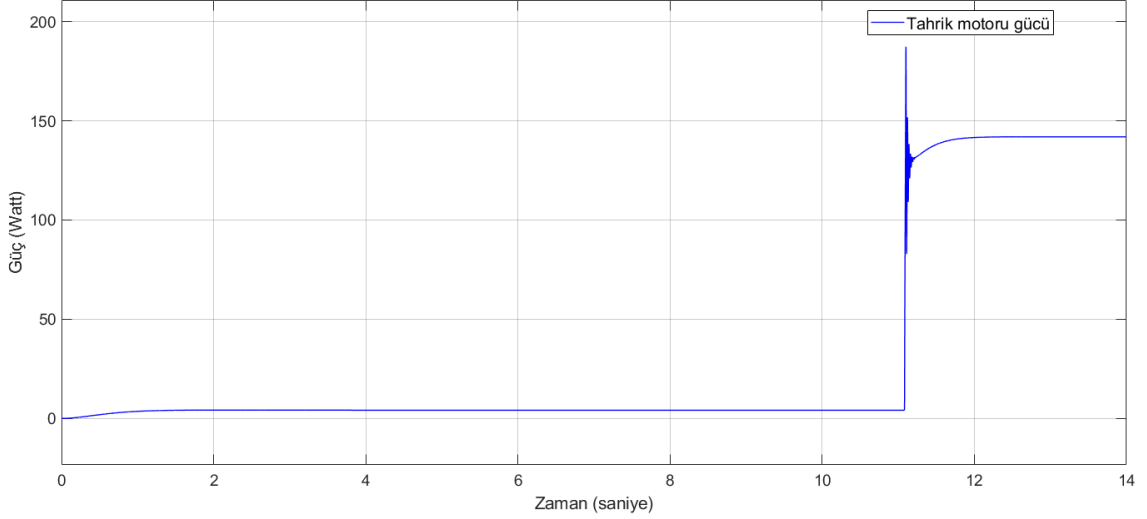
Koltuğun açısının tüm hareket profili boyunca Şekil 3.5’ de gösterilen duruma göre $\theta = 0^\circ$ olacak veya başka bir deyişle yere göre dik konumda ilerleyecek şekilde kontrol edilmesi öngörülerek arzu edilen giriş değeri sıfır olarak verilmiştir. Koltuk sisteminin kapalı döngü açı kontrolünde denetim organı olarak orantı tipi (P tipi) denetim organı kullanılmıştır. Şekil 3.18’de asansörün koltuk açısının 4 s’de istenen açı değerine ulaştığı görülmüştür. Yatay ekseninde hareketi esnasında ilk 4 s’deki maksimum 0.07° ’ lik açı değişimi sistem için kabul edilebilir bir durumdur. Taşıyıcı sistemin eğimli profile geçişi esnasında 11. s’ de koltuğun bu yük değişimine göre oluşan geçici durum davranışını 1 s’ de tamamlayarak tekrar yataya göre dik konuma geldiği görülmüştür.

Sisteminin çalışması esnasında koltuk ve taşıyıcı alt sistemlerin dinamik davranışları birbirinden etkilenmektedir. Şekil 3.18’ de görülebileceği gibi sistemin ilk çalışmaya başladığı durumda taşıyıcının hız değerinin maksimum değere ulaşması yaklaşık 4 s’ de gerçekleşmektedir. Koltuğun açı profilinin de kalıcı durum halinde ulaşması 4 s’ yi bulmaktadır. Ancak yokuşa geçiş sırasında görüldüğü üzere koltuk arzu edilen açı değerine 1.5 s içerisinde ulaşabilmektedir.



Şekil 3.19. Senaryo B için açılı motoru güç-zaman grafiği

Şekil 3.19'da sistemin açılı motoru güç zaman grafiği verilmiştir. Sistem eğimli profile geçişi esnasında motorun harcadığı güç artmıştır ve geçiş esnasında harcadığı güç 0.85 W olarak elde edilmiştir.

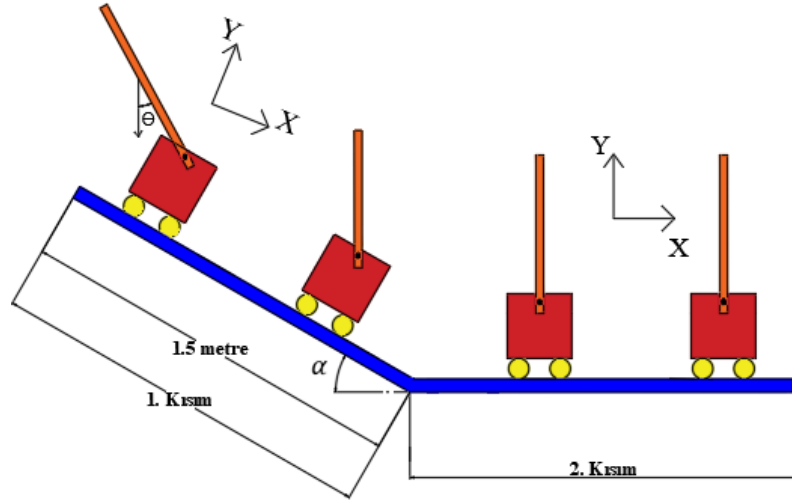


Şekil 3.20. Senaryo B için taşıyıcı motorun güç-zaman grafiği

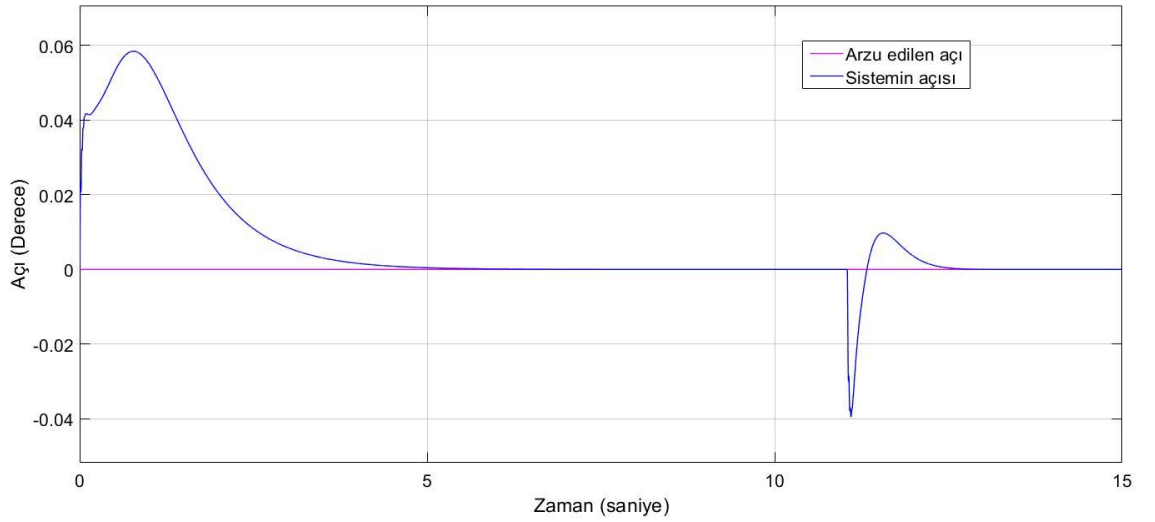
Şekil 3.20'de sistemin yatay ve eğimli profile tahrik eden motorun güç zaman grafiği verilmiştir. Yatay ekseninde yaklaşık 10 W güç, yokuştaki harekette ise 149 W güç harcadığı görülmüştür.

4.3. Senaryo C

Bu senaryoda sistemin rampadan iniş ve yatayda harekete geçişi Şekil 3.21'deki yol profili ile incelenmiştir. Burada da taşıyıcı ve koltuk kapalı döngü olarak çalıştırılmıştır ve Senaryo B' deki denetim organı parametreleri kullanılmıştır. Taşıyıcının hız profili Senaryo B' deki durumla aynı verilmiştir.

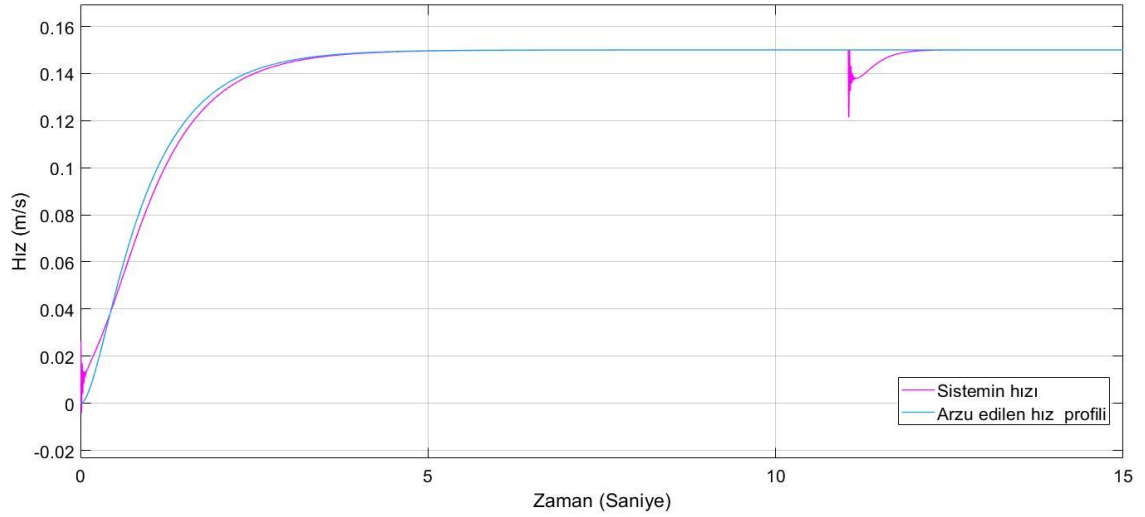


Şekil 3.21. Senaryo C benzetim modeli senaryosu



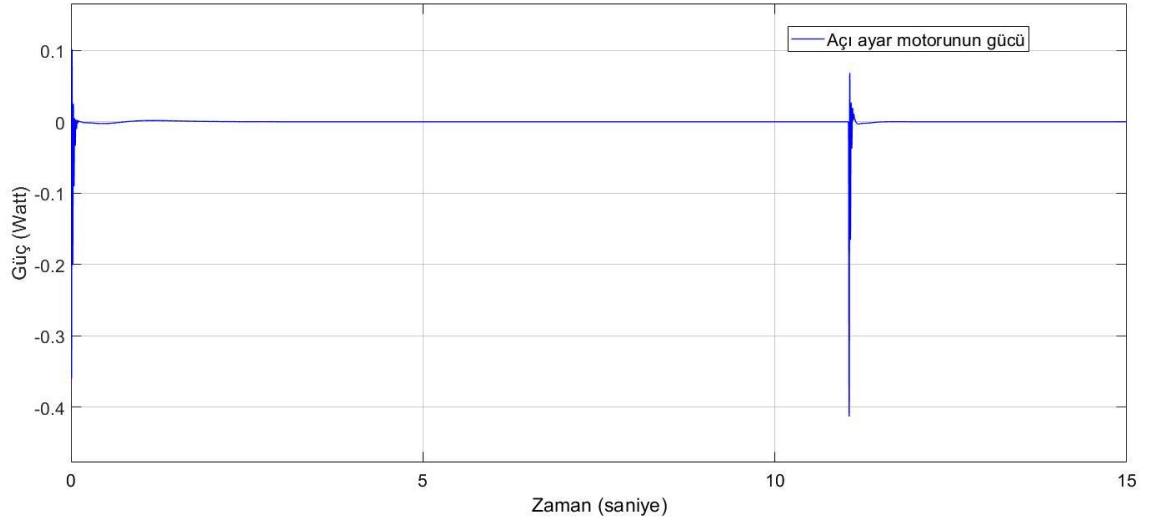
Şekil 3.22. Senaryo C için koltuk sisteminin açı-zaman grafiği

Şekil 3.22' den koltuk sisteminin yokuşta aşağı inerken ve yatayda hareket ederken kalıcı durum halinde arzu edilen değeri sağladığı görülmüştür. Hareketin başlangıcında ve yokuştan yataya geçiş esnasındaki geçici durum davranışlarında da ortaya çıkan sapmanın 0.04 derece olduğu ve bu değerlerinde makul olduğu görülmüştür. Bu sebeple koltuğun bu hareket sırasında da yataya göre dik konumunu koruduğu gözlenmiştir.

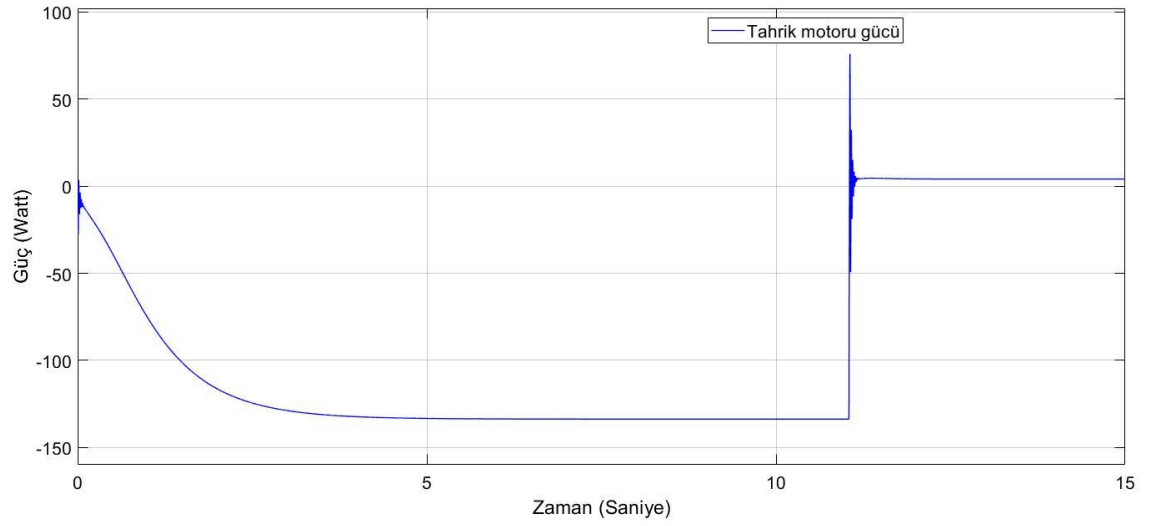


Şekil 3.23. Senaryo C için taşıyıcı sistemin hız-zaman grafiği

Şekil 3.23' de taşıyıcı sistemin çalışmaya başlaması esnasında ilk 0.1 s' de titreşimli bir hareket yaptığı ve daha sonra istenilen hız profilini takip ederek kalıcı duruma ulaştığı görülmüştür. Sistem yatay ekseninde hareketine başlarken hızın 0.12 m/s' ye düştüğü ve 1 s içerisinde taşıyıcının istenen hız değeri olan 0.15 m/s ye ulaşarak sabit hızla hareketine devam ettiği görülmüştür.



Şekil 3.24. Senaryo C için açılı motoru güç-zaman grafiği

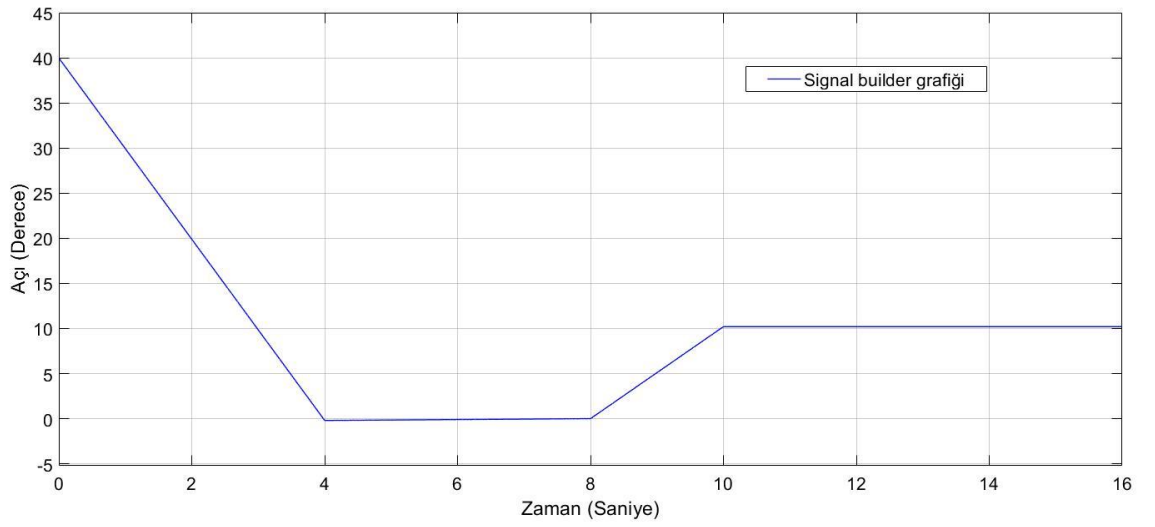


Şekil 3.25. Senaryo C için taşıyıcı motoru güç-zaman grafiği

Şekil 3.24'de açılı motorunun Senaryo C koşullarında sistemin en fazla güç tüketimini ilk 0.1 s'de 0.35 W güç harcayarak harekete ve 12. s'de eğimli profile geçişi esnasında 0.43 W güç harcadığı görülmüştür. Şekil 3.25'de sistemin 30° eğimli profilden aşağıya yokuş kuvveti ile ilerlemesini engelleyerek 0.15 m/s hızla hareket etmesini sağlayan motor 5-10 s hareketi boyunca 130 W güç harcamıştır. Yatay eksen ise yaklaşık 10 W güç harcadığı görülmüştür.

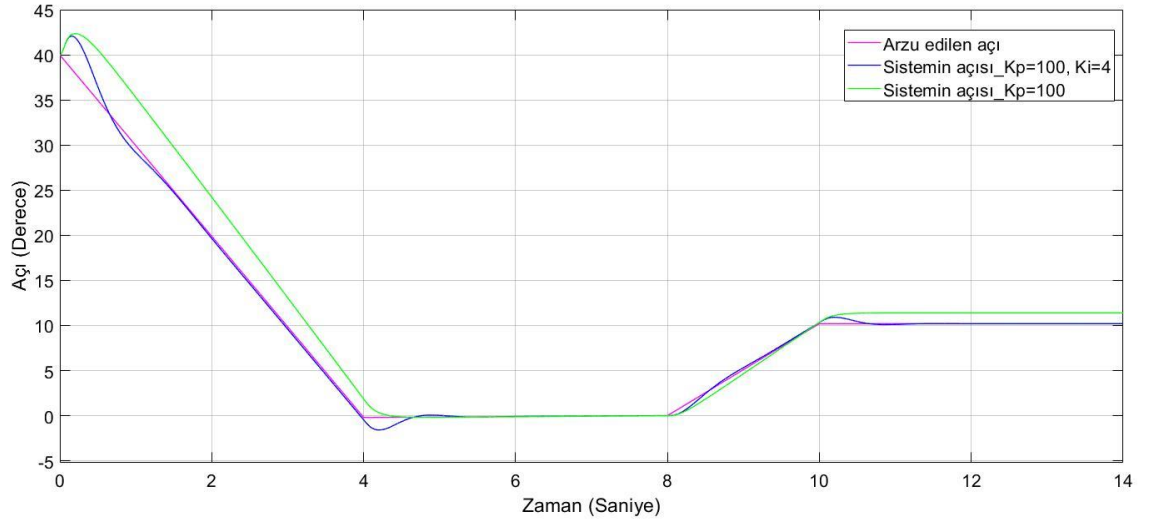
4.4. Senaryo D

Bu senaryoda asansör sistemi sadece yatay profilde hareket ettirilmiştir. Taşıyıcı ve koltuk sistemi kapalı döngü olarak çalıştırılmıştır. Taşıyıcının istenen hız profili senaryo B ve C' deki ile aynı alınırken, açısal yer değiştirmenin arzu edilen giriş profili Şekil 3.26' daki verilmiştir. Bu şekilde açı kontrol sisteminin farklı giriş değerlerine göre dinamik davranışı incelenmiştir. Taşıyıcı yatayda 14 s boyunca hareketi sırasında koltuk Şekil 3.26' da verilen açı değerlerini sağlayarak hareket ettirilmesi amaçlanmıştır.

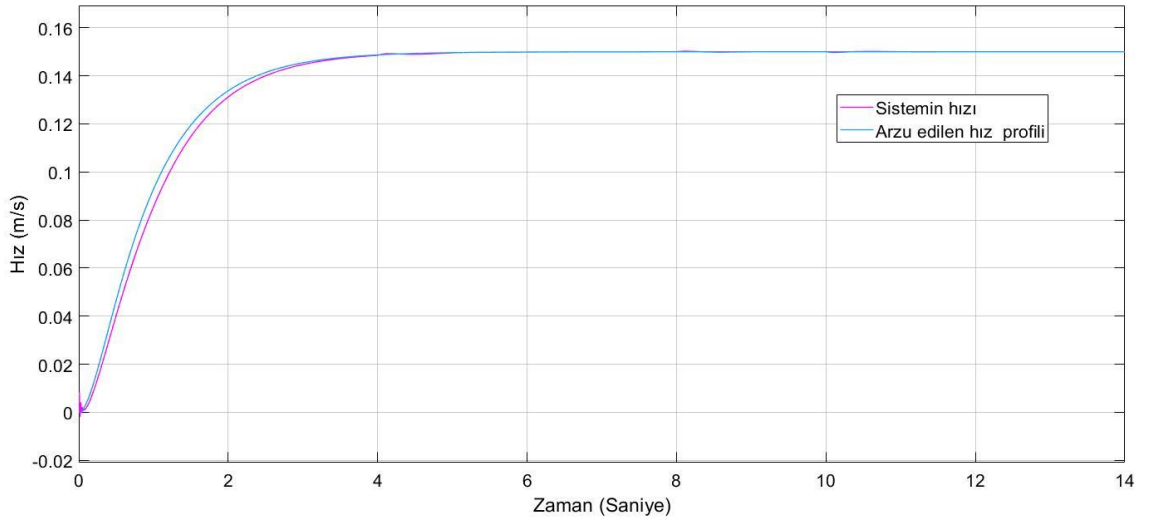


Şekil 3.26. Senaryo D için arzu edilen koltuk açısı-zaman grafiği

Şekil 3.27'de P ve PI denetim organı ile yapılan açı denetim sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. P denetimde $K_p=100$ değerinde sistemin özellikle 0-4 s ve 10-14. s' lerde kalıcı durum hatası verdiği görülmüştür. PI denetimde $K_p=100$ $K_i=4$ değerlerinde sistem arzu edilen açı profiline göre hareket edebilmiştir. Burada da integral etki ilavesi kalıcı durum hatasını ortadan kaldırmıştır. Şekil 3.28'de verilen hız zaman grafiğinde sistem başlangıçta titreşimli bir hareket göstermiş sonrasında istenen hız profiline göre hareketini gerçekleştirmiştir.

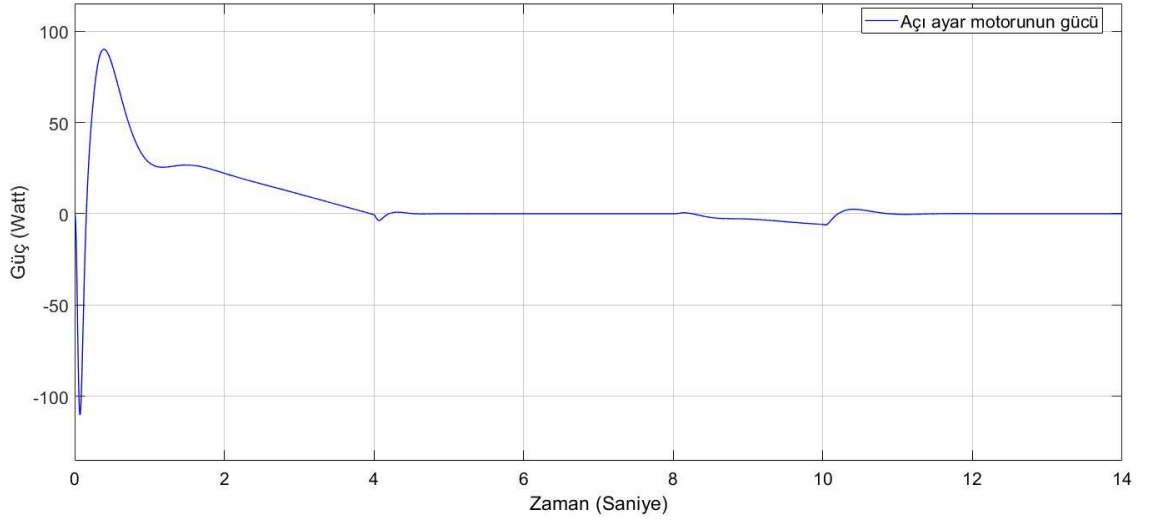


Şekil 3.27. Senaryo D için koltuk sisteminin açı-zaman grafiği

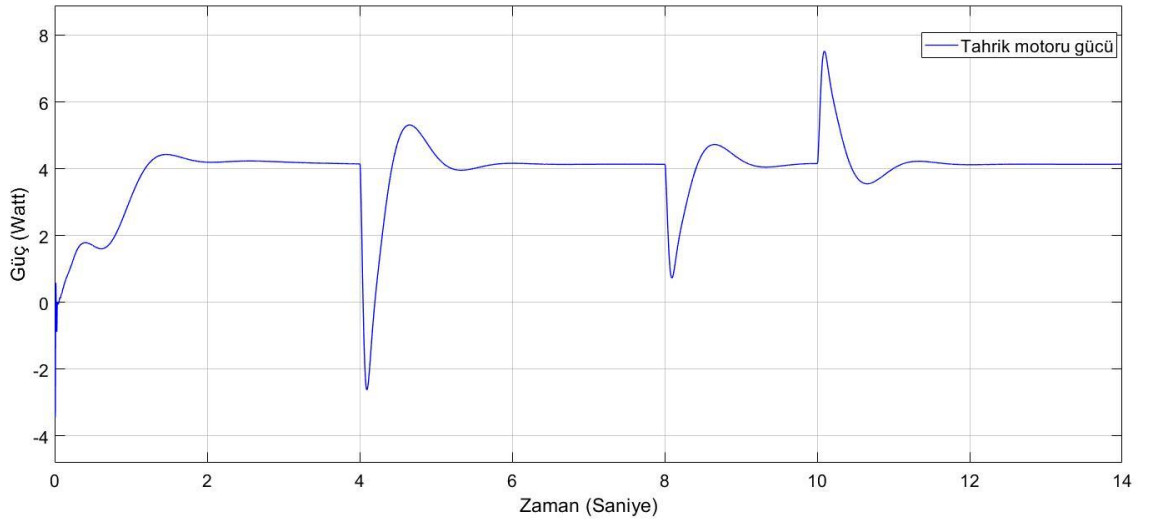


Şekil 3.28. Senaryo D için koltuk taşıyıcının hız-zaman grafiği

Şekil 3.29'da ve Şekil 3.30'da açı ayar motorunun ve taşıyıcı motorunun güç- zaman grafikleri verilmiştir. Senaryo D ye göre açı motorunun en fazla güç tüketimini hareketin başlangıcında, tahrik motorunun 10. s'de gerçekleştirdiği görülmüştür.



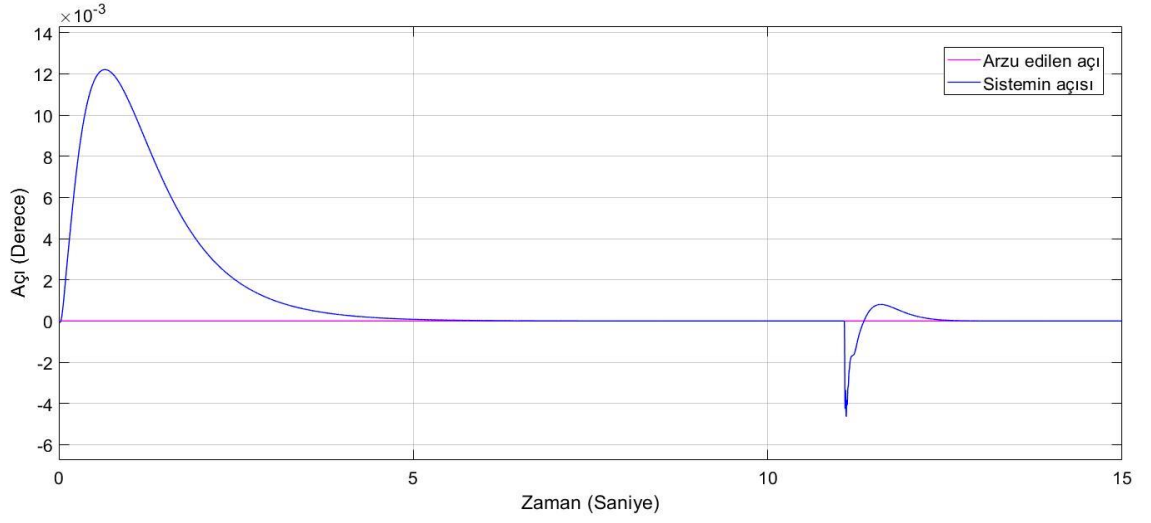
Şekil 3.29. Senaryo D için açılı motoru güç-zaman grafiği



Şekil 3.30. Senaryo D için tahrik motorunun güç-zaman grafiği

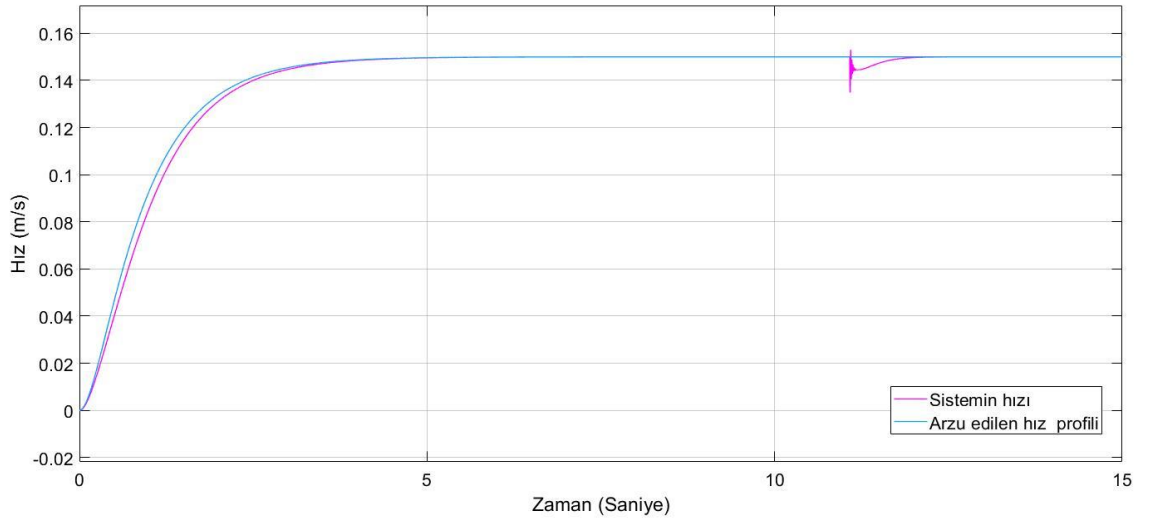
4.5. Senaryo E

Bu senaryoda koltuk boştaiken asansörün çalıştırılması düşünülmüştür. Hem taşıyıcı ve koltuk sistemi kapalı döngü çalıştırılmıştır. Sistem Şekil 3.12'de verilen profile göre hareket edecektir. Koltuğun kütlesi $m=20$ kg olarak değiştirilerek sistemin dinamik davranışı incelenmiştir. Bu senaryoda sistemin insan taşımadan Senaryo B'de kullanılan yol profilinde hareket ettirildiği düşünülmüştür.



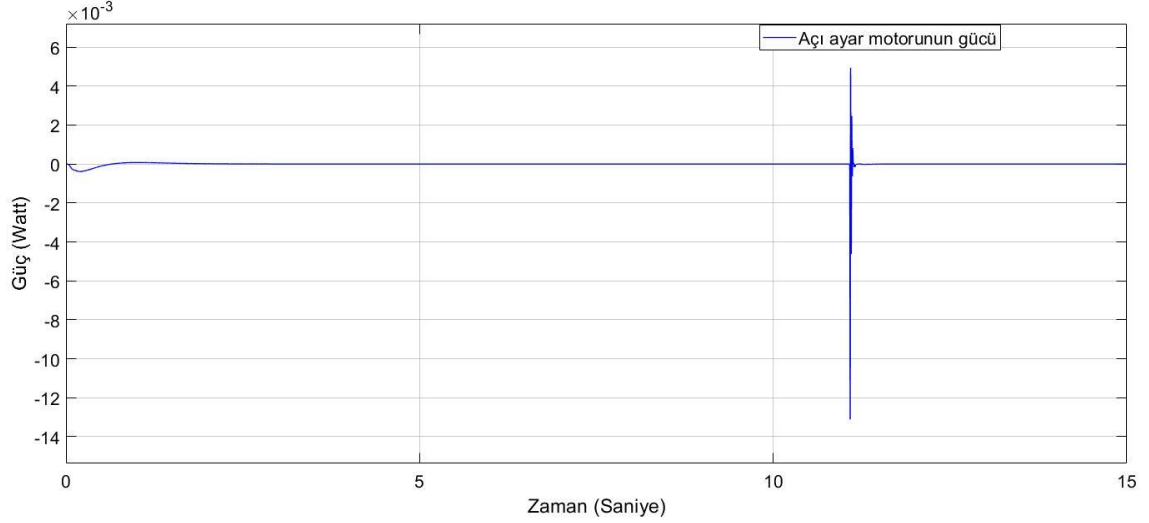
Şekil 3.31. Senaryo E için koltuk sisteminin açı-zaman grafiği

Şekil 3.31' den koltuk sisteminin yatayda hareket ederken ve yokuşta yukarı çıkarken kalıcı durum halinde arzu edilen değeri sağladığı görülmüştür. Hareketin başlangıcında sistem ilk 5 s içinde kabul edilebilir 0.012° açı değişimi sonucu kararlı duruma gelmiştir. Yokuş yukarı çıkarken ortaya çıkan sapmanın 0.045° olduğu ve bu değerlerinde makul olduğu görülmüştür. Bu sebeple koltuğun bu hareket sırasında da yataya göre dik konumunu koruduğu gözlenmiştir.

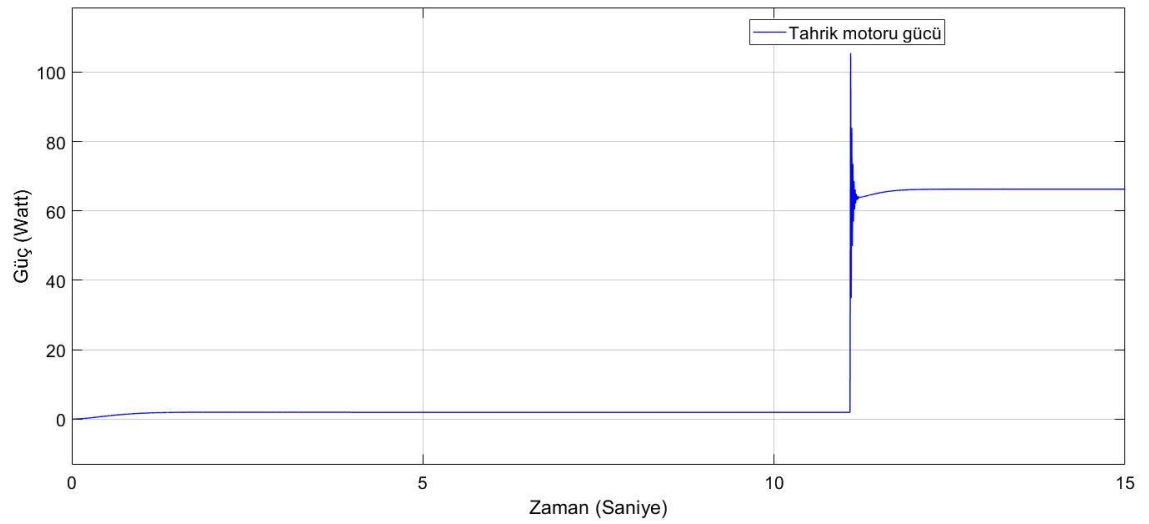


Şekil 3.32. Senaryo E için taşıyıcının hız-zaman grafiği

Şekil 3.32’de taşıyıcı sistemin istenilen hız profilini takip ederek kalıcı durum haline ulaştığı görülmüştür. Sistem yokuşta hareketine başlarken hızın 0.13 m/s’ ye düştüğü ve 1 s’den az sürede taşıyıcının istenen hız değeri olan 0.15 m/s ye ulaşarak sabit hızla hareketine devam ettiği görülmüştür.



Şekil 3.33. Senaryo E için açılı motoru güç-zaman grafiği



Şekil 3.34. Senaryo E için tahrik motoru güç-zaman grafiği

Şekil 3.33’de sistemin açılı motoru güç zaman grafiği verilmiştir. Sistem eğimli profile geçişi esnasında motorun harcadığı güç artmıştır ve geçiş esnasında harcadığı güç 0.013 W olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.34’de sistemin yatay ve eğimli profile tahrik eden motorun güç zaman grafiği verilmiştir. Yatay eksende yaklaşık 6 W güç, yokuştaki harekette ise 65 W güç harcadığı görülmüştür.

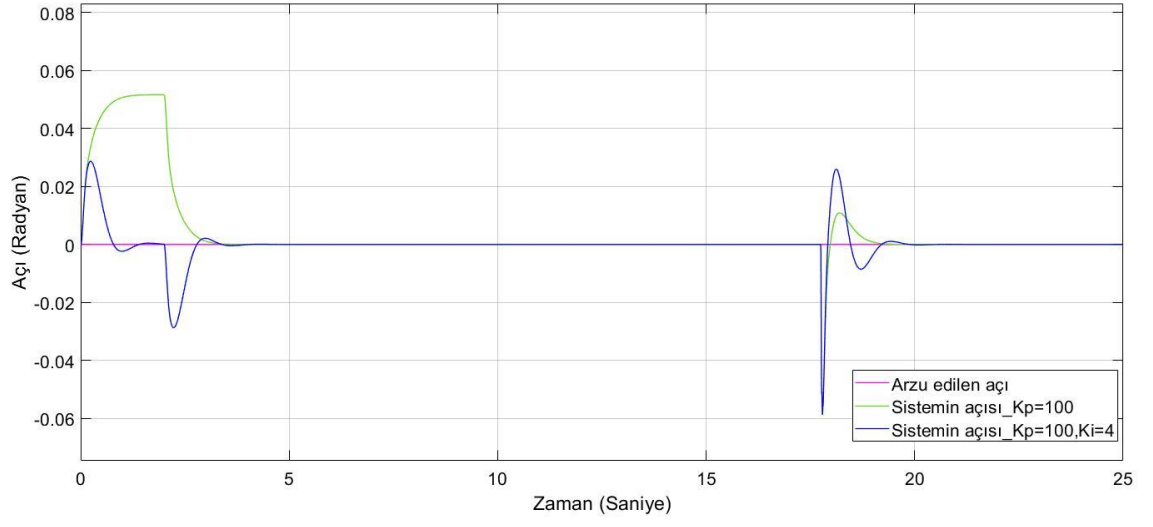
4.6. Senaryo F

Bu senaryoda taşıyıcının önceki senaryolarda verilenden farklı bir hız profilini izleyebilirliği incelenmiştir. Bu hız profilinde taşıyıcının 2 s’de 0.15 m/s hıza ulaşması amaçlanmıştır. Taşıyıcı ve koltuk sisteminin ağırlıkları Senaryo B’deki ile aynıdır. Sistem yatay eksende 2.5 m hareket ettirildikten sonra 30° yokuş çıkacaktır. Şekil 3.35’te taşıyıcının hızı yaklaşık 2.5 s’de istenen hız değeri olan 0.15 m/s değerine ulaşmış ve verilen hız profilini de takip edebildiği gözlenmiştir.



Şekil 3.35. Senaryo F için taşıyıcı hız-zaman grafiği

Şekil 3.36’da sistemin koltuk açısı denetiminde P ve PI denetim organları kullanımına göre sistemin dinamik davranış cevabı incelenmiştir. Sistem P etki ($K_p=100$) ile çalıştırıldığında taşıyıcı hızının rampa şeklindeki değişimiyle ilişkili olarak 0.05° kalıcı durum hatası oluştuğu, taşıyıcı sistem sabit hızla harekete geçtiğinde ise bu hatanın ortadan kalktığı görülmüştür. Açı ayarının yapıldığı denetim organının PI denetim organı şeklinde ($K_p=100$, $K_i=4$) düzenlendiği durumda taşıyıcı hızının rampa şeklindeki değişiminde ortaya çıkan kalıcı durum hatasının ortadan kaldırıldığı ve ilk aşmanın da daha az oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 3.36. Senaryo F için koltuk sistemi açı-zaman grafiği

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, koltuk tipi merdiven asansörünün tasarımı yapıldıktan sonra prototipi çizilerek, montajlaması yapılmıştır. Boyutlandırma çalışmasının tamamlanmasından sonra sistemin hareket denklemleri “Newton Hareket Yasaları” ve “Enerji Tabanlı Lagrange Yöntemi” kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen hareket denklemleri ile MATLAB/Simulink programında sistemin benzetimi yapılmış ve çeşitli denetim teknikleri uygulanarak sistemin dinamik davranışı incelenmiştir.

Asansör taşıyıcısının hızı, koltuk sisteminin de açısal konumu denetlenmiş ve her biri için ayrı denetleyici kullanılmıştır. Koltuk mekanizmasının düz ve yokuş yol profilindeki hareketi, koltuğun farklı açısal giriş profillerini takibi, hareket boyunca yola dik konumda durması gibi farklı ihtiyaçlara tepkisi P ve PI tipi denetim teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Taşıyıcının hız kontrolü de sistemin açık döngü, kapalı döngü çalışmasının karşılaştırılması ve kapalı döngü halde farklı hız ve yük profillerinde arzu edilen hız değerinin takibinin incelenmesi şeklinde detaylandırılmıştır. Bu şekilde toplamda 6 farklı senaryo incelenmiştir.

Taşıyıcının açık döngü ve kapalı döngü halde P tipi denetim organı ile çalıştırılması halinde kalıcı durum hatası olduğu ve yük değişimlerinde hızın sabit kalmadığı görülmüştür. Sistemin PI tipi denetim organı ile çalıştırılması halinde farklı yük koşullarında bile arzu edilen hız değerini kalıcı durum halinde hata olmadan sağlayabildiği tespit edilmiştir.

Açı denetiminde basamak giriş için P tipi denetim yeterli olurken farklı açı girdilerine göre değerlendirmenin yapıldığı “Senaryo D” de orantı etkinin yetersiz kaldığı ve denetim organına integral ilavesiyle oluşturulan PI denetimin istenen açı profilini sistemin daha az hatayla izlemesini sağladığı görülmüştür. Farklı hız profillerinin incelendiği “Senaryo F” de koltuğun açısal konum değişiminde PI denetim ile yapılan kontrol sonuçlarında kalıcı durum hatası görülmemiştir.

İlerleyen zamanlarda koltuk tipi merdiven asansörünün 3 eksen eğimli ve bükümlü borulardaki hareketinin incelenmesi ve sistemin farklı denetim teknikleri ile denetlenmesi ile ilgili çalışmaların yapılması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Anonim, 2006. The Flow2 stairlift User Manual. https://dolphinlifts.co.uk/wp-content/uploads/2017/11/Flow_2_User_Manual.pdf(Erişim tarihi: 29.01.2020).

Anonim, 2009. Endüstriyel otomasyon teknolojileri PID kontrolü. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Pid%20Kontrol%C3%BC.pdf(Erişim tarihi: 03.02.2020)

Anonim, 2011. Engellilik. <https://ailevecalisma.gov.tr/media/5677/nufus-ve-konut-arastirmasi-engellilik-arastirma-sonuclari.pdf>-(Erişim tarihi: 31.12.2019).

Anonim, 2018a. Ageing and health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>-(Erişim tarihi: 31.12.2019).

Anonim, 2018b. İstatistiklerle yaşlılar 2018. https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/kronik-hastaliklar-engelli-db/hastaliklar/Yasli_Sagligi/raporlar_istatistikler/TUIK_Yasli_Istatistik_2018.pdf (Erişim tarihi: 31.12.2019).

Anonim, 2018c. Disability and health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>(Erişim tarihi: 31.12.2019).

Anonim, 2019a. Engelli kime denir? <http://tesyev.org/tr/engelli-kime-denir>. (Erişim tarihi: 31.12.2019).

Anonim, 2019b. Sitting man. https://grabcad.com/library/adam-oturan_-sitting-man-1(Erişim tarihi: 31.01.2020).

Anonim, 2019c. İnsan modeli. <https://grabcad.com/library/man-insan-modeli-1>(Erişim tarihi: 31.01.2020).

Anonim, 2020a. History of stairlifts. <https://www.arrowlift.com/history-of-stair-lifts> (Erişim tarihi: 25.01.2020).

Anonim, 2020b. Engelli asansörü. <https://www.nurasansor.com/engelli-asansoru.html> (Erişim tarihi: 27.01.2020).

Anonim, 2020c. Hiro 320: Setting for the standart version. <https://www.hirolift.com/lifts-for-the-disabled/inclined-wheelchair-lifts/hiro-320.html>(Erişim tarihi: 27.01.2020).

Anonim, 2020d. Thyssen flow 2 curved stairlift. <https://tpg-disableaids.co.uk/product/access-bbd-thyssen-flow-2-curved-stairlift>(Erişim tarihi: 29.01.2020).

Anonim, 2020e. Gizli makasli platform asansörü. <http://bursaengelliasansoru.com/dikey-platformlar/gizli-makasli-platform-asansoru> (Erişim tarihi: 29.01.2020)

Anonim, 2020f. Wheelchairs. <https://www.dimensions.guide/element/wheelchairs> (Erişim tarihi: 29.01.2020).

Anonim 2020g. İşletme içi merdivenler. <http://www.muhendislikbilgileri.com/?pnum=120&pt=%C4%B0%C5%9ELETME+%C4%B0%C3%87%C4%B0+MERD%C4%B0VENLER>(Erişim tarihi: 31.01.2020).

Anonim 2020h. Transtecno moduler gearmotor. https://www.transtecno.com/wordpress/wp-content/uploads/2019/04/Cat_DC-Alu-gearmotors_0419.pdf(Erişim tarihi : 26.04.2020).

Arya, V.A., George, A.E. 2018. Stabilisation of cart inverted pendulum using the combination of PD and PID control. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 7(4): 3559-3565.

Ayas, T. 2018. Merdiven tipi engelli platformu tasarımı ve prototip üretimi. *Yüksek Lisans Tezi*. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

Bozbuğa, F. 2018. Yaşlı ve engelliler için merdiven asansörü geliştirme. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Chougule, V. N, Waida, B. N, Kotecha, A. S, Phantaki, F. A. 2018. Design and structural analysis of platform stair lift using finite element method, *7th National conference on Recent Developments In Mechanical Engineering RDME*

Cook, P.A. 2016. Stairlift speed control. World Intellectual Property Organization. WO 2016/135467 A1.

Ertuğrul, İ. 2015. Bir ters sarkaç sisteminde kullanılan genel kontrol algoritmalarının karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Anabilim Dalı, İstanbul.

Gaikwad, A.V, Ghawde, P.S, Kadam, S.J. 2013. Modelling and analysis of a stair case lift for material handling system. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2013, Hindistan.

Glower, D.W. 1995. Stairlift levelling arrangement. European Patent Office. EP 0 738 232 B.

Hablemitoğlu, Ş. Özmete, E. 2010. Yaşlı refahı – yaşlılar için sosyal hizmet. Kilit Yayınları. , Ankara, 288.

Hirata, M., Setoyama, A., Adachi, S., Sakaniwa, H. 2007. Attitude control system design of a seated stair lift on a single rail by using two degrees of freedom control. *The Japan Society of Mechanical Engineers*, 13(1): 1-11.

Kulkarni, R., Patel, P., Mulay, C., Prathamesh, M., Bhaskar, R. 2018. Design of stairlift for curved path. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 8(3): 758-761.

Kaymul, K.C. 2019. Engelli araçlarının merdiven olan binalarda kullanımını sağlayan sistemin tasarlanması. *Yüksek Lisans Tezi*. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

Khidir, T.C., Ismael, M. A., Abduljabbar, A.A. 2017. Designing and analysing stair case lift system. *European Journal of Engineering and Technology*, 5(4): 37-43.

Kizir, S. 2008. Doğrusal olmayan ters sarkaç sisteminin tasarımı ve kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi*. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.

Peker, F. 2017. Ters sarkaç sisteminin PI-PD denetleyici kullanılarak kontrol edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Diyarbakır.

Navya, K., Kumar, B.P., Mounika, G.H., Vineth, B., Rao, K. 2018. Smart stairlif for disabled and elderly. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 120(6): 4647-4660.

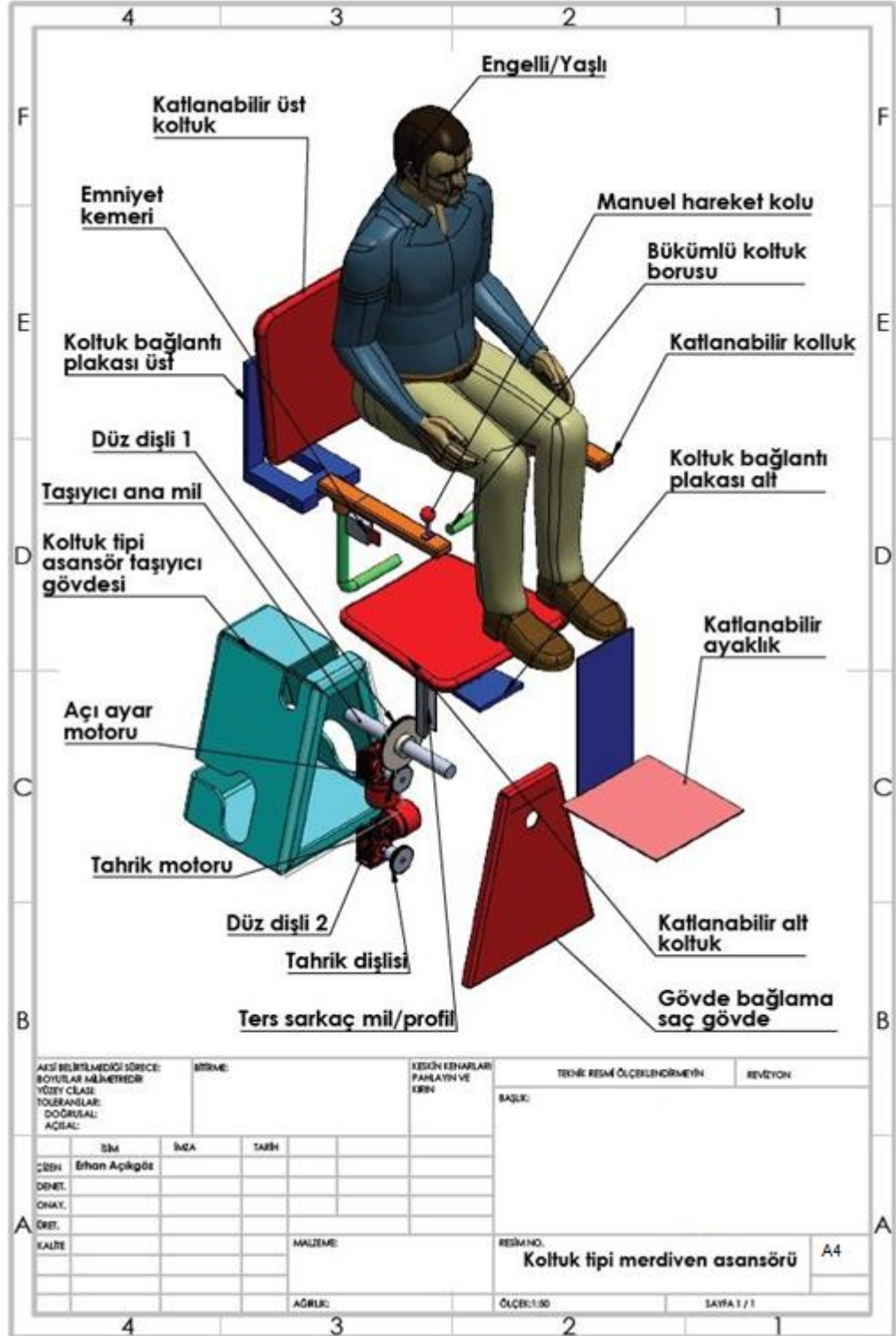
Sorate, N.N., Sul, M.B., Malgunde, N.B., Kale, A.N. 2015. Stair climbing wheelchair for disabled person. *International Journal of Mechanical and Industrial Technology*, 3(2): 166-169.

Stannah, A.N.R 2013. Stairlift obstruction monitoring. United States Patent. US 8,365,869 B2

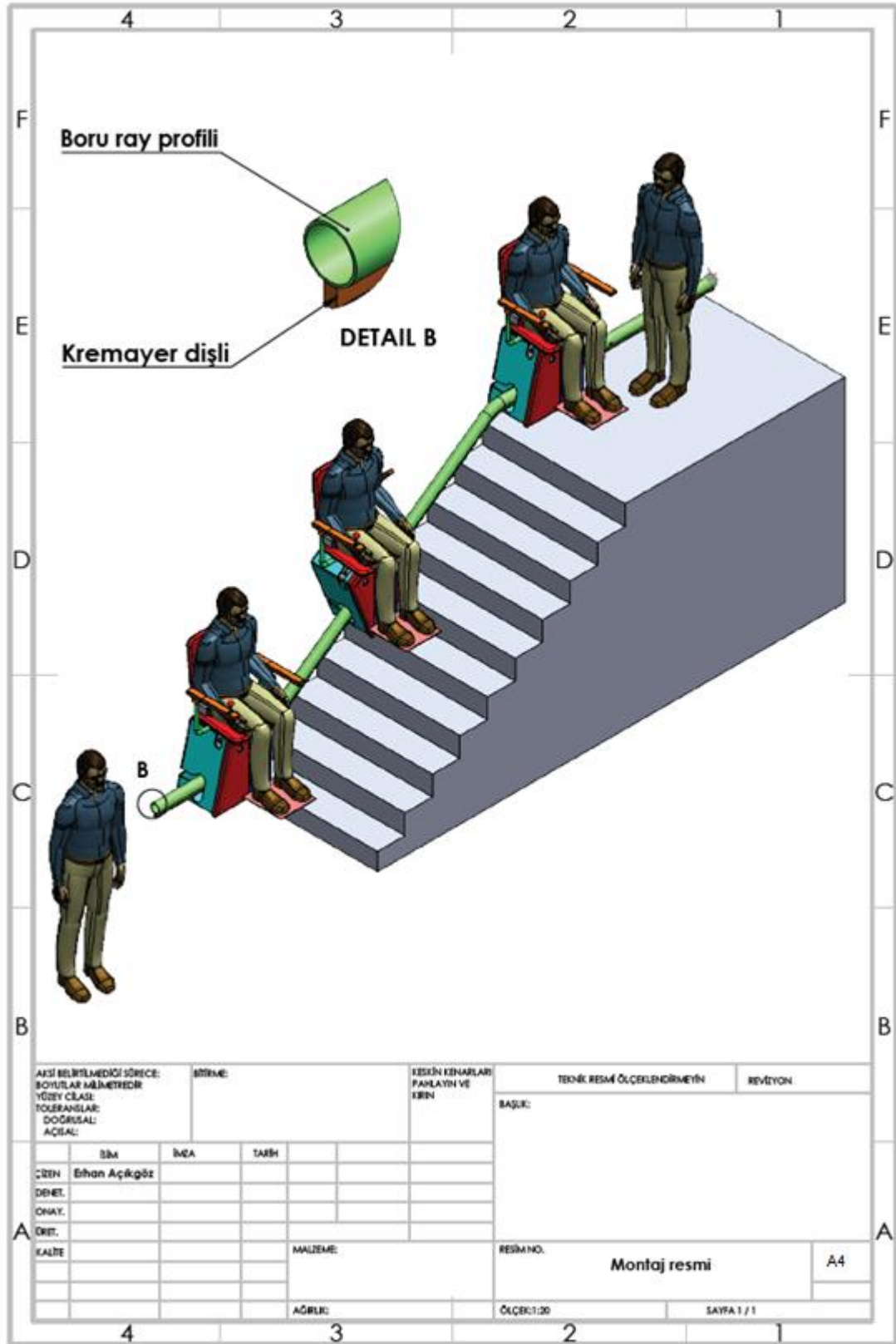
Yüksel, İ. 2016. Otomatik kontrol sistem dinamiği ve denetim sistemleri. Dora basım-yayın, Bursa, 402 s.

EKLER

EK 1 Koltuk tipi merdiven asansörü montajının patlatılmış teknik resmi



EK 2 Koltuk tipi merdiven asansörünün eğimli merdivende hareketinin 3D izometrik görünüşü



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erhan AÇIKGÖZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 1986
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Atatürk Lisesi (Y.D.A) / 2004
Lisans : İskenderun Mustafa Kemal Üniversitesi / 2009
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi / 2020

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Polimer Teknik 2018-2019
HKS Has Asansör 2017-2018
Bursa Beril Makine 2016-2017
Barmak Barutçuoğlu Makine 2012-2016
Atamak Makine 2011-2011

İletişim (e-posta) : erhan.acikgoz@msn.com

Yayınları :

Açıköz, E., Topçu, E. 2019. Seramik sırlama makinesi pnömatik eyleyici sisteminin tasarımı ve sistemin imalatı. *DÜMF Mühendislik Dergisi*. 10(3): 989-998.

Açıköz, E., Topçu, E., Kayaoğlu, Ö. 2018. Seramik sırlama makinesi parçalarının tasarımının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi, International Symposium Industrial Design Engineering, 22-24 November, 2018, Antalya.