



**ELEKTRİKLİ UÇAKLARDA AKILLI YÜK YÖNETİMİNİN
TASARLANMASI**

Mina Şeyma YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mina Şeyma YILDIZ

16/04/2025

ELEKTRİKLİ UÇAKLARDA AKILLI YÜK YÖNETİMİNİN TASARLANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Mina Şeyma YILDIZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2025

ÖZET

Uçak sistemleri, elektrikli uçaklara geçiş ile birlikte geleneksel uçak sistemlerine kıyasla, daha karmaşık ve elektriğe daha bağımlı hale gelmektedir. Modern uçak sistemlerindeki karmaşıklığın ve elektriğe olan bağımlılığın artması, elektrik yönetimini daha da kritik hale getirmektedir. Elektrik yönetiminin daha güvenilir ve daha verimli bir şekilde yapılabilmesi için tasarım çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez, elektrikli uçak güç dağıtım ağlarının verimliliğini, güvenilirliğini ve emniyetini artırmak amacıyla daha fazla elektrik enerjisi kullanan uçak konsepti için Akıllı Yük Yönetim Sistemi (AYYS) tasarımını sunmakta olup, normal ve arıza durumlarında elektrik gücünün dağıtımının optimizasyonu amaçlanmaktadır. Geliştirilen kontrol algoritmaları ile gerçek zamanlı yük önceliklendirme sağlanarak sistemin verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir. Tasarlanan sistem MATLAB & Simulink ortamında modellenmiştir. Bu simülasyon, elektrik sisteminin performansını değerlendirmek ve olası arıza senaryolarında sistemin nasıl davrandığını analiz etmek için kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen sistemin arıza senaryoları altında operasyonel kararlılığı koruma ve güç kaybını azaltma konusunda etkinliğini göstermektedir. Akıllı yük yönetimi stratejisi, kritik sistemlerin çalışmaya devam etmesini sağlarken, kritik olmayan yüklerin sistem sağlığına göre aşamalı olarak kesilmesini sağlamaktadır. Karşılaştırmalı simülasyonlar, önerilen yaklaşımın güç kullanımı, tepki süresi ve sistem kararlılığı açısından geleneksel yük yönetimi tekniklerine karşı etkinliğini göstermektedir. Sonuçlar, akıllı yük yönetim sistemlerinin daha fazla elektrik enerjisi kullanan uçaklar için sistem mimarilerinin ölçeklenebilirliğini ve sürdürülebilirliğini destekleme potansiyelini doğrularak daha verimli ve dayanıklı elektrik sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamayı hedeflemekte olup, gelecekteki havacılık teknolojilerinin güvenilirliğini ve enerji yönetimini iyileştirmekte ve elektrik odaklı tasarım anlayışında gelecekteki gelişmeler için bir yol haritası sunmaktadır.

Bilim Kodu : 93419

Anahtar Kelimeler : Yük yönetimi, akıllı yük yönetimi, elektrikli uçak, yük dağıtımı, akıllı yük çıkarma, uçak elektrik güç sistemi

Sayfa Adedi : 59

Danışman : Doç. Dr. Korhan KAYIŞLI

DESIGN OF SMART LOAD MANAGEMENT FOR MORE ELECTRICAL AIRCRAFT

(M.Sc. Thesis)

Mina Şeyma YILDIZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2025

ABSTRACT

With the transition to the electric aircraft concept, aircraft systems are becoming more complex and more dependent on electricity compared to traditional aircraft systems. The increasing complexity and dependency on electricity in modern aircraft systems make electrical management even more critical. Design solutions are needed for more reliable and efficient electrical management. This thesis presents the design of a Smart Load Management System (SLMS) for an aircraft concept that uses more electrical energy to increase the efficiency, reliability and security of More Electric Aircraft (MEA) power distribution networks and aims to optimize the distribution of electrical power under normal and fault conditions. The efficiency of the system is aimed to be increased by providing real-time load prioritization with the developed control algorithms. The designed system is modeled and simulated in MATLAB and Simulink environments. This simulation is used to evaluate the performance of the electrical system and to analyze how the system behaves in possible fault scenarios. The simulation results show the effectiveness of the proposed system in maintaining operational stability and reducing power loss in fault scenarios. The smart load management strategy ensures that critical systems continue to be supplied, while non-critical loads are gradually shed based on system health. Comparative simulations demonstrate the effectiveness of the proposed approach against traditional load management techniques in terms of power usage, response time, and system stability. The results confirm the potential of smart load management systems to support the scalability and sustainability of system architectures for aircraft using more electrical energy, thus contributing to the development of more efficient and resilient electrical systems, improving the reliability and energy management of future aviation technologies, and providing a roadmap for future developments in aviation electrification.

Science Code : 93419

Key Words : Load management, smart load management, electric aircraft, load distribution, smart load shedding, aircraft electrical power system

Page Number : 59

Supervisor : Assoc. Prof. Korhan KAYIŞLI

TEŞEKKÜR

Hayatta ellerimi ilk tutan ve ömrüm boyunca hiç bırakmayan, varlığıyla her daim bana güç veren canım annem Hatice YILDIZ'a, sonsuz sabrı, emeği ve karşılıksız sevgisi için en derin minnettarlığımı sunuyorum. Onun duaları, anlayışı ve şefkati, bu yolculukta bana hep yol gösterici oldu. Aynı şekilde, desteğini ve sevgisini her daim hissettiren kıymetli babam Halil YILDIZ'a da içten teşekkür ederim. O, duruşuyla bana daima güç vermiş, hayat yolculuğumda doğru adımlarla ilerlemem için en sağlam temeli atmıştır. Her ikisinin de sevgisi, sabrı ve bana olan inançları yalnızca bu çalışma sırasında değil, hayatımın her anında en büyük dayanağım olmuştur. Hayattaki duruşumu ve azmimi onların emeğine borçluyum. Tez çalışmam boyunca manevi desteklerini daima yanımda hissettiren sevgili kardeşlerim Tuğba YILDIZ ELSİLMEZ'e, Dalım Sidelya YILDIZ'a ve Hızır EKSİLMEZ'e gönülden teşekkür ederim. Her biri, farklı hayat tecrübeleri ve bakış açılarıyla bana ilham vermiş, moral kaynağı olmuş ve bu zorlu süreçte hep yanımda olmuştur. Sevgili yeğenim Ali Alper EKSİLMEZ'in masum gülümsemesi ve neşesi ise en yorgun anlarımda içimi ısıtmış, bana umut vermiştir. Aynı zamanda, ailemizin bir parçası olan ve kardeşim gibi gördüğüm kıymetli dostum Cemre ÖZGÜL DURLU'ya da içten teşekkür ederim. Maddi ve manevi desteğini bir an olsun esirgemedi yanımda oluşu, bana yalnız olmadığımı hissettirmiş ve bu süreci daha güçlü atlatmamı sağlamıştır. Tüm bu süreç boyunca, sabrı, sevgisi ve beni motive eden desteğiyle yanımda olan nişanlım Veysel SAYIN'a, bu çalışmanın benim için bir başarı hikayesine dönüşmesinde büyük bir rol oynamıştır. Onun varlığı bana her zaman güç ve cesaret verdi. Bu tezin her aşamasında gösterdiği anlayış ve teşvik, bu süreci sadece katlanabilir değil, aynı zamanda ilham verici bir yolculuk haline getirdi. Kendisine en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca, bu çalışma boyunca önemli katkıları, öngörülü fikirleri ve özverisi ile çalışmalarına desteğini esirgemeyen çalışma arkadaşım Alper Bahri AKER'e içten teşekkürlerimi iletmek isterim. Onunla birlikte çalışmak bu süreci büyük ölçüde kolaylaştırdı ve oldukça öğretici hale getirmiştir. Son olarak, bu yolculuk boyunca bana rehberlik eden ve yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Korhan KAYIŞLI'ya derinden minnettarım. Uzmanlığı ve desteği bu çalışmanın tamamlanmasında etkili olmuştur. Ayrıca bu çalışmaya dolaylı olarak, tavsiye, yardım veya teşvik yoluyla katkıda bulunan herkese şükranlarımı sunmak isterim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİKLİ UÇAKLAR İÇİN AKILLI YÜK YÖNETİM SİSTEMİ	13
2.1. Sistem Mimarisi	13
2.2. Sistemin Özellikleri ve Yapısı.....	15
3. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI.....	19
3.1. Simülasyon Modelinin Kurulumu	19
3.2. Performans Metrikleri	24
4. SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	25
4.1. Birincil ve İkincil Güç Kaynakları Arası Geçiş	25
4.2. Çıkış Bara Gerilim Seviyesine Göre Yüklerin Yönetimi	30
4.3. Geleneksel Yük Yönetim Sistemleri ile Karşılaştırmalı Analiz.....	47
4.4. Ölçeklenebilirlik ve Sürdürülebilirlik Üzerine Tartışma.....	48
5. TARTIŞMA	49
5.1. Önceki Çalışmalarla Karşılaştırma.....	49
5.2. Sonuçlardaki Paralellikler ve Farklılıklar.....	49
5.3. Sistem Tasarımı için Çıkarımlar.....	50
5.4. Sistem Sınırlamaları ve Gelecekteki Araştırma Alanları	50
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Akıllı Yük Yönetim Sistem Mimarisi.....	15
Şekil 3.1. Ana Güç Kaynağı (JEN1 ve JEN2) Modeli.....	20
Şekil 3.2. Yedek Güç Kaynağı (Batarya) Modeli	20
Şekil 3.3. Kritik DC Yük Modeli-Yakıt pompası (kritik yük-1)	21
Şekil 3.4. Kritik Olmayan AC Yük Modeli-Lamba (kritik olmayan yük-3)	21
Şekil 3.5. DC/AC Dönüştürücü Modeli-Inverter (DC/AC)	22
Şekil 3.6. Akıllı yük yönetim sistemi mimari modeli.....	23
Şekil 3.7. Akıllı Yük Yönetimi Sistem Devresi.....	24
Şekil 4.1. Jeneratör-1 gerilim seviyeleri.....	26
Şekil 4.2. Jeneratör-1 anahtarını süren sinyal	27
Şekil 4.3. Batarya gerilim seviyesi	27
Şekil 4.4. Jeneratör-2 gerilim seviyesi.....	28
Şekil 4.5. Jeneratör-2 anahtarını süren sinyal	29
Şekil 4.6. Güç kaynakları arası geçiş sırasında çıkış bara gerilimi.....	30
Şekil 4.7. Normal çalışma koşulu altında çıkış bara gerilim seviyesi	31
Şekil 4.8. Normal çalışma koşulu altında kritik yük-1'in (yakıt pompası) gerilim seviyesi.....	32
Şekil 4.9. Normal çalışma koşulu altında kritik yük-2'nin (aktüatör) gerilim seviyesi..	32
Şekil 4.10. Normal çalışma koşulu altında kritik olmayan yük-3'ün (lamba) gerilim seviyesi	33
Şekil 4.11. Normal çalışma koşulu altında kritik olmayan yük-4'ün (iklimlendirme) gerilim seviyesi	33
Şekil 4.12. Gerilim düşüşü sırasında çıkış bara gerilim seviyesi	34
Şekil 4.13. Gerilim düşüşü sırasında kritik yük-1'in (yakıt pompası) gerilim seviyesi.....	35
Şekil 4.14. Gerilim düşüşü sırasında kritik yük-2'nin (aktüatör) gerilim seviyesi.....	36

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Gerilim düşüşü sırasında kritik olmayan yük-3'ün (lamba) gerilim seviyesi	37
Şekil 4.16. Gerilim düşüşü sırasında kritik olmayan yük-4'ün (iklimlendirme) gerilim seviyesi	38
Şekil 4.17. Devam eden gerilim düşüşü sırasında çıkış bara gerilim seviyesi	39
Şekil 4.18. Devam eden gerilim düşüşü sırasında kritik yük-1'in (yakıt pompası) gerilim seviyesi	40
Şekil 4.19. Devam eden gerilim düşüşü sırasında kritik yük-2'nin (aktüatör) gerilim seviyesi	40
Şekil 4.20. Devam eden gerilim düşüşü sırasında kritik olmayan yük-3'ün (lamba) gerilim seviyesi	41
Şekil 4.21. Devam eden gerilim düşüşü sırasında kritik olmayan yük-4'ün (iklimlendirme) gerilim seviyesi	42
Şekil 4.22. Arıza sonrası normal çalışma durumunda çıkış bara gerilim seviyesi	43
Şekil 4.23. Arıza sonrası normal çalışma durumunda kritik yük-1'in gerilim seviyesi	44
Şekil 4.24. Arıza sonrası normal çalışma durumunda kritik yük-2'nin gerilim seviyesi	44
Şekil 4.25. Arıza sonrası normal çalışma durumunda kritik yük-3'ün gerilim seviyesi	45
Şekil 4.26. Arıza sonrası normal çalışma durumunda kritik yük-4'ün gerilim seviyesi	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

V

Volt

Kısaltmalar

Açıklamalar

AC

Alternatif Akım

AYYS

Akıllı Yük Yönetim Sistemi

DC

Doğru Akım

JEN1

Birincil Ana Jeneratör

JEN2

İkincil Ana Jeneratör

1. GİRİŞ

Elektrikli Uçak konseptine geçiş, geleneksel hidrolik, pnömatik ve mekanik sistemlerin yerini giderek daha fazla elektrikli alternatiflerin aldığı havacılık teknolojisinde önemli bir değişimi temsil etmektedir. Bu değişim hava araçlarının tasarımını ve işletimini etkilemekte ve aynı zamanda daha verimli ve güvenilir güç yönetim sistemlerinin geliştirilmesini de gerektirmektedir. Hava araçları uçuş kontrolü, seyrüsefer ve haberleşme gibi kritik sistemleri kesintisiz besleyebilmek için elektrik enerjisine daha bağımlı hale geldikçe, bu sistemlerin kararlılığını ve güvenliğini sağlamak giderek daha önemli ve karmaşık hale gelmektedir. Bu dönüşümdeki kilit zorluklardan biri, özellikle sistem arızaları veya kısmi güç kaybı durumlarında elektrik gücünün dağıtımını optimize etmektir. Sistemler için elektrik yüklerinin verimli yönetimi artık sadece kritik sistemlerin sürekli çalışmasını sağlamak için değil, aynı zamanda hem normal operasyonlar hem de arıza koşulları sırasında genel sistem istikrarını korumak için de kritik öneme sahiptir.

Elektrikli uçak konseptinin kritik bir yönü, jeneratörler ve bataryalar gibi birden fazla yedek güç kaynağının tek bir elektrik dağıtım hattına entegre edilmesidir. Bu durum sistemin karmaşıklığını artırmakta ve hata toleransı ile güvenilirliğinin sağlanmasında zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu tezin ele aldığı temel sorun, kritik sistemlerin sürekli çalışmasını sağlarken güç dağıtımını optimize ederek normal koşullar ve arıza senaryoları altında elektrik yüklerinin nasıl etkin bir şekilde yönetileceğidir. Bu kapsamda tasarlanan sistem ile özellikle birincil güç kaynaklarından biri arızalandığında, sağlıklı olan güç kaynağı devreye alınarak sistemin sürekli ve güvenilir bir şekilde beslenmesi sağlanmaktadır. Güç kaynağında oluşabilecek olası gerilim düşüşü durumunda ise kritik olmayan yükler sırasıyla devreden atılarak güç kaynaklarının kullanılabilirliğindeki değişikliklere dinamik olarak uyum sağlayabilen akıllı bir yük yönetim sistemi elde edilmektedir.

Hava araçlarındaki güç yönetim sistemlerini inceleyen çok sayıda çalışma olmasına rağmen, bunların çoğu ya normal çalışma koşullarına ya da arıza senaryolarına ayrı ayrı odaklanmıştır. Ancak çok az sayıda çalışma, her iki hususu aynı anda dikkate alan entegre bir yaklaşım önermiştir. Bu tez, elektrik yüklerini gerçek zamanlı olarak verimli bir şekilde yönetebilen, güç dağıtımını optimize etmek için hem normal hem de arıza koşullarına yanıt veren akıllı bir yük yönetim sistemi tasarlayarak bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Günümüzde havacılık sektöründe çevresel etkileri azaltmak için daha sürdürülebilir ve verimli uçak tasarımlarına doğru artan bir talep söz konusudur. Bu bağlamda, elektrikli hava araçları önemli bir alternatif olarak dikkatle incelenmekte ve geliştirilmektedir. Geleneksel hava taşıtı sistemlerinin aksine, elektrikli hava taşıtları uçuş sırasında elektrik sistemleri aracılığıyla güç üretir ve dağıtır. Bu değişim, güç ve enerji yönetim sistemlerini hava taşıtlarının kritik bir bileşeni haline getirmektedir. Bu nedenle elektrikli uçaklarda gelişmiş yük yönetim sistemlerinin optimizasyonu uçak elektrik güç sisteminin verimliliği ve güvenilirliği bakımından kritiktir.

Elektrikli hava araçlarında yük yönetimi, elektrik güç sistemi ile hava aracı sistemleri arasındaki güç dağıtımını kontrol etme ve yönetme sürecidir. Bu süreç, tüm hava taşıtı sistemlerinin güvenli ve verimli bir şekilde beslenmesini sağlamayı amaçlar. Yük yönetim sistemleri, düzensiz güç dağıtımının neden olduğu olumsuz etkilere karşı koruma sağlarken, uçağın elektrik güç sistemi içinde enerjinin optimum paylaşımını sağlar.

Elektrikli hava taşıtlarında yük yönetim sistemlerinin optimizasyonu kapsamında yapılan bir çalışma ile uçak elektrik güç dağıtım sistemleri için ideal yük yönetim sistemi ele alınmaktadır. Yazarlar, uçak elektrik güç sistemlerinin elektronik kontrol anahtarları kullanarak kritik yüklerin beslenmesi için güç kaynaklarının yönetilebileceği bir yapı kurmuşlardır. Bu yapı, olası sistem hataları durumunda hiyerarşik bir ideal kontrol stratejisi tasarımı içermektedir. Çalışma kapsamında, yük çıkarma, güç kaynağı seçimi, anahtarlama kontrolü ve batarya şarj politikaları gibi çeşitli performans ölçütleri optimize edilmektedir. Bu optimizasyon ile jeneratörün daha verimli kullanılmasını sağlarken aynı zamanda daha az sayıda yükün devreden atılması sağlanmaktadır ve bu şekilde yükleri daha uzun süre besleyebilen bir sistem tasarımı elde edecek bir çözüm sunulmaktadır. Bu çözüm, iki katmanlı bir denetim şemasına entegre edilmektedir. Bu denetim şeması kapsamında, yüksek düzeyli ve düşük düzeyli denetleyiciler kullanılmaktadır. Yüksek düzeyli denetleyici ile model öngörülü kontrol (Model Predictive Control-MPC) olarak bilinen, giriş ve durum kısıtlamalarına tabi doğrusal veya doğrusal olmayan süreçler için kullanılan etkili bir geri bildirim stratejisi olan ileri bakışlı kontrol yaklaşımı ile karma tamsayı doğrusal programlama (Mixed-Integer Linear Programming-MILP) problemi çözülmektedir. Bu sayede, doğrusal bir amaç fonksiyonu, tamsayı ve sürekli karar değişkenlerine sahip doğrusal kısıtları içeren bir optimizasyon problemi olan karma tamsayı doğrusal programlama problemi ile ideal bir kontrol sağlanmaktadır. Düşük düzeyli denetleyici ile de

sistem hataları yönetilmektedir. Çalışma sonuçları, önerilen yaklaşımın etkinliğini ortaya koymaktadır (Maasoumy, Nuzzo, Iandola, Kamgarpour, Sangiovanni-Vincentelli & Tomlin, 2013). Öte yandan başka bir araştırmada daha gelişmiş bir akıllı şebeke çözümü önerilmiştir. Önerilen sistemde, akıllı şebeke teknolojileri kullanılarak güç dağıtımının ideal yönetimi sağlanmaktadır. Çalışmada, güç dağıtımının dinamik olarak yönetilmesi ve yüklerin önceliklendirilmesi için ileri düzey kontrol algoritmaları tasarlanmıştır. Geliştirilen algoritmalar sayesinde anlık olarak değişebilen uçuş koşullarına göre uyarlanabilen güç yönetimi stratejileri ile geleneksel yük yönetim sistemlerinden daha dinamik ve esnek bir sistem elde edilmiştir. Ayrıca, sistemin hata toleransını artırmak için çeşitli güvenlik mekanizmaları entegre edilmiştir. Bu yöntem, farklı çalışma koşulları ve hata senaryoları altında test edilmiş ve sonuçlar, önerilen yaklaşımın etkinliğini ve güvenilirliğini ortaya koymuştur. (Spagnolo, Sumsurooah ve Bozkho, 2019). Bir diğer çalışma ise, elektrikli uçaklarda hata toleransı sağlamak amacıyla hiyerarşik bir yük yönetim sistemi için bulanık mantık tabanlı bir yöntemi kapsamaktadır. Yazarlar, bu yöntemin uçak elektrikli sistemlerindeki hataları yönetmede etkili olduğunu vurgulamaktadır. Bu yöntem, bulanık mantık kullanılarak elektrikli yüklerin önceliklendirilmesini sağlayarak uçak elektrik güç sisteminde oluşabilecek olası arızalar durumunda bile kritik uçak sistemlerinin sürekli beslenmesini sağlamayı amaçlamaktadır (Ge, Song, Pei, Mollet ve Gyselinck, 2018). Elektrikli hava araçlarını inceleyen bir çalışma ise, bu tür uçaklarda kullanılan elektrik güç sistemlerinin avantajlarını, zorluklarını ve gelecekteki araştırma gereksinimlerini ele almaktadır. Yazar, bu sistemlerin uçak elektrikli güç dağıtımında verimliliği ve güvenilirliği artırmada önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Bu çalışmada güç yönetimi ve enerji dağıtımı için daha yenilikçi stratejilere ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır. Bu kapsamda elektrik enerjisi sistemlerinin performansını artırmak için gelişmiş izleme ve bakım sistemleri önerilmektedir. Ayrıca batarya teknolojilerinin geliştirilmesi ve yenilikçi malzemelerin kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır (Ghassemi, Barzkar 2020). Yenilikçi bir yaklaşım sunan bir diğer çalışma ise geleneksel yakıtlarla çalışan motorların yerini alabilecek yeni nesil elektrikli motor sistemlerinin potansiyelini incelemektedir. Yazarlar, bu sistemlerin havacılık endüstrisinde enerji verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmada önemli bir rol oynayacağını vurgulamaktadır. Çalışma kapsamında, elektrikli motor sistemleri konusundaki mevcut çalışmaları ve literatür kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmiştir ve elektrikli motor sistemlerinin verimlilik, güvenilirlik ve performansını değerlendirmek için çeşitli teknik analizler yapılarak sistemin avantajları sunulmuştur. Ayrıca, elektrikli itki tabanlı uçakların operasyonel avantajları ve çevresel faydaları da

incelenmiştir (Fahimi, Kyprianidis 2018). Izquierdo ve arkadaşlarının elektrikli uçaklar için HV270DC uygulamalı bir elektriksel güç dağıtım sistemi kapsamında gerçekleştirdiği çalışmada tasarlanan sistem, yüksek gerilime sahip DC güç dağıtımı kullanılarak elektriksel yüklerin ideal yönetimi sağlanmaktadır. Bu kapsamda 270DC yüksek gerilim seviyesine sahip elektrik güç dağıtım sisteminin tasarımı, sistem entegrasyonu ve performans analizi yapılmıştır. Ayrıca, bu sistemin uçaklarda enerji verimliliğini artırmak ve elektrik dağıtım sistemlerinin güvenilirliğini sağlamak için gerekli olan çeşitli kontrol ve koruma mekanizmaları kapsamlı olarak incelenmiştir. Bu yöntem, farklı çalışma koşullarında ve hata senaryoları altında test edilmiş ve sonuçlar, önerilen yaklaşımın etkinliğini ve güvenilirliğini ortaya koymuştur (Izquierdo, Azcona, del Cerro, Fernandez ve Delicado, 2010).

Akıllı kontrol sistemleri, elektrikli hava araçlarındaki elektrik dağıtım süreçlerini daha esnek ve optimize hale getiren önemli bir bileşendir. Bu sistemler, hava aracının tüm elektrikli bileşenleri arasındaki güç akışını kontrol etmek için karmaşık algoritmalar ve yapay zeka teknikleri kullanmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarla, elektrikli hava taşıtlarında enerji yönetiminin güvenliğini artırmak için akıllı kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler, uçağın enerji altyapısındaki anormal durumları tespit edebilen ve otomatik olarak yanıt verebilen algoritmalar kullanmaktadır. Elektrikli uçaklardaki elektrik dağıtım sisteminin güvenli işletimi için akıllı denetleyici tasarımı ele alan bir çalışmada yazarlar, bu sistemin uçak elektriksel güç dağıtımında güvenliği ve verimliliği artırmada etkili olduğunu vurgulamaktadır. Önerilen sistemde, akıllı denetleyici tasarımı kullanılarak elektriksel yüklerin ideal yönetimi ile operasyonların güvenli hale getirilmesi sağlanmaktadır. Çalışmada, elektrikli uçak sistemlerinin dinamik yapısına uyum sağlayan ileri düzey kontrol algoritmaları geliştirilmiştir. Bu algoritmaların sisteme entegre edilmesi ile elektrik dağıtım sisteminin güvenilirliğini artırmak hedeflenmiştir. Ayrıca, akıllı denetleyicinin çeşitli çalışma koşulları altında sistemin performansını değerlendirmek için simülasyonlar ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Spagnolo, Sumsurooah, Hill, Bozhko, 2018). Aynı yazarlara ait bir diğer çalışmada ise, akıllı güç yönetimi kullanarak jeneratör aşırı yüklenmesinin azaltılması başlıklı çalışma ile elektrikli uçakların elektriksel güç dağıtım sistemlerinde yenilikçi bir kontrol stratejisi geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu yeni kontrol stratejisi, mevcut pnömatik ve hidrolik yüklerin elektriksel eşdeğerlerine dönüştürülmesiyle daha güvenilir, verimli ve bakımı kolay olan elektriksel sistemlerin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Çalışmada, elektrik güç sisteminin dinamik yapısını ve güç akışını daha iyi yönetmek için farklı kontrol stratejileri ele alınmış ve bu stratejilerin

simülasyonlar aracılığı ile doğrulama testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, önerilen kontrol stratejisinin farklı çalışma koşullarında elektriksel sistemlerin yeniden yapılandırılmasına olanak tanıdığını göstermiştir (Spagnolo, Sumsurooah, Hill, Bozhko, 2018). Diğer bir çalışmada ise, elektrikli uçaklar için entegre edilmiş denetimli adaptif kontrol sistemi ele alınmaktadır. Yazarlar, bu sistem ile uçağın elektriksel sistemlerinin performansının ve güvenilirliğinin etkili bir şekilde artırılacağını vurgulamaktadır. Önerilen sistemde, adaptif kontrol algoritmaları kullanılarak uçak elektrik güç sisteminin dinamik ve değişken koşullara uyum sağlaması ve diğer uçak sistemlerinin bu durumdan en düşük seviyede etkilenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada, elektriksel güç dağıtımı ve yönetimi için ileri düzey kontrol stratejileri geliştirilmiş ve bu stratejiler, uçak sistemlerinin karmaşık yapısına entegre edilmiştir. Ayrıca, sistemin güvenilirliğini ve performansını artırmak amacıyla denetimli adaptif kontrol mekanizmaları tasarlanmıştır. Çalışma sonuçları çalışma boyunca sunulan varsayımları destekleyici olgunluktadır (Cavallo, Canciello ve Russo, 2020). Cavallo ve arkadaşlarının bir başka çalışması ise denetimli uyarlanabilir kontrol yaklaşımıdır. Yaklaşım, hava araçları için elektrik yönetimini optimize ederken sağlam bir çözüm sağlamaktadır. Çalışma kapsamında, elektriksel güç dağıtımı, batarya sistemleri ve yük yönetimi için çeşitli kontrol stratejileri geliştirilmiştir. Bu stratejiler, uçak elektrik sistemlerinin karmaşık yapısına uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çözüm yalnızca mevcut koşulları dikkate almakla kalmaz, aynı zamanda gelecekteki enerji gereksinimlerini de tahmin ederek yükleri dinamik olarak dağıtmaktadır. Bu yenilikçi yöntem, uçuş koşullarındaki değişikliklere de anında adaptasyon sağlamaktadır. (Cavallo, Götz, Piccolo, 2020). Ayrıca, akıllı kontrol sistemleri kapsamında hazırlanan bir başka çalışma ile de elektrikli uçaklarda güç dağıtımı ve yük yönetiminde yapay zekâ tabanlı akıllı kontrol algoritmalarının potansiyeli araştırılmıştır. Bu araştırma, yapay zekanın uçak elektriksel sistemlerinin performansını ve güvenilirliğini artırmada önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Yapay zekâ kullanımı ile uçağın güç ihtiyaçları tahmin edilebilmektedir ve dinamik optimizasyon gerçekleştirerek geleneksel kontrol sistemlerine kıyasla daha üstün sonuçlar sunulabilmektedir (Zhao, Wang, Zhou, 2020).

Elektrikli hava taşıtlarında enerji yönetimi ve yük dağıtım sistemlerinin tasarımı genellikle simülasyon ve modelleme araçları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu araçlar, tasarım aşamasında sistemin performansını test etmek ve farklı senaryoları modellemek için kullanılır. Bu kapsamda Zhang ve arkadaşları iki farklı çalışma ile elektrikli hava taşıtlarında güç yönetimi ve dağıtımını optimize etmek için simülasyon tabanlı modelleme teknikleri

kullanmışlardır. Bu tür simülasyonlar, farklı güç kaynakları ve yük talepleri arasındaki etkileşimlerin modellenmesine olanak tanıyarak gerçek zamanlı analiz için önemli veriler sağlamaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen ilk çalışma, elektrikli uçaklar için yerel bir elektrik güç dağıtım sisteminin güç akışı yönetim stratejilerini ele almaktadır. Çalışmada, bu stratejilerin uçak elektrikli sistemlerinde verimliliği artırmada etkili olduğunu vurgulamaktadır. Çalışma kapsamında önerilen yaklaşımlarda, elektrikli güç akışı yönetimi için farklı stratejiler geliştirilmiş ve bu stratejiler, uçak elektrik dağıtım sisteminin dinamik yapısına uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmada, güç kaynaklarının ideal kullanımı ve yüklerin güvenilir şekilde beslenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, güç akışı yönetimi için çeşitli kontrol algoritmaları kullanılmış ve bu algoritmaların performansı analiz edilmiştir. Sonuçlar çalışma hedeflerini destekleyecek seviyededir ve sistem verimliliğinin arttığı görülmektedir (Zhang, Mollet, Breban, Saudemont, Robyns, 2010). Diğer çalışma ise, elektrikli uçaklarda elektrik güç sisteminin güç dağıtımını ve zamanlamasını ele almaktadır. Çalışmada, bu yöntemin uçak elektrik güç sisteminin enerji verimliliğini ve operasyonel performansı artırmada etkili olduğunu vurgulamaktadır. Geliştirilen yöntem kapsamında algoritmalar kullanılarak enerji kaynaklarının ideal yönetimi sağlanmaktadır. Çalışmada, elektrikli yüklerin zamanlaması ve güç dağıtımını dinamik olarak optimize edilmekte ve modellenmektedir. Bu sayede sistemin verimliliği artırılmaktadır. Ayrıca, stratejiler, uçak güç sistemlerinin karmaşık yapısına uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Zhang, Su, Wen, Lee, Gajanayake, 2016). Simülasyon kullanılarak geliştirilen bir başka yaklaşım ise, elektrikli uçaklarda yakıt hücresinin acil güç birimi olarak kullanımı üzerindeki yük önceliği modellemesinin etkisini incelemektedir. Araştırmacılar, hidrojen tüketiminin ve yük yönetiminin optimize edilmesi için verimli bir yük önceliği modeli sunmuştur. Model sonuçlarına göre, yakıt hücresinin acil güç birimi kaynağı olarak kullanımı yük atımını ve hidrojen tüketimini azaltabilir göstermiştir (Salehpour, Radmanesh, Hosseini Rostami, Wang, Kim, 2019). Başka bir çalışma ile elektrikli uçakların güç dağıtım sistemlerinin performansını değerlendirmek için çeşitli modeller ve simülasyonlar kullanarak bu sistemlerin verimliliğini ve güvenilirliğini analiz edilmiştir. Geliştirilen modeller, farklı senaryolarda güç dağıtım sisteminin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Simülasyonlar, sistemin verimliliğini, güvenilirliğini ve genel performansını analiz etmeye yardımcı olmuştur (Yang, Qu, Ma, Shi, 2015). Yenilikçi yaklaşım sunan diğer bir çalışma ile elektrikli motor sistemlerine sahip uçaklarda kullanılan gelişmiş enerji yönetimi stratejilerini incelenmektedir. Araştırmacılar, enerji verimliliğini artırmak ve sistem performansını optimize etmek için çeşitli stratejileri analiz etmişlerdir.

Modelleme ve simülasyon teknikleri kullanılarak geliştirilen bu stratejiler, talep yanıtı yönetimi, enerji depolama ve kullanımı ve güç dağıtım sistemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Simülasyon sonuçları, elektrikli motor sistemlerine sahip uçakların enerji yönetimi konusunda daha etkili ve verimli hale gelebilmesi için öneriler sunmaktadır (Li, Wang, Lin 2021). Zhang ve arkadaşları da çalışmalarında, elektrikli motora sahip hata toleranslı elektrikli bir uçak için enerji verimli bir güç yönetimi çözümünü ele almaktadır. Yazarlar, bu yöntem çözümünün uçak elektrik güç sistemlerindeki verimlilik artarken sistem güvenilirliğini de artırmada etkili olduğunu vurgulamaktadır. Sistemde, enerji verimli güç yönetimi algoritmaları kullanılarak elektrikli yüklerin ideal dağılımı sağlanmaktadır. Çalışmada, elektrikli güç akışının yönetimi ve enerji tasarrufu için çeşitli kontrol stratejileri geliştirilmiştir. Bu stratejiler, uçak elektrikli sistemlerinin karmaşık yapısına uyum sağlayacak esneklikte tasarlanmıştır. Ayrıca, gerçek zamanlı veri analizi ve adaptif kontrol teknikleri kullanılarak güç yönetimi kararları optimize edilmektedir (Zhang, Peng, Banda, Dasgupta, Husband, Su ve Wen, 2018). Uçak güç dağıtım alt sisteminin optimizasyonunu ele alan bir çalışma kapsamında, güç dağıtım alt sisteminin performansını optimize etmek için çeşitli mühendislik teknikleri ve algoritmalar kullanılmıştır. Çalışmada, güç akışının ve yük dağılımının en etkili şekilde yönetilmesi hedeflenmekte ve bu sayede sistem verimliliği de artırılmaktadır. Ayrıca, sistem performansını değerlendirmek için farklı çalışma koşulları altında çeşitli simülasyonlar gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar sunulmuştur (Chandrasekaran, Ragon, Lindner, Gürdal ve Boroyevich, 2003).

Elektrikli hava taşıtlarında enerji yönetimi ve yük dağılımı, yeni teknolojilerin ve kontrol sistemlerinin geliştirilmesiyle sürekli olarak iyileşmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, yeni nesil güç yönetimi stratejileri ve teknolojilerine odaklanmaktadır. Benzaquen ve arkadaşları, elektrikli hava aracı güç dağıtım sistemlerinin karşılaştığı teknik zorlukları ve bu alandaki son gelişmeleri incelemektedir. Hibrit, tam elektrikli ve turbo elektrik güç dağıtım sistemi mimarilerini ele almaktadır. Çalışma, güç dönüştürücüleri ve yüksek güç yoğunluklu elektrik motorları gibi ana cihazları analiz ederek bu teknolojilerin önemini vurgulamaktadır (Benzaquen, He, Mirafzal, 2021). Yeni nesil stratejilere geliştiren diğer çalışmalar, uçakların elektrikli sistemlerinin geliştirilmesi ve optimize edilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Liu, Hu, Wang ve Li, çalışması, çoklu portlu güç dönüştürücü sistemlerini ele alırken, Zhang, Wang ve Liu çalışması ise güç kalitesi kontrolü ve optimizasyonunu incelemektedir. Liu, Hu, Wang ve Li, çalışmasında, çoklu portlu güç dönüştürücü sistemlerinin, uçaklarda enerji verimliliğini artırmada ve ağırlığı azaltmada

önemli avantajlar sağladığı sonucuna varmaktadır. Zhang, Wang ve Liu ise, güç kalitesi kontrolü ve optimizasyonu sayesinde elektrikli uçak sistemlerinde güvenilirliğin ve performansın iyileştirilebileceği sonucuna ulaşmaktadır (Liu, Hu, Wang ve Li, 2020), (Zhang, Wang ve Liu 2022). Hibrit enerji depolama sistemlerine sahip elektrikli uçaklar için adaptif çevrimiçi güç yönetimini ele alan bir çalışmada, adaptif güç yönetim algoritmaları kullanılarak, bataryalar ve süperkapasitörler gibi, farklı enerji kaynakları arasındaki güç dağılımı optimize edilmektedir. Çalışmada, hibrit enerji depolama sistemlerine sahip elektrikli uçakların dinamik yapısına uyum sağlayacak şekilde güç yönetimi gerçekleştirilmektedir ve bu sayede enerji verimliliği ve sistem güvenilirliği artırılmaktadır. Ayrıca, gerçek zamanlı veri analizleri kullanılarak güç yönetim kararları adaptif olarak güncellenmektedir (Wang, Xu, Mao, Yang ve Shen, 2020).

Elektrikli hava taşıtlarında enerji yönetimi ve yük dağılımı hem güvenlik hem de verimlilik için çok önemlidir. Bu alandaki mevcut araştırmalar, yük yönetim sistemlerini optimize etmek ve hava taşıtı sistemleri arasında daha verimli güç akışı sağlamak için çeşitli stratejiler ve çözümler sunmaktadır. Akıllı kontrol sistemleri, hata tolerans yöntemleri, simülasyon teknikleri ve yeni nesil optimizasyon algoritmaları bu alandaki önemli gelişmeleri temsil etmektedir. Gelecekteki araştırmalar, elektrikli hava taşıtlarını daha da verimli ve güvenli hale getirecek teknolojiler geliştirmeye odaklanacaktır.

Bu araştırmanın temel amacı, elektrikli uçaklar için sistem verilerinin ve sistem sağlığının gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve buna bağlı olarak sistem verimliliğini ve güvenliğini artırmak amacıyla elektrik yüklerini akıllıca yönetebilen bir AYYIS tasarlamak ve modellemektir. Bu kapsamda geliştirilen yaklaşım ile uçak sistemleri birer elektriksel yük olarak modellenmektedir ve bu elektriksel yükler uçuş ve güvenlik bakımından kritiklik seviyelerine göre kategorize edilmektedir. Kurulan modelde yükler temelde kritik yükler ve kritik olmayan yükler olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Burada temel yaklaşım kullanıcı komutu aksini talep etmediği sürece, kritik sistemlerin sürekli olarak beslenmeleri gerektiğidir. Kritik olmayan yükler ise çektikleri güç seviyelerine ve kritikliklerine göre kendi aralarında kategorize edilerek, güç kaynaklarındaki olası güç kaybı durumlarında uçuş sırasıyla devreden çıkarılmaktadır. Bu şekilde hem güç kaynakları en verimli şekilde kullanılmakta olup bu sayede yükler olabildiğince uzun süre beslenmekte hem de jeneratörlerin aşırı yüklenmesinin önüne geçilmiş olmaktadır. Eğer sistemde güç kaybı devam ederse, batarya gerilim değeri referans alınarak kurulan kontrol devresi sayesinde,

jeneratör gerilim değeri batarya gerilim değerinin altına düştüğünde ana güç kaynağı olan ilk jeneratör devreden çıkartılarak ikincil ana güç kaynağı olan ikinci jeneratör devreye alınmaktadır. Bu sayede, uçak sistemlerinin beslemesinde herhangi bir kesinti olmakta ve sistemler sağlıklı bir şekilde çalışmalarına devam edebilmektedirler. Ayrıca, tasarlanan model ile sistem sürekli olarak izlenmekte ve takip edilebilmektedir. Bu sayede, sistemdeki olası bir hata durumu sonrası gerilim seviyeleri normale dönmeye başladığında devreden çıkarılmış olan kritik olmayan yükler, sistemin sağlık durumuna göre tekrar sırayla devreye alınmakta ve güç beslemeleri sağlanmaktadır.

Elektrikli uçaklar için geliştirilen akıllı yük yönetim sistemi yaklaşımı ile;

- Elektrikli uçak konsepti kapsamındaki uçaklarda elektrik güç sistemlerinin güvenilirliğini ve verimliliğini maksimum seviyeye taşımak,
- Gerçek zamanlı simülasyonlar ile farklı operasyon koşulu senaryolarında akıllı yük yönetimi stratejilerinin etkinliğini göstermek,
- Sistemin performansını çeşitli arıza koşulları altında değerlendirerek, arıza durumlarında bile uçağın kritik sistemlerine sürekli olarak güç sağlanmasını sağlamak amaçlanmaktadır.

Bu araştırmanın önemi, elektrikli uçaklar ve bu uçaklar için geliştirilen elektrik yük yönetimi alanına önemli ölçüde katkıda bulunmaktır. Kritik operasyonlar için elektrik sistemlerine olan bağımlılığın artmasıyla birlikte, elektrik yüklerini verimli ve güvenilir bir şekilde yönetme becerisi, elektrikli uçakların güvenliğini ve verimliliğini sağlamak için çok önemlidir. Önerilen Akıllı Yük Yönetim Sistemi hem normal çalışma koşulları hem de arıza durumları sırasında uçak sistemlerinin kararlılığını ve genel güvenilirliği artıracak olup aynı zamanda elektrik kesintisi olasılığını azaltacaktır.

Ayrıca bu araştırma, çoklu güç kaynaklarının entegrasyonu ve arıza koşulları altında elektrik sistemlerinin yönetimi konusunda önemli bilgiler sunarak mevcut literatürdeki boşlukları gidermeyi hedeflemektedir. Akıllı bir güç dağıtım stratejisi ile, havacılık endüstrisinde sürdürülebilirlik için artan talepleri karşılamada kritik öneme sahip olan daha uyarlanabilir ve enerji tasarruflu hava aracı sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Bu araştırma, jeneratörler, bataryalar ve güç dağıtım üniteleri de dahil olmak üzere hava aracı güç sistemi bileşenlerinin, sistem sağlığı ve güç seviyeleri hakkında gerçek zamanlı veri sağlayabilmektedir. Buna ek olarak araştırma, akıllı yük yönetim sistemi için tasarlanan kontrol algoritmalarının güç dağıtım ağı ile etkin bir şekilde ara yüz oluşturabileceğini ve yük önceliklerini buna göre ayarlayabileceğini varsaymaktadır.

Önerilen akıllı yük yönetim sisteminin doğrulanması, kontrollü bir ortamda simülasyonu ve modellenmesi ile sınırlıdır. Çalışma, simülasyon yoluyla sistemin performansını değerlendirmeye odaklanacaktır, ancak gerçek zamanlı uygulama veya fiziksel test bu araştırmanın kapsamında değildir. Ayrıca, simülasyonda dikkate alınan arıza senaryoları mevcut verilere ve teorik modellere dayanmakla birlikte, donanım sınırlamaları, çevresel koşullar veya öngörülemeyen operasyonel zorluklar gibi faktörler nedeniyle gerçek dünyada sapmalar meydana gelebilir.

Elektrikli uçaklar ve akıllı yük yönetim sistemi gibi yenilikçi konseptlerin daha iyi anlaşılabilmesi için, ilgili temel tanımlar aşağıda açıklanmıştır.

Elektrikli uçak

Geleneksel mekanik, hidrolik ve pnömatik sistemleri elektrikli muadilleri ile değiştirerek daha büyük ölçüde elektrik gücü kullanan hava aracıdır. Bu, yakıt tasarrufu, azaltılmış bakım gereksinimleri ve çevresel faydalar gibi avantajlar sunar.

Akıllı yük yönetim sistemi

Bir hava aracındaki elektrik yüklerinin dağılımını etkin bir şekilde yöneten sistemdir. Güç kesintileri veya sistem arızaları sırasında, kritik yüklerle öncelik verirken, kritik olmayan yükleri seçici olarak devre dışı bırakır. Bu, sistemin güvenli ve kesintisiz çalışmasını sağlar.

Kritik Yükler: Hava aracının güvenli çalışması için vazgeçilmez olan elektrik sistemleridir. Bunlar arasında aviyonik sistemler, uçuş kumandaları ve iletişim sistemleri bulunur.

Kritik olmayan yükler

Hava aracının acil durum operasyonları için hayati önem taşımayan elektrik sistemleridir. Bu sistemler, olağanüstü durumlarda güç tasarrufu sağlamak amacıyla geçici olarak devre dışı bırakılabilir.





2. ELEKTRİKLİ UÇAKLAR İÇİN AKILLI YÜK YÖNETİM SİSTEMİ

Elektrikli uçaklara yönelik artan talep, yük yönetimi sistemlerine duyulan ihtiyacı daha kritik hale getirmektedir. Tüm uçak sistemlerinin sağlıklı çalışabilmesi için kritik bir öneme sahip olan yük yönetim sistemlerinin yeterince güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir tasarım çözümüne sahip olması gerekmektedir. Bu gereklilik sistem tasarımını daha zor ve karmaşık hale getirmektedir. Elektrikli uçaklardaki yük yönetimi zorlukları öncelikle; birincil jeneratörler, ikincil jeneratörler ve bataryalar dahil olmak üzere çeşitli güç kaynaklarını yönetirken gücü kritik ve kritik olmayan yükler arasında dinamik olarak dağıtma ihtiyacından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışma, güç kaynaklarının sağlığını sürekli olarak izleyen ve sistem sağlık koşullarına ve kullanıcı komutlarına göre yüklerin beslenmesini dinamik olarak ayarlayan bir akıllı yük yönetim sistemi önermektedir. Önerilen sistem kapsamında güçlü bir kontrol stratejisi kurulmuş ve verilerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi sağlanmıştır. Bu sayede kritik yüklerin uçağın çalışma koşullarından etkilenmeyecek şekilde sürekli olarak beslenmesi sağlanmaktadır. Ayrıca Kritik olmayan yükler ise, olası hata durumlarında, sistemin güç seviyesindeki düşüş seviyesine göre sırasıyla devreden atılmaktadır. Böylece, sistemin gücü en verimli şekilde kullanılırken, yüklerin sistemde kalma süreleri de uzatılmış olmaktadır.

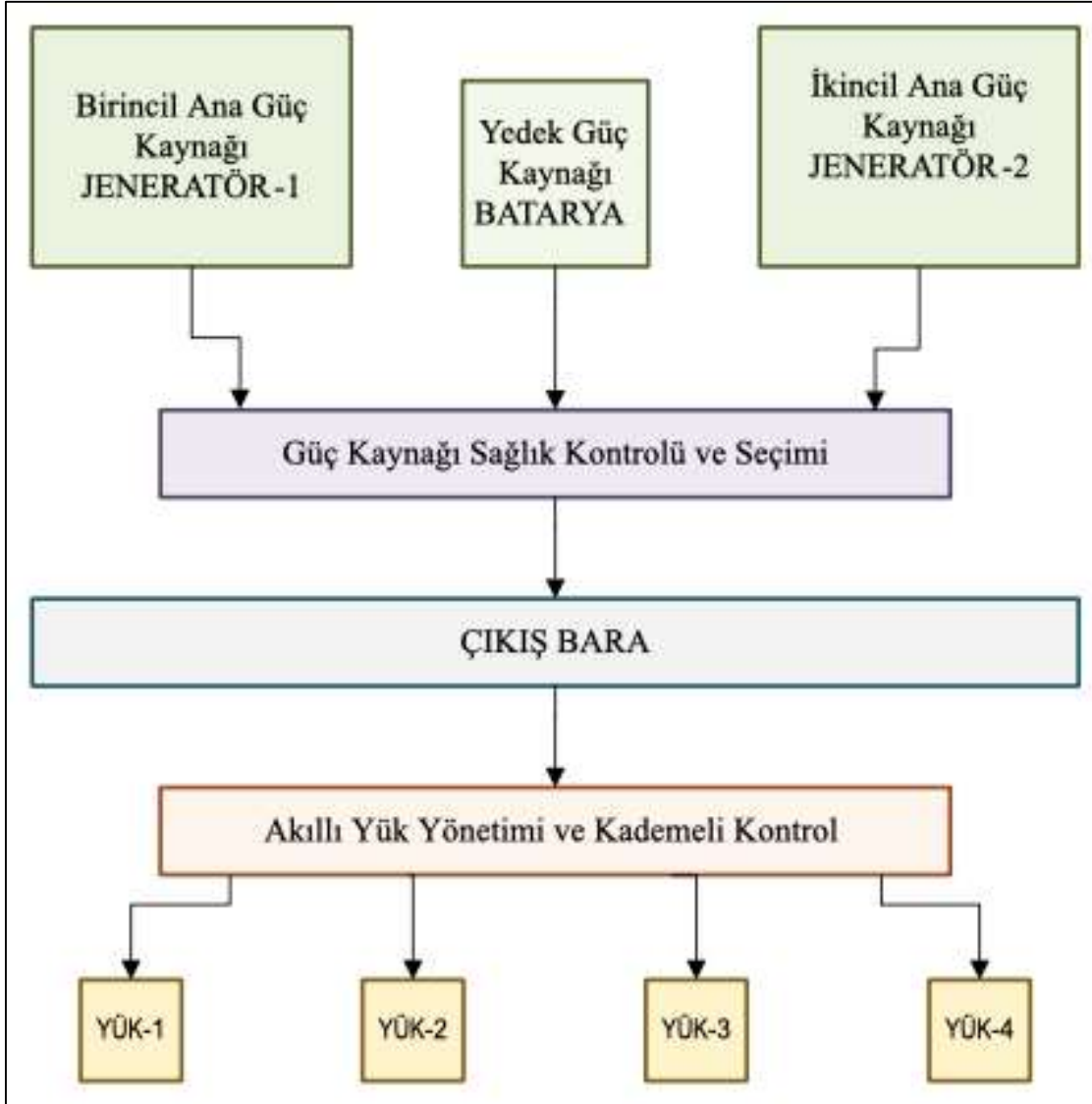
2.1. Sistem Mimarisi

Bu çalışma kapsamında tasarlanan sistem mimarisi, çeşitli hava aracı sistemlerinin güç ihtiyaçlarını yönetmek ve önceliklendirmek amacıyla entegre çalışan birkaç temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler aşağıda listelenmiştir:

- JEN1 (Birincil Ana Güç Kaynağı): Bu ekipman, hava aracı için birincil elektrik gücü kaynağıdır. Normal çalışma koşulları altında, JEN1 tüm yüklere gücün çoğunu sağlar.
- JEN2 (İkincil Ana Güç Kaynağı): Olası bir JEN1 arızası durumunda veya JEN1 gerilim seviyesinin sistem için belirlenen eşik değerinin altına düşmesi durumunda JEN2 birincil güç kaynağı olarak görevi devralır ve uçak sistemlerinin sağlıklı bir şekilde beslenmesini sağlar.

- Batarya (Yedek Güç Kaynağı): Batarya hem JEN1 hem de JEN2 güç kaynaklarının arızalanması durumunda ikincil bir yedek güç kaynağı olarak yükleri besler. Birden fazla arıza durumunda uçağın temel fonksiyonlarının sürdürülebilmesini sağlar.
- Kritik Yükler: Bu yükler, aviyonikler ve uçuş kontrol sistemleri gibi uçağın temel işlevi için gerekli olan kritik sistemleri içerir. Bu yükler uçak operasyonları için kritik olması nedeniyle önceliklidir ve kullanıcı komutu ile aksi belirtilmedikçe sürekli olarak beslenirler. Modelde kritik yükler yakıt pompası ve aktüatör olarak adlandırılarak sırasıyla biri DC biri AC yük olarak tasarlanmıştır.
- Kritik Olmayan Yükler: Bu yükler uçak operasyonları bakımından faydalı olmakla birlikte hava aracının sağlığı bakımından kritik olmayan yüklerdir. Aydınlatma sistemleri, gerekli olmayan aviyonikler veya eğlence sistemleri kritik olmayan yüklerle örnek verilebilir. Güç kaynaklarında herhangi bir güç sınırlaması veya arıza durumu olduğunda kritik olmayan yükler atılabilmektedir. Tasarlanan modelde kritik olmayan yükler lamba ve iklimlendirme olarak adlandırılarak sırasıyla biri DC biri AC yük olarak tasarlanmıştır.
- Yük Yönetim Sistemi: Bu sistem güç kullanımını izlemek, arızaları tespit etmek ve röleler ve kontaktörler aracılığıyla yük çıkarmayı yönetmek için gerekli donanım ve algoritmayı içerir. Yük yönetimi yaklaşımının merkezi karar sistemi olarak görev yapar ve gücün optimum şekilde dağıtılmasını sağlar. Akıllı yük yönetim sistemi iki ayrı kontrol algoritması içerir.

Yukarıda bahsedilen AYYs ekipmanlarının bütüncül yapısı Şekil 2.1'de verilen blok diyagram ile görselleştirilmiştir.



Şekil 2.1. Akıllı yük yönetim sistem mimarisi

2.2. Sistemin Özellikleri ve Yapısı

Sistem, değişen güç taleplerine ve güç üretim sistemindeki olası arıza durumlarına dinamik olarak uyum sağlayarak, uçuş güvenliğini artırmayı ve enerji verimliliğini optimize etmeyi hedeflemektedir. Bu hedefe ulaşabilmek için, sistem özellikleri, uçuş operasyonlarında kararlılık ve güvenilirlik sağlama amacıyla geliştirilmiş entegre sensörler, akıllı algoritmalar ve dinamik yük kontrol mekanizmaları üzerine inşa edilmiştir.

Sistemin temel tasarımı, güç kaynaklarının ve yüklerin sürekli izlenmesini sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu kapsamda, sistem iki ana aşamadan oluşmaktadır:

Aşama 1: Akıllı yük yönetimi ve kademeli kontrol mekanizması

Akıllı yük yönetim sistemi, elektrikli uçak güç sistemlerinin güvenilirliğini ve kararlılığını koruma amacıyla geliştirilmiş yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Sistemin temel işlevi, çıkış barasındaki gerilim seviyesini sürekli izlemek ve gerilim düşüşü meydana geldiğinde, kritik yüklerin beslenme süresini en uzun süre koruyabilmek adına, kritik olmayan yükleri kademeli olarak devre dışı bırakmaktır. Bu süreçte, yüklerin sıralaması, öncelik seviyeleri ve güç tüketimleri gibi parametreler dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Sistem, entegre sensörler aracılığıyla gerilim, akım ve güç seviyelerini gerçek zamanlı olarak izlemekte ve kullanıcı komutlarını dikkate alarak, görev önceliklerine veya operasyonel koşullara uygun şekilde yük dağıtımını düzenlemektedir.

Yük yönetimi süreci, iki aşamalı bir yaklaşım benimsemektedir. İlk aşama olan Yük Önceliklendirme sırasında, bara geriliminde düşüş gözlemlendiğinde, kritik yüklerin enerji ihtiyaçlarına öncelik verilirken, kritik olmayan yüklerin bağlantıları sırasıyla kesilmektedir. Bu aşamada, öncelikle yüksek güç tüketimine sahip kritik olmayan yükler devre dışı bırakılarak daha fazla gerilim düşüşü önlenir. İkinci aşama olan Röle Kontrolü ise, belirlenen eşik değerler doğrultusunda, kritik olmayan yüklerin tristör aracılığıyla güç barasından bağlantısının kesilmesini sağlamaktadır. Bu mekanizma, jeneratörlerin aşırı yüklenmesini önlerken, sistemin güvenilirliğini ve enerji dağıtımının sürekliliğini garanti altına almaktadır. Gerilim normale döndüğünde, kritik olmayan yükler yeniden sisteme dahil edilmekte ve kesintisiz bir operasyon sağlanmaktadır. Bu prosedür, MEA güç sistemlerinin enerji verimliliğini optimize etmesi ve uçuş güvenliğini artırması açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Aşama 2: Güç kaynağı sağlık kontrolü ve seçimi

Bu aşamada, güç kaynağı sağlık kontrolü yapabilmek amacıyla jeneratörlerin çıkışındaki gerilim seviyesi sürekli olarak izlenir. Bu kontrol, çıkış hattına gerilim algılama mekanizması olarak işlev gören küçük bir direnç yerleştirilerek gerçekleştirilir. Normal çalışma sırasında JEN1 uçağın yüklerine giden gücün büyük kısmını sağlar. JEN1 gerilim limitleri dahilinde çalıştığı sürece (örneğin, 26,5V DC batarya gerilim referansı üzerinde), hem kritik hem de kritik olmayan yükleri beslemeye devam edecektir.

JEN1 arızalanırsa veya gerilimi referans değerin altına düşerse, aşama 2 tetiklenir. Bu aşama, sistemin JEN2 veya batarya üzerinden beslenerek yüklerin güç beslemesinin sürdürülmesini sağlar. Güç kaynaklarının sağlık kontrolleri ve hangi güç kaynağının sistemi beslemeye devam edeceğinin seçilmesi işlemi aşağıdaki aşamalar ile gerçekleştirilir:

- Gerilim Karşılaştırması: JEN1'in gerilimi batarya gerilimi ile karşılaştırılır. JEN1'in gerilimi batarya geriliminin altına düşerse, JEN1'in artık güç sağlayamayacağını ve JEN2'nin etkinleştirilmesi gerektiğini bildirir. Eğer JEN2'de bu aşamada arızalanırsa sistem batarya üzerinden beslenmeye devam etmektedir.
- Güç Anahtarlama: JEN2, röleler aracılığıyla ana veri yoluna bağlanır. Bu anahtarlama sorunsuz bir şekilde gerçekleşir ve kritik yüklere güç beslemesinde kesinti olmamasını sağlar. Bu geçiş, röle anahtarlama süresi içinde gerçekleşir ve kritik sistemlerde herhangi bir kesinti olmasını önler.
- Yük Sürekliliği: Güç kaynakları arasında geçiş yapılırken bile sistem, bu geçiş sırasında hiçbir yükün kapatılmamasını sağlar. Bu, arıza senaryosu boyunca kritik yüklerin çalışır durumda kalmasını sağlamak için özellikle önemlidir.



3. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, elektrikli uçaklar için önerilen akıllı yük yönetim sistemini doğrulamak amacıyla kurulan simülasyon modeli açıklanmaktadır. Simülasyonlar MATLAB Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, gerilim düşüşleri, jeneratör arızaları ve yük çıkarma mekanizmaları dahil olmak üzere çeşitli operasyonel senaryolar altında tasarlanan sistemin performansı hakkında fikir vermektedir.

3.1. Simülasyon Modelinin Kurulumu

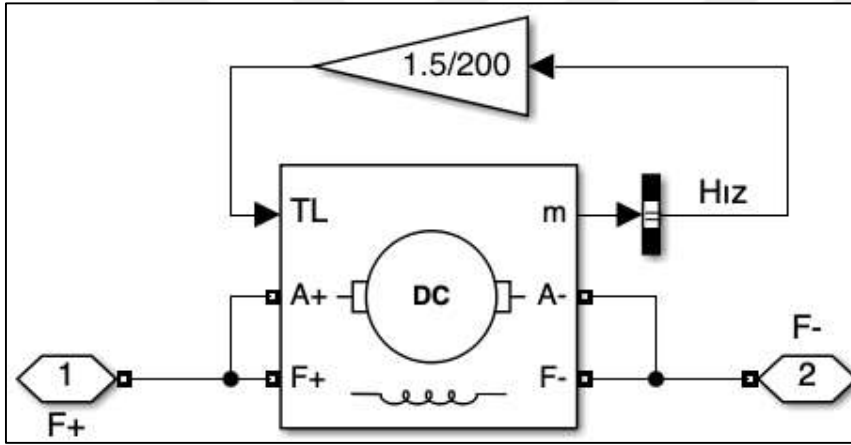
Simülasyon ortamı, elektrikli uçağın gerçek dünyadaki elektrik mimarisini temsil edecek şekilde dikkatle tasarlanmıştır. Güç kaynakları, yükler ve kontrol elemanları dahil olmak üzere sistemin bileşenleri, fiziksel ve elektrikselsel özelliklerini yansıtacak şekilde modellenmiştir. Simülasyona aşağıdaki unsurlar dahil edilmiştir:

Güç kaynakları

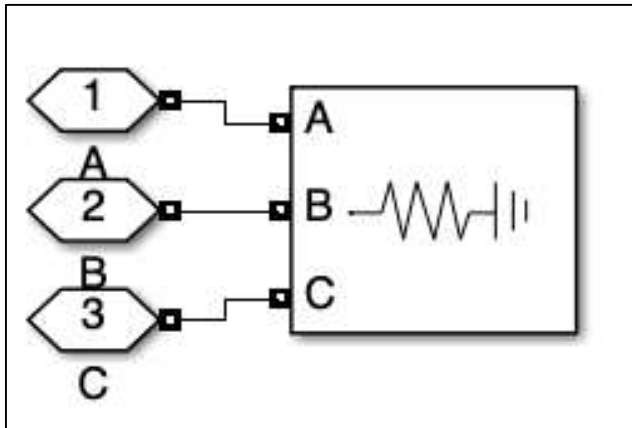
Sistemi besleyen ana güç kaynakları olan jeneratörler (JEN1 ve JEN2), senkron makine modeli temel alınarak tasarlanmıştır. Modelleme sürecinde, mekanik güç ile çalışan senkron makinelerden elde edilen üç fazlı gerilim, gerçek uçak sistemlerinde olduğu gibi, doğrultucular (rectifier) aracılığıyla DC gerilime dönüştürülmüştür. Ardından, çevirici (buck converter) kullanılarak, oluşturulan sistemin ihtiyaç duyduğu 28V DC gerilim elde edilmiş ve bu gerilim sisteme güç sağlamak için kullanılmıştır. Uçaklarda bu tür dönüşümler genellikle kontrol kutuları üzerinden gerçekleştirilirken, tasarlanan modelde bu özellik doğrudan jeneratör alt sistemi içine entegre edilmiştir. Jeneratörler için tasarlanan model Şekil 3.1'de verilmiştir.

Yükler

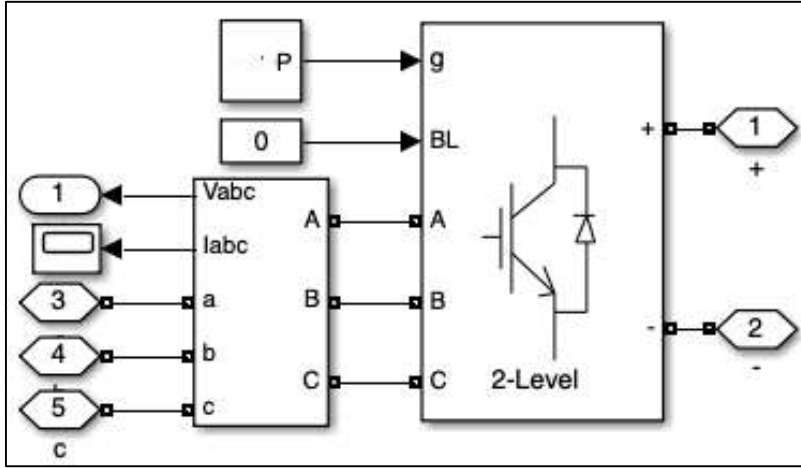
Kritik ve kritik olmayan yükler de temsili olarak oluşturulmuş ve alt sistem düzeyine getirilerek sistem mimarisine eklenmiştir. Kritik yüklerden, biri DC ve diğeri ise AC yük olmak üzere tasarlanmış ve sırasıyla Yakıt pompası (kritik yük-1) ve Aktüatör (kritik yük-2) olarak adlandırılmıştır. Kritik olmayan yükler de aynı şekilde, biri DC ve diğeri ise AC yük olacak şekilde tasarlanmış ve sırasıyla Lamba (kritik olmayan yük-3) ve iklimlendirme (kritik olmayan yük-4) olarak adlandırılmıştır. AC yükler için ayrıca DC/AC dönüştürücü (inverter) tasarlanarak yüklerin bara ile bağlantısına eklenmiştir. Kritik ve kritik olmayan yükler için örnek modeller ve dönüştürücü modeli Şekil 3.3.'te Şekil 3.4'te ve Şekil 3.5'te sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3.3. Kritik DC yük modeli-yakıt pompası (kritik yük-1)

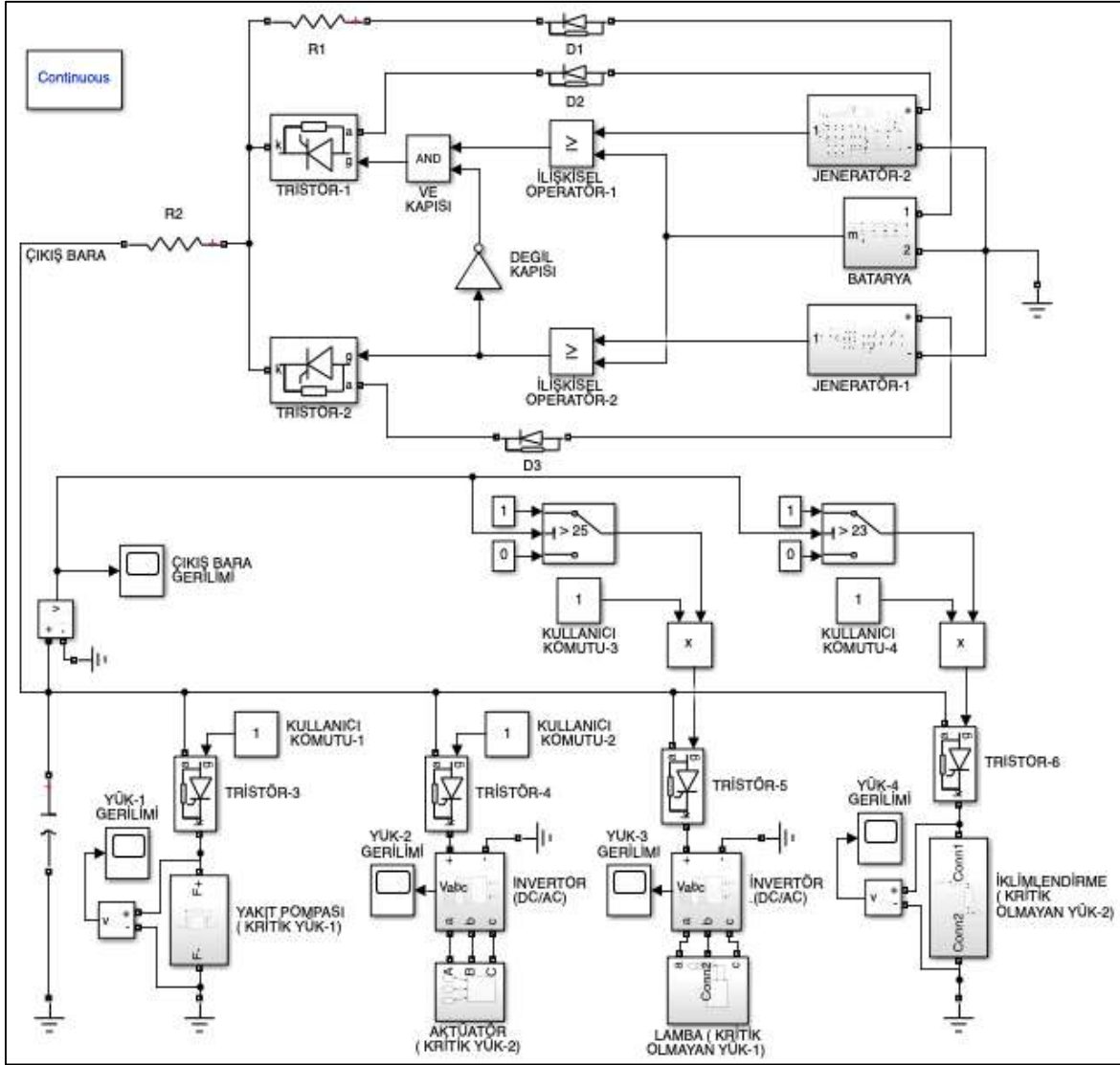


Şekil 3.4. Kritik olmayan AC yük modeli-lamba (kritik olmayan yük-3)



Şekil 3.5. DC/AC Dönüştürücü modeli-inverter (DC/AC)

Uçak elektrik güç sistemine tüm tasarlanan ekipmanlar entegre edilerek kapsamlı bir şekilde modellenmiştir. Bu model kapsamında yük yönetim sistemleri sisteme dahil edilmiş ve Akıllı Yük Yönetimi Sistemi'nin mimarisi oluşturulmuştur. Sistemin nihai mimari modeli Şekil 3.6'da detaylı olarak sunulmaktadır.



Şekil 3.6. Akıllı yük yönetim sistemi mimari modeli

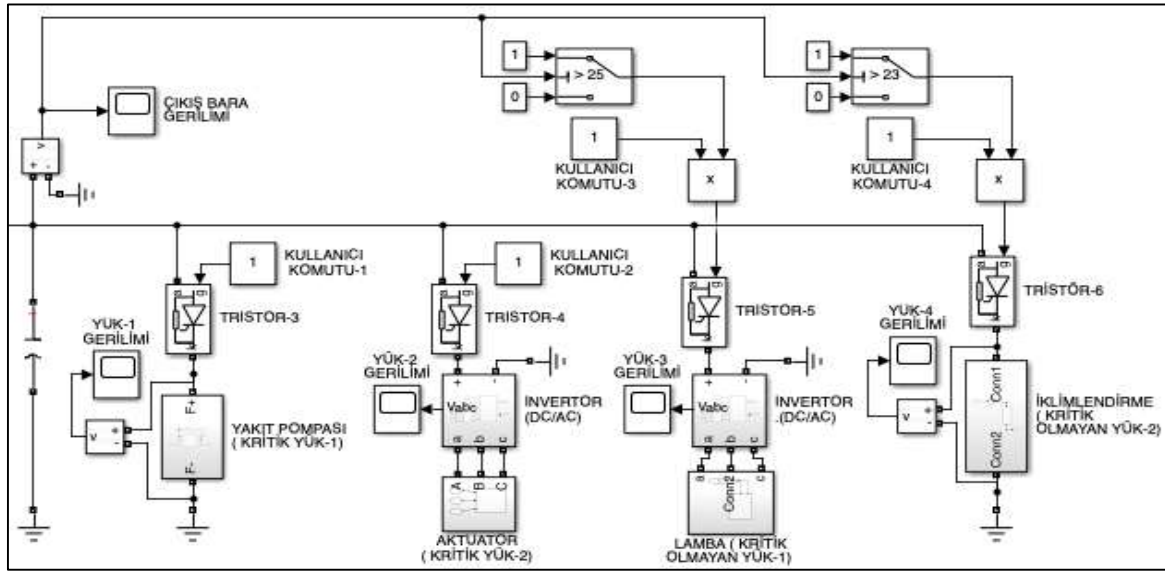
Kontrol stratejisi simülasyonda çeşitli koşullar altında test edilir. Anahtar eylemler şunları içerir:

Gerilim izleme ve güç kaynağı değiştirme

JEN1'in gerilimi, çıkış hatlarına yerleştirilen bir direnç ağı kullanılarak sürekli olarak izlenir. Gerilim eşik değerinin altına düşerse, sistem herhangi bir kritik yükü çıkarmadan sorunsuz bir şekilde JEN2'ye veya bataryaya geçer. Bu, bir jeneratör arızası durumunda bile sistemlerin çalışmaya devam etmesini sağlar.

Yük çıkarma protokolü

Gerilim eşiğin altına düştüğünde, sistem otomatik olarak kritik olmayan yükleri atar. Yük çıkarma sırası her bir yükün güç tüketimine göre belirlenir ve ilk olarak yüksek güç tüketen yüklerin bağlantısı kesilir. Aşama 1 Akıllı Yük Yönetimi için tasarlanan devre Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Akıllı yük yönetimi sistem devresi

3.2. Performans Metrikleri

Önerilen sistemin etkinliğini değerlendirmek için aşağıdaki metrikler kullanılmıştır:

- **Güç Kullanım Verimliliği:** Bu metrik, sistemin mevcut gücü ne kadar verimli kullandığını, kritik yükler öncelik verirken gerekli olmayanları gerektiği gibi çıkarıp çıkarmadığını değerlendirir.
- **Yanıt Süresi:** Sistemin gerilim düşüşlerine, yük çıkarma gerekliliklerine veya jeneratör arızalarına yanıt vermek için harcadığı süre, operasyonel sürekliliğin korunması için çok önemlidir.
- **Sistem Kararlılığı:** Sistemin değişen koşullar altında istikrarlı gerilim seviyelerini ve güvenilir güç dağıtımını sürdürme yeteneği, elektrikli uçakların güvenliğini ve işlevselliğini sağlamak için çok önemlidir.

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

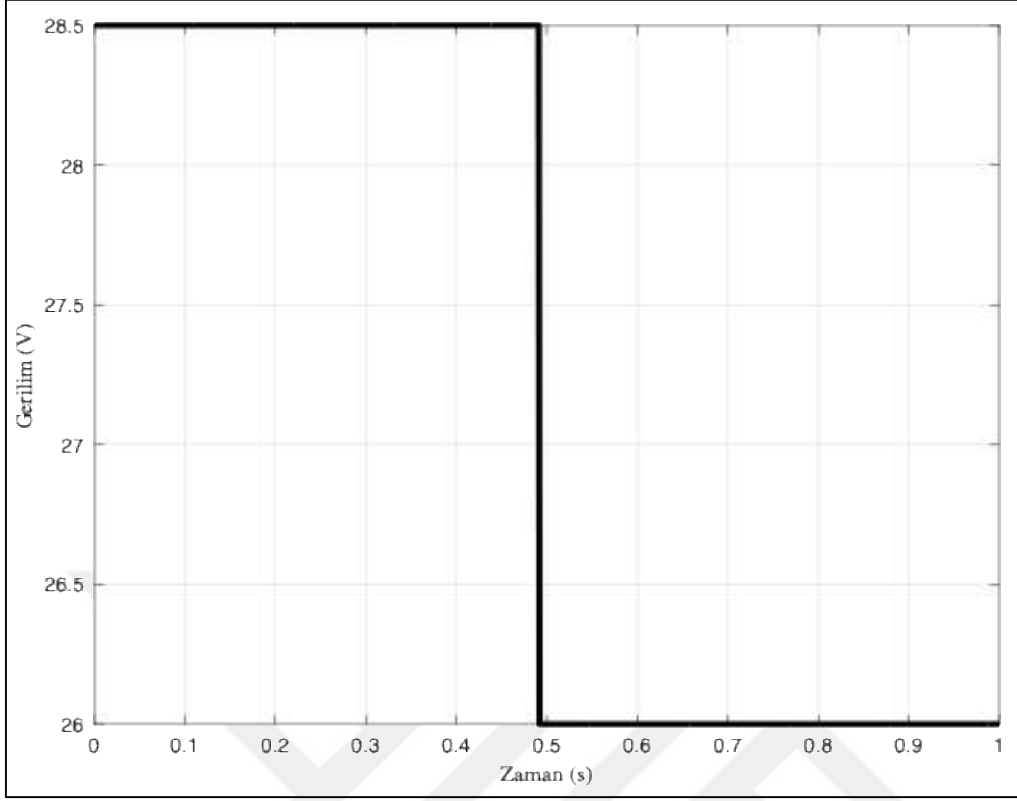
Önerilen akıllı yük yönetim sisteminin performansını ve etkinliğini değerlendirmek için çeşitli arıza senaryoları modellenmiştir. Bu senaryolar kapsamında güç kaynaklarında meydana gelebilecek arıza durumlarında sistemin diğer güç kaynaklarıyla beslenmeye devam edebildiğini göstermek amaçlanmıştır. Ayrıca, sistemin, kritik yüklerle istikrarlı bir şekilde güç dağıtırken, gereksiz yükleri gerektiğinde devreden çıkarma yeteneği de bu senaryolarla test edilmiştir.

4.1. Birincil ve İkincil Güç Kaynakları Arası Geçiş

Jeneratör-1'de meydana gelen bir arıza durumunda, Aşama 2 kapsamında tasarlanan algoritma sayesinde jeneratör-2 devreye alınarak sistem beslenmeye devam etmektedir. Böylece, birincil ana güç kaynağında oluşan gerilim düşüşünün sistem üzerindeki etkileri en aza indirilmektedir. Bu durum, aşağıdaki simülasyon sonuçlarıyla detaylandırılmıştır.

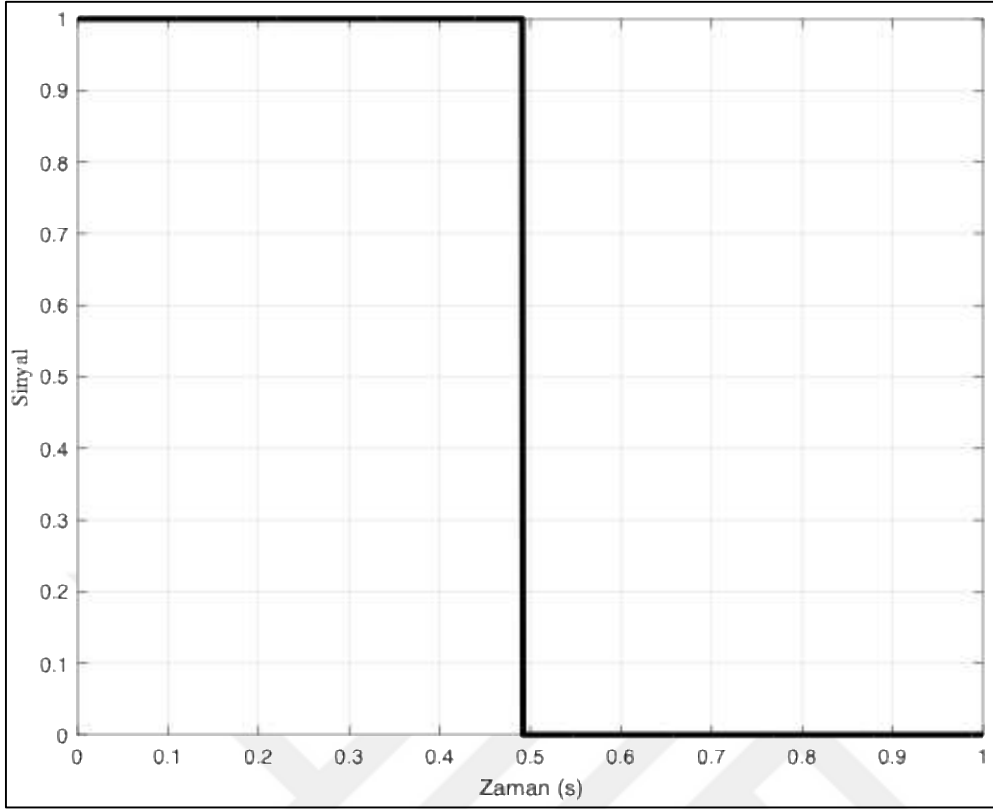
Jeneratör-1 gerilim düşüşü

Simülasyon, jeneratör-1 gerilim seviyesinin düşmesini ve sistemin bu durumda nasıl davrandığını göstermektedir. Jeneratör-1 gerilim seviyesindeki düşüşün simülasyon sonuçları Şekil 4.1'de verilmiştir.

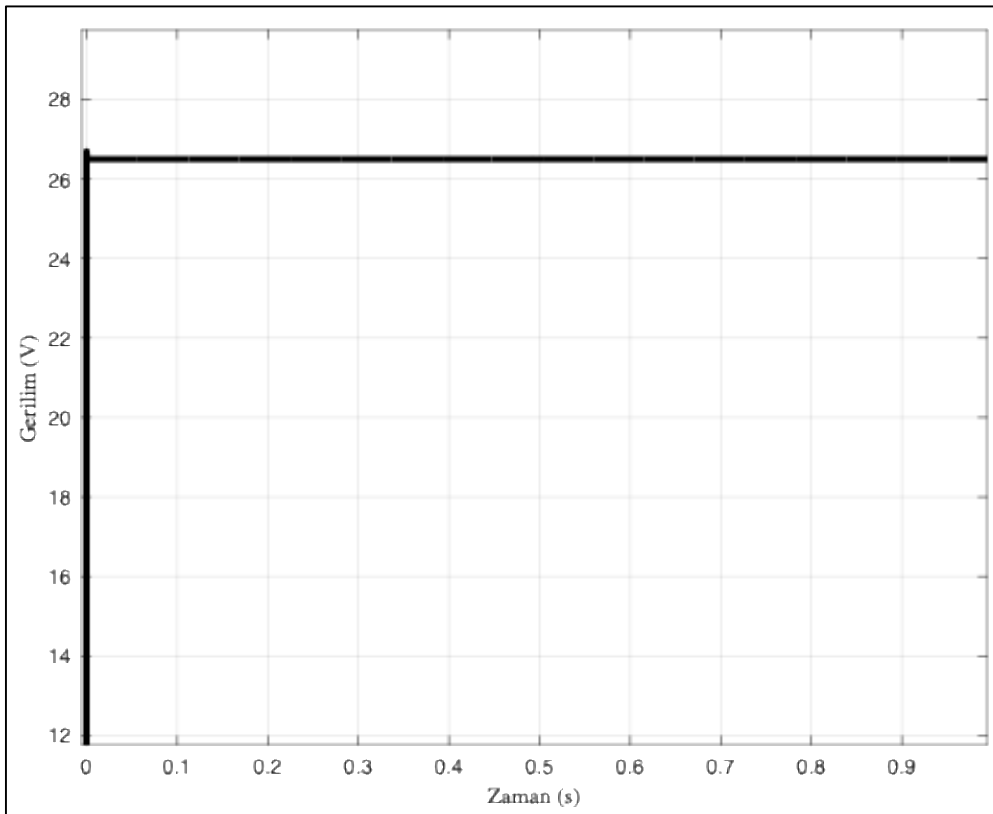


Şekil 4.1. Jenetaör-1 gerilim seviyeleri

Burada, güç kaynağı sağlık durumu algoritması, jeneratör-1'in gerilim seviyesini, batarya gerilimi ile kıyaslayarak, artık sistem için uygun olmadığını belirler ve ilgili anahtar güç kaynağının devre dışı bırakılmasını sağlar. Bu işlem, algoritmanın anahtara "0" sinyalinin gönderilmesiyle gerçekleştirilir. Sırasıyla referans değer olarak takip edilen batarya gerilimini ve anahtarı süren sinyalin değişimini gösteren simülasyon çıktıları Şekil 4.2'de ve Şekil 4.3'te verilmiştir.



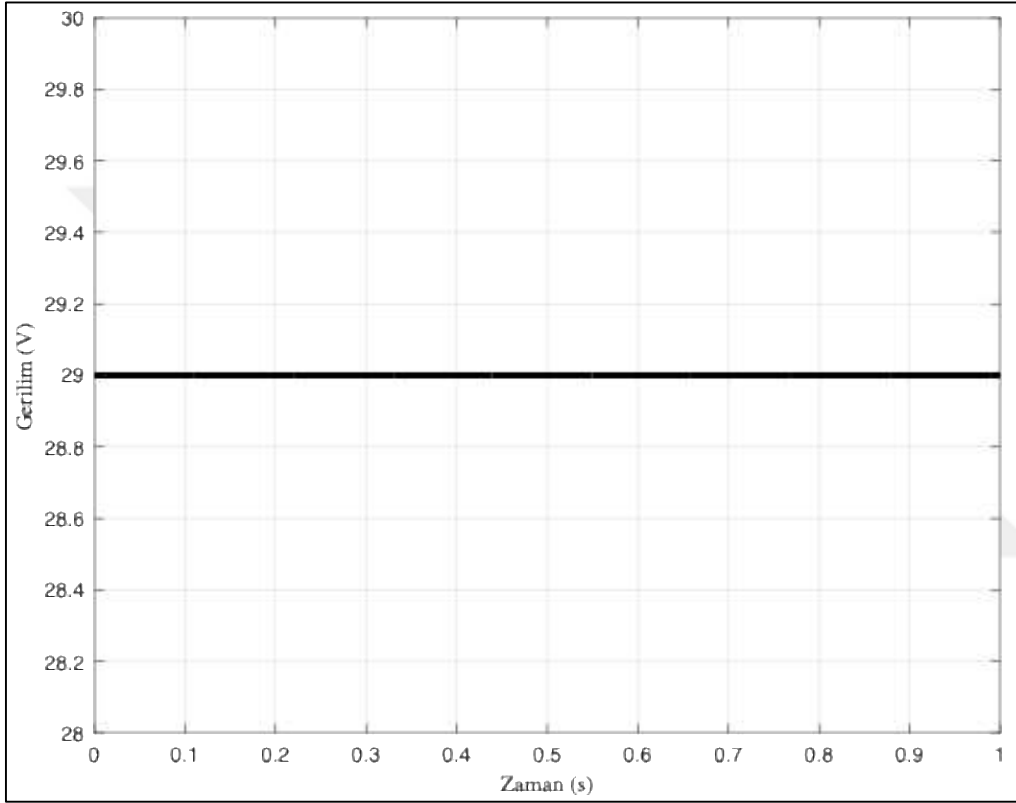
Şekil 4.2. Jeneratör-1 anahtarını süren sinyal



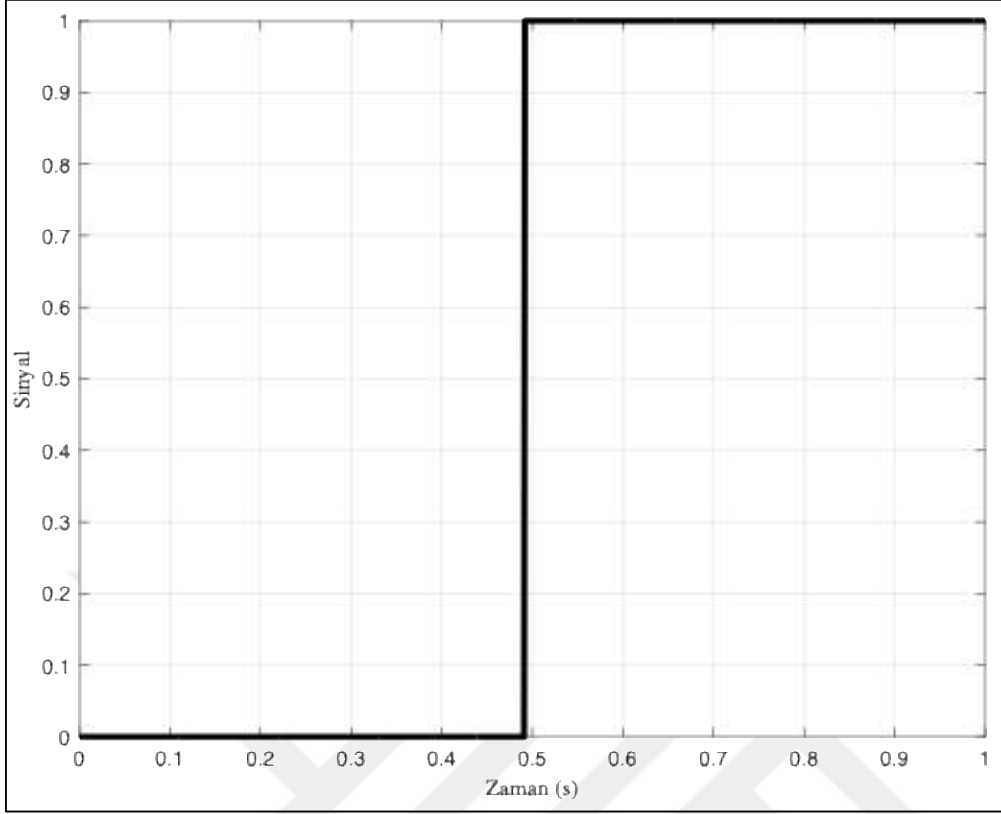
Şekil 4.3. Batarya gerilim seviyesi

Jeneratör-2'nin devreye alınması

Algoritma eş zamanlı olarak jeneratör-2 için kullanılan anahtarı aktif hale getirmek üzere "1" sinyali gönderir. Bu adım, jeneratör-2'nin sistemi beslemeye devam etmesini sağlar. Aşağıda sırasıyla jeneratör-2'nin gerilim seviyesi ve ilgili anahtarı süren sinyal için simülasyon sonuçları Şekil 4.4'te ve Şekil 4.5'te verilmiştir.



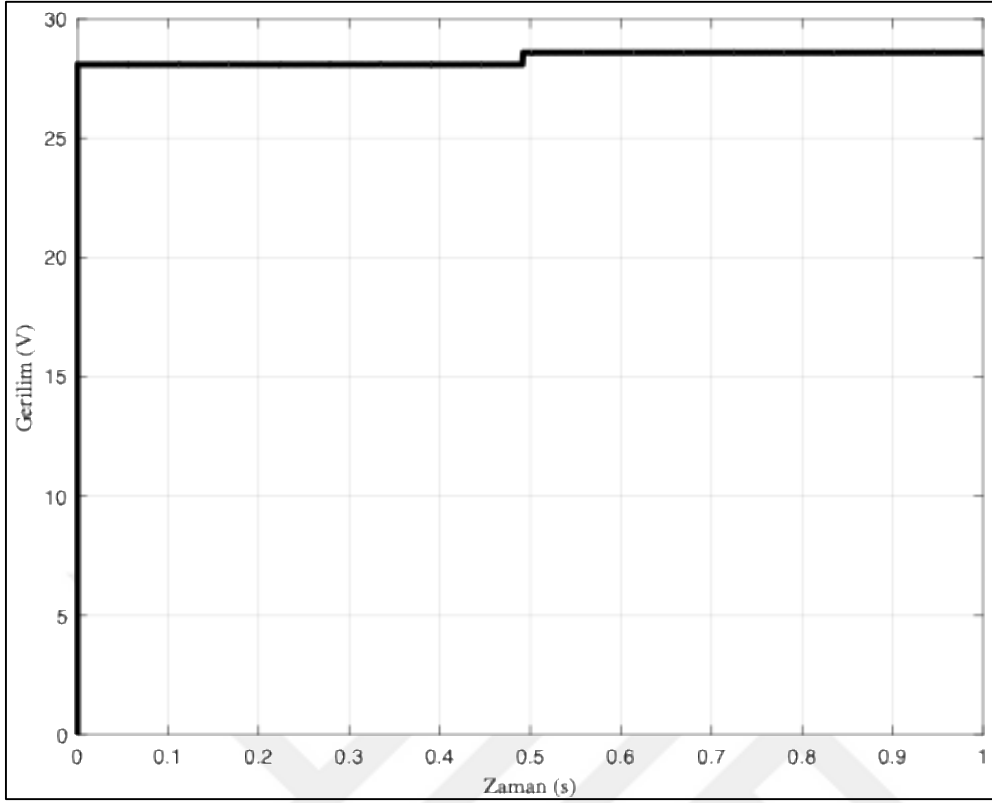
Şekil 4.4. Jeneratör-2 gerilim seviyesi



Şekil 4.5. Jeneratör-2 anahtarını süren sinyal

Bara gerilim seviyesinin korunması

Jeneratörler arasında bu geçiş sırasında bara gerilim seviyesi, herhangi bir düşüş yaşamadan sisteme güç sağlamaya devam eder. Bu geçiş öncesinde bara gerilimi jeneratör-1'in seviyesi ile uyumlu iken, geçiş sonrasında jeneratör-2'nin gerilim seviyesine ulaşır. Güç kaynakları arasındaki geçiş sırasında çıkış barasının gerilim seviyesi için simülasyon sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Güç kaynakları arası geçiş sırasında çıkış bara gerilimi

Bu yapı, sistemin arıza durumlarında nasıl işlediğini ve algoritmanın kararlılığını ve bu süreci başarılı bir şekilde yönettiğini aşamalar halinde gözler önüne sermektedir.

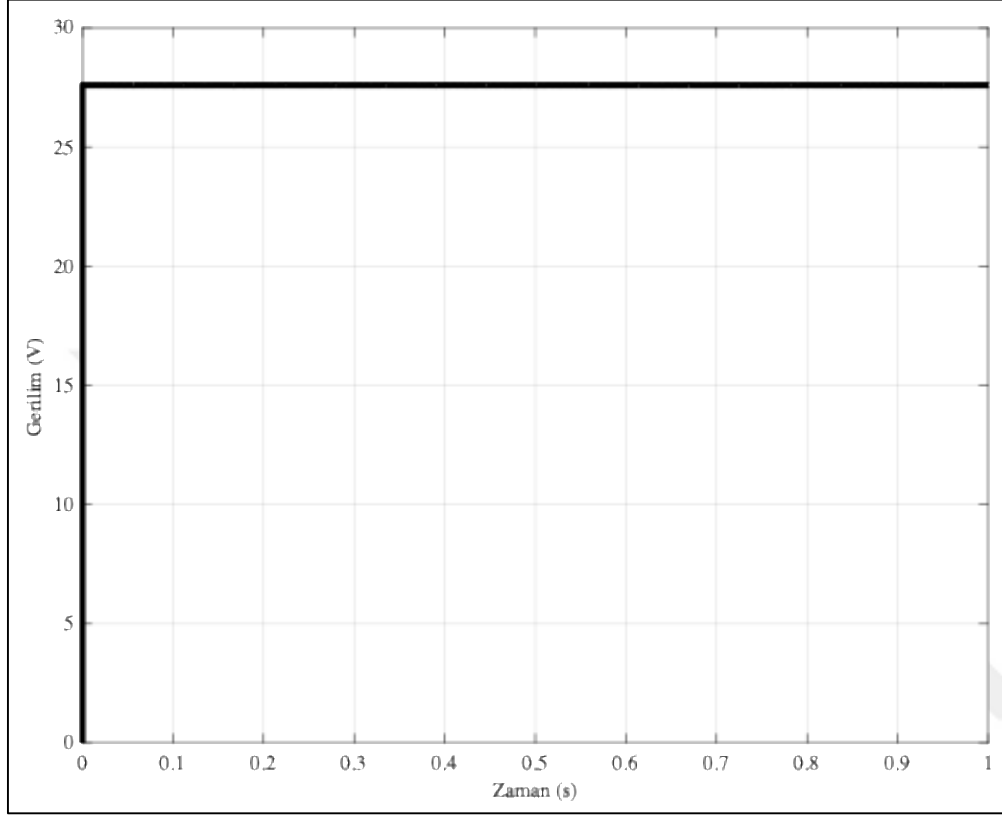
4.2. Çıkış Bara Gerilim Seviyesine Göre Yüklerin Yönetimi

Sistem sürekli olarak çıkış barasının gerilim seviyesini takip ederek, bara geriliminde görülen gerilimin düşüş seviyesine göre yükleri yönetmektedir. Normal çalışma koşulu altında çıkış barası gerilim seviyesinin kabul edilebilir değerlerde olması beklenmektedir. Güç kaynaklarının gerilim seviyesi yük çıkarmak için belirlenen eşik değerlerinin altına düşmesi durumunda ise kritik olmayan yükler sırasıyla sistemden çıkarılmaktadır.

Normal çalışma durumu

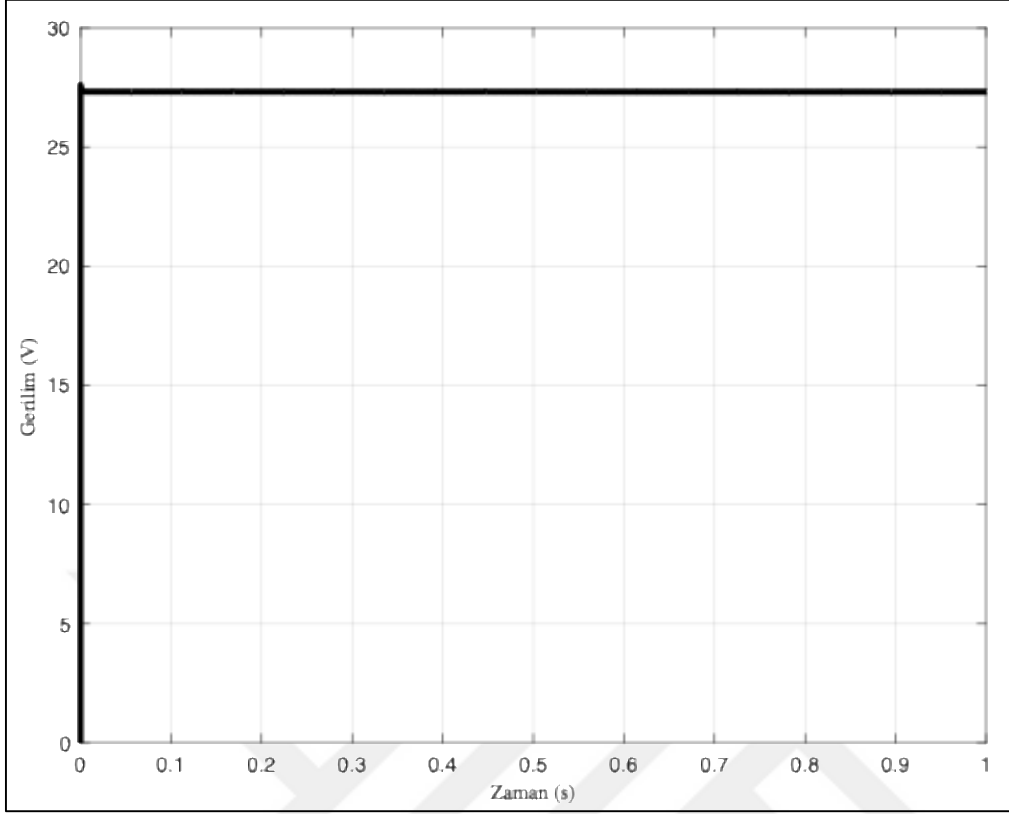
Normal çalışma durumu altında bara gerilimi beklenen değerde gerilime sahip ve hem kritik hem de kritik olmayan tüm bağlı yüklere güç sağlamaktadır. Bu aşamada gerilim kabul edilebilir çalışma aralığında sabit kalır ve yük çıkarma gerekmez. Bu ideal senaryo, sistem

performansını değerlendirmek ve sistemin herhangi bir müdahaleye gerek kalmadan sorunsuz bir Şekilde çalıŐtıęının gözlemlenebilmesi için önemlidir. Bu alıŐma koşulu altında çıkış barası gerilim seviyesi için simülasyon sonucu Şekil 4.7'de verilmiştir.

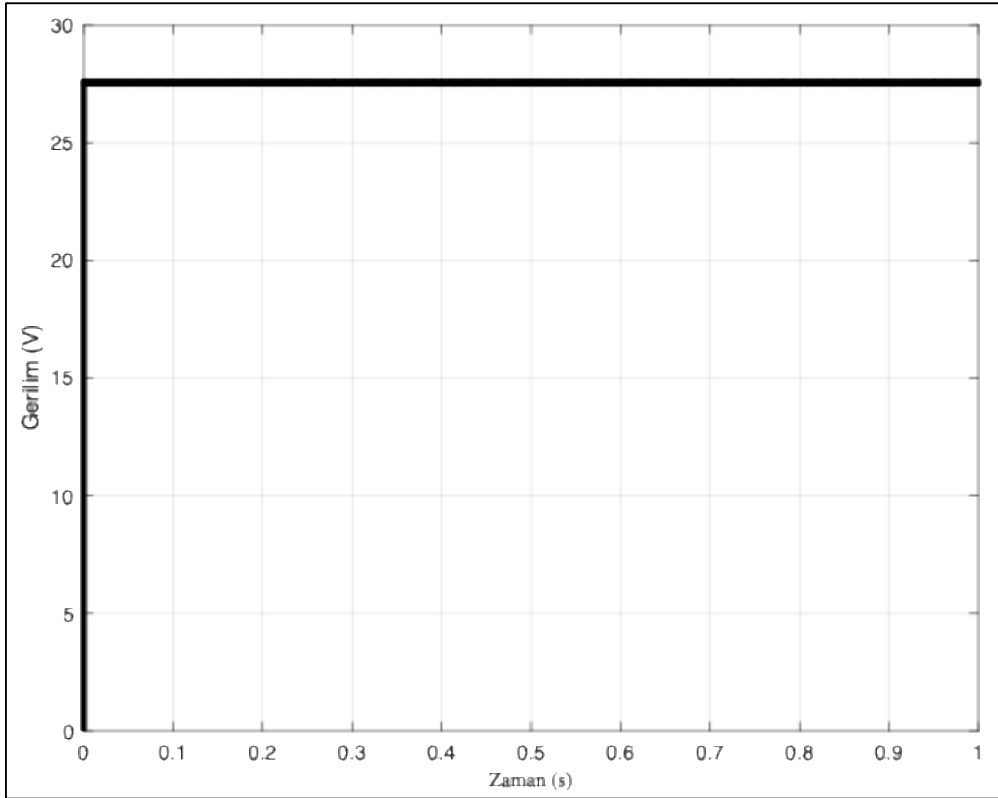


Şekil 4.7. Normal alıŐma koşulu altında çıkış bara gerilim seviyesi

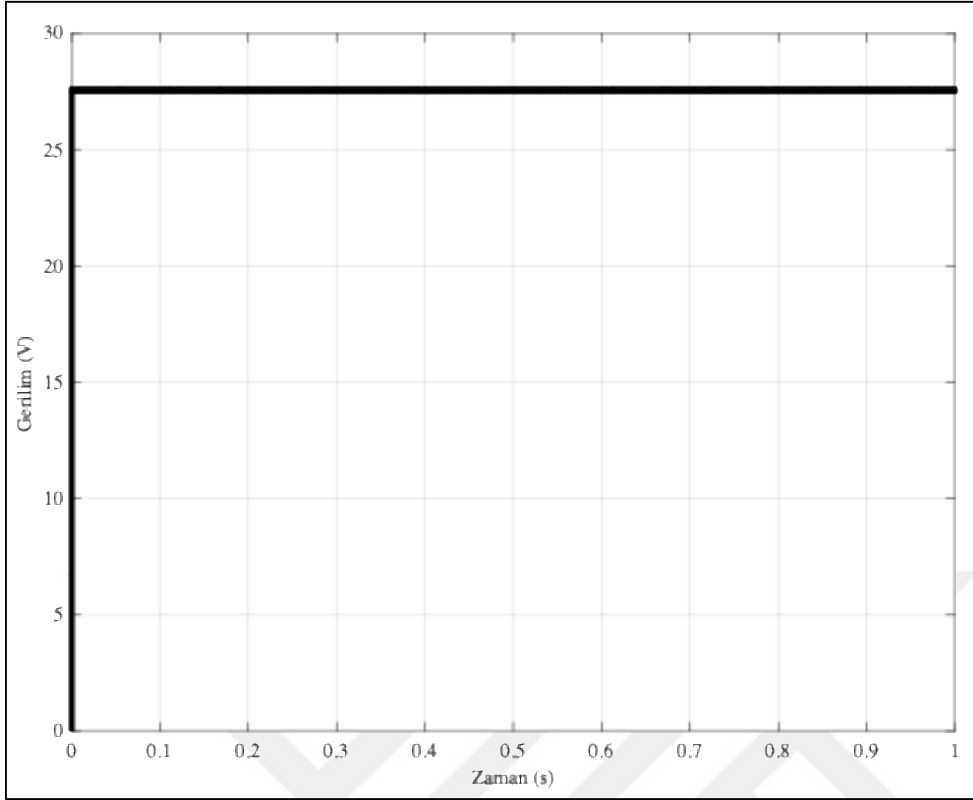
Normal alıŐma koşulu altında yüklerin, kritik ya da kritik olmayan ayırımı yapmaksızın beslenmeleri beklenmektedir. Bu koşul altında yüklerin gerilim seviyeleri için simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 4.8'de, Şekil 4.9'da, Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de verilmiştir.



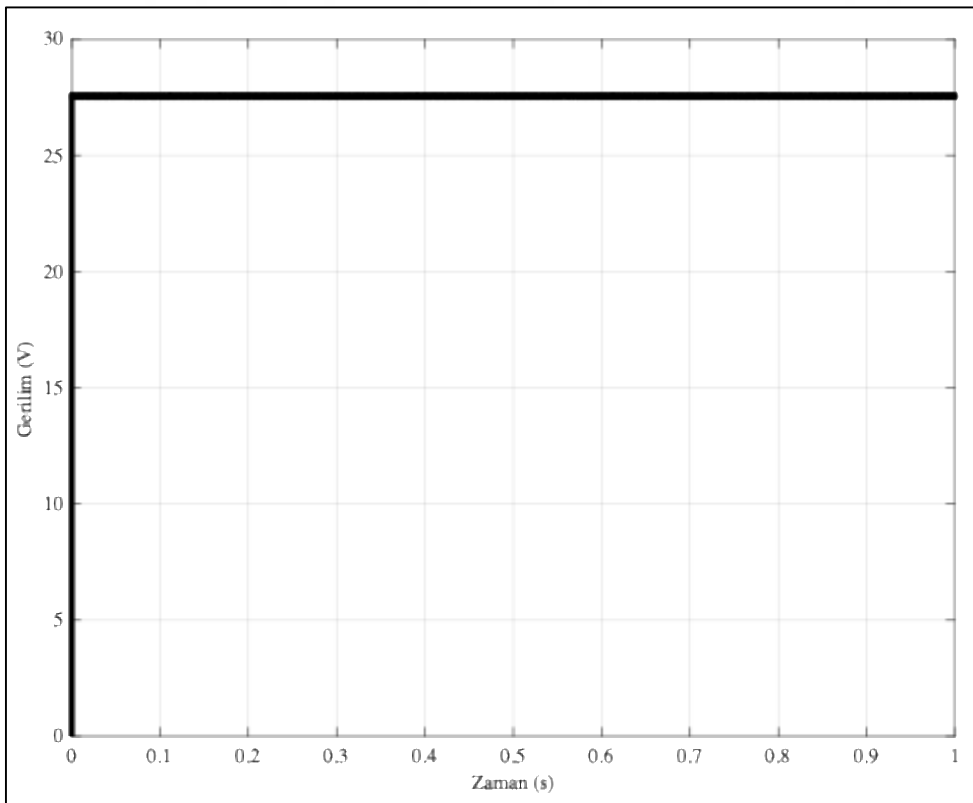
Şekil 4.8. Normal çalışma koşulu altında kritik yük-1'in (yakıt pompası) gerilim seviyesi



Şekil 4.9. Normal çalışma koşulu altında kritik yük-2'nin (aktüatör) gerilim seviyesi



Şekil 4.10. Normal çalışma koşulu altında kritik olmayan yük-3'ün (lamba) gerilim seviyesi



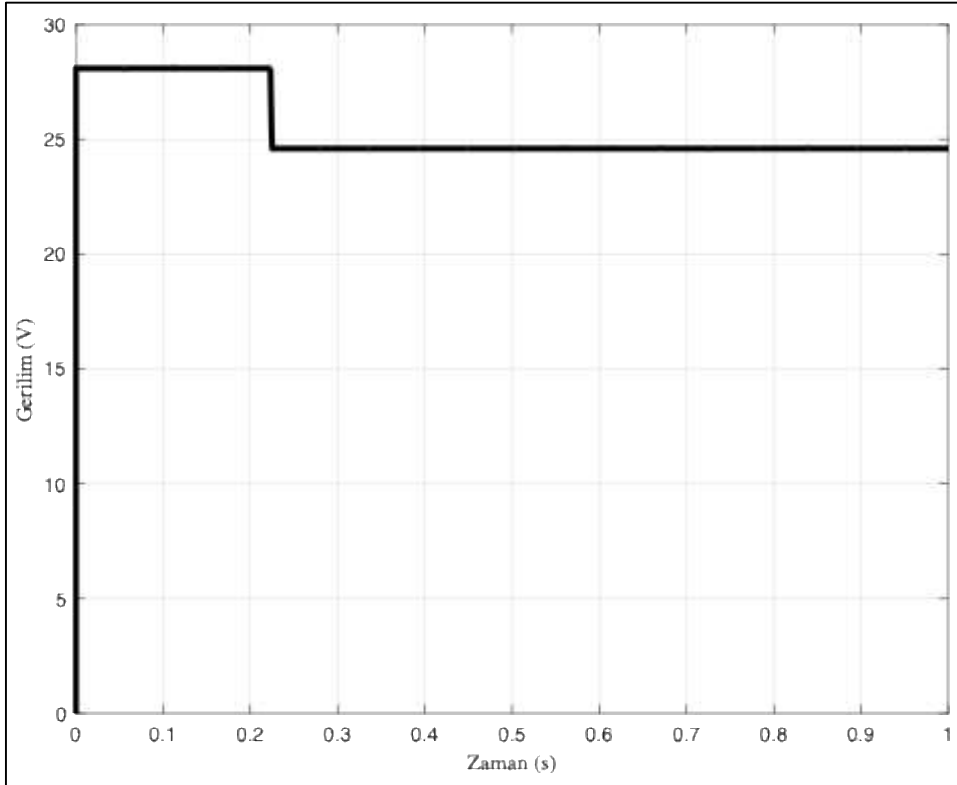
Şekil 4.11. Normal çalışma koşulu altında kritik olmayan yük-4'ün (iklimlendirme) gerilim seviyesi

Bu sonuçlar, normal çalışma koşulları altında sistemin kararlılığını başarıyla koruduğunu, çıkış bara geriliminin kabul edilebilir seviyelerde olduğunu ve herhangi bir kesinti olmaksızın tüm yüklerle sürekli güç verilmesini sağladığını göstermektedir.

Gerilim düşüşü ve kritik olmayan yük-3'ü devreden çıkarma

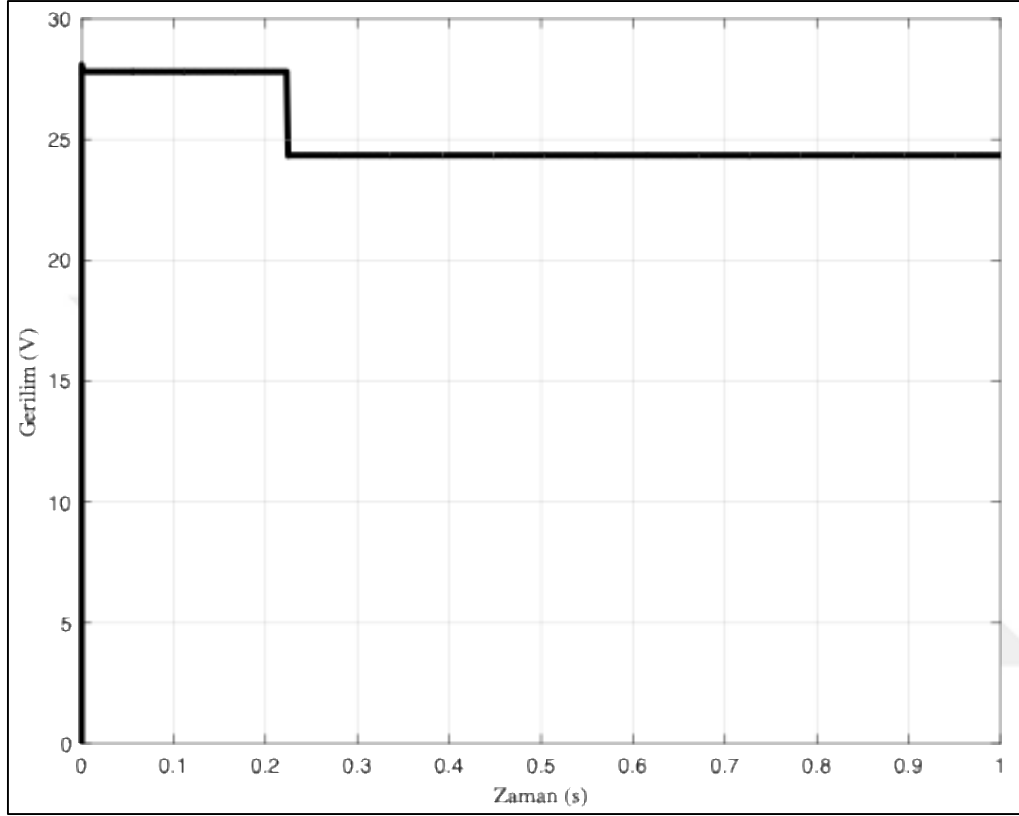
Bara gerilimi önceden tanımlanan 25V DC eşik değerinin altına düştüğünde, AYYŞ güç gerilimin daha fazla düşmesini önlemek için kritik olmayan yükleri sistemden çıkarırken, kritik yüklerin güç beslemesinin devamı için önceliklendirilmesini sağlar. Bu senaryoda, yük-3 atılacak ilk yük olurken, yük-4, baradaki gücün onu desteklemek için yeterli olması koşuluyla beslenmeye devam eder. Bu yaklaşım, kritik yüklerin sistemin arıza durumlarından etkilenmemesini ve beklendiği gibi çalışmaya devam etmelerini sağlamaktadır.

Güç kaynaklarındaki gerilim düşüşü sırasında çıkış barasının gerilim seviyesi de buna bağlı olarak düşmektedir. Bu gerilim düşüşü senaryosu için çıkış bara gerilimini yansıtan simülasyon sonucu Şekil 4.12'de verilmiştir.

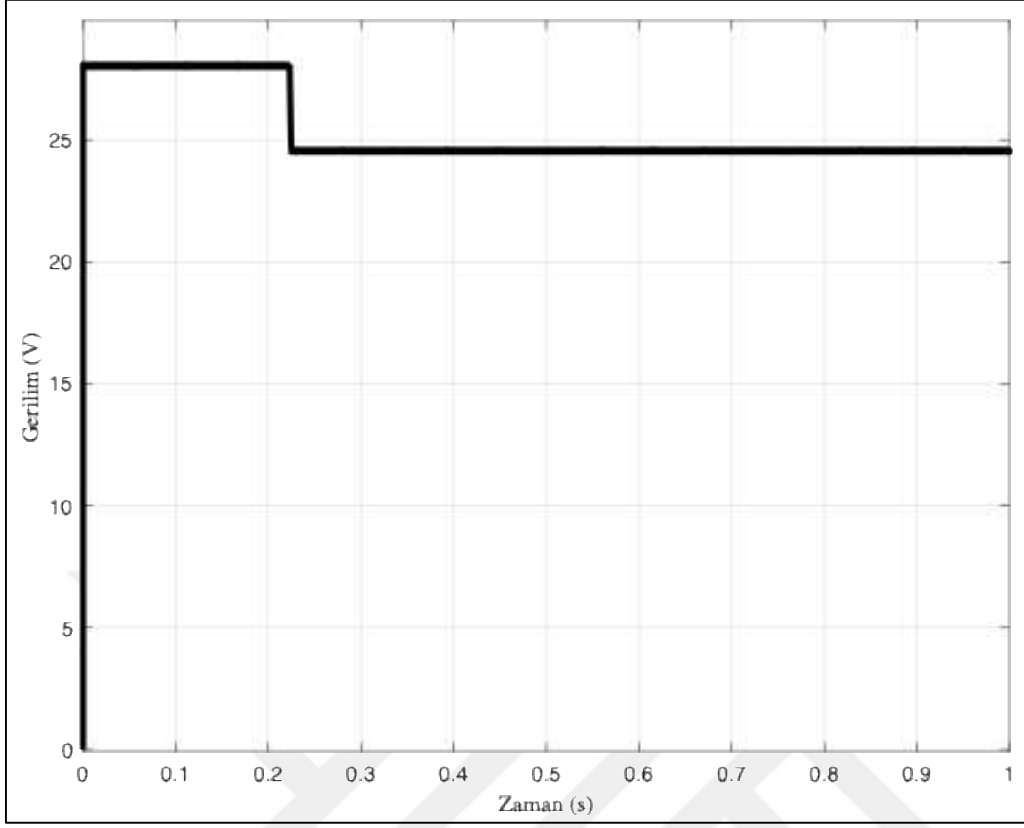


Şekil 4.12. Gerilim düşüşü sırasında çıkış bara gerilim seviyesi

Çıkış barasına yansıyan gerilim düşüşü sırasında kritik yüklerin durumdan etkilenmeden beslenmelerine devam etmeleri beklenirken kritik olmayan yüklerin de gerilim seviyesine göre beslemelerinin kesilmesi beklenmektedir. Kritik yüklerin (yük-1 ve yük-2) ilgili koşulda gerilim seviyeleri sırasıyla Şekil 4.13'te ve Şekil 4.14'te verilmiştir.

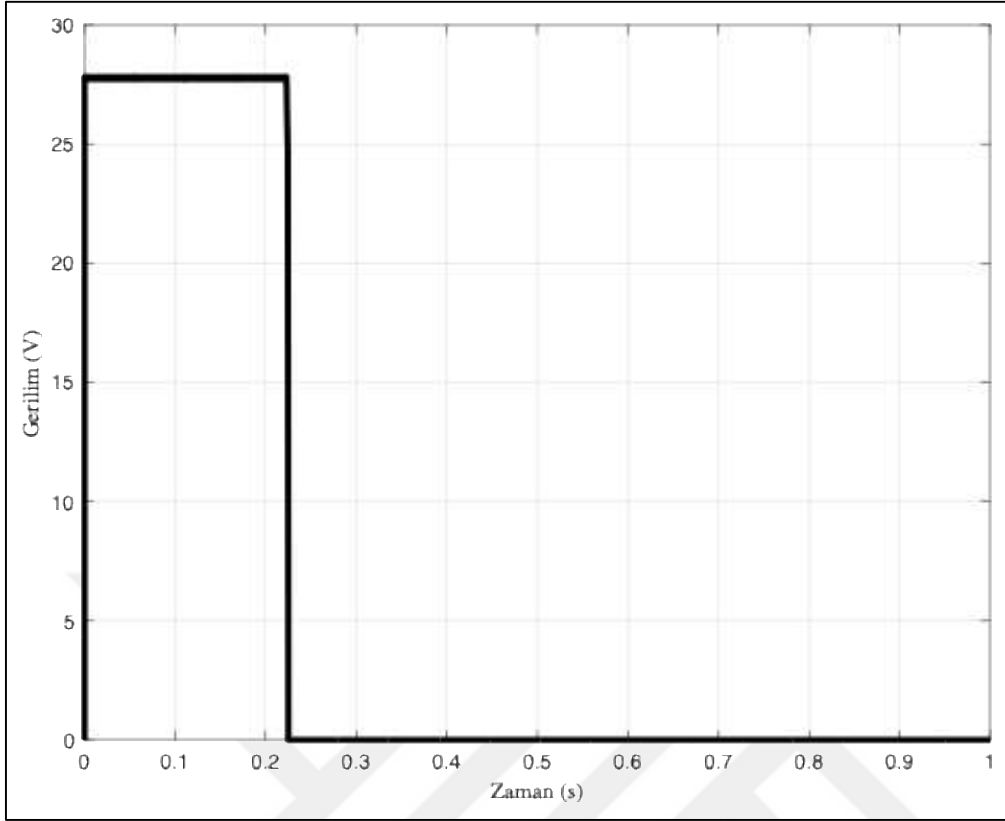


Şekil 4.13. Gerilim düşüşü sırasında kritik yük-1'in (yakıt pompası) gerilim seviyesi



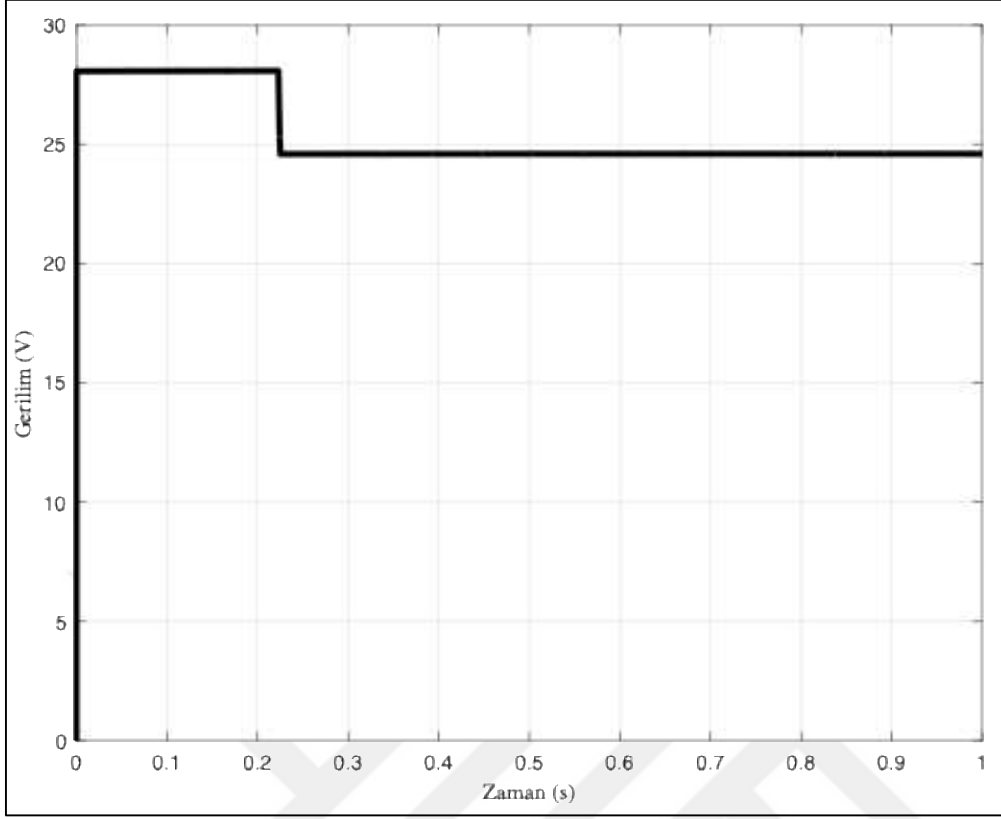
Şekil 4.14. Gerilim düşüşü sırasında kritik yük-2'nin (aktüatör) gerilim seviyesi

Bu senaryo kapsamında çıkış barasındaki gerilim seviyesi 25V eşik değerinin altına düşmüştür ancak bu değer, diğer yükün atılması için belirlenen eşik değeri 23V değerinin üzerindedir. Bu durumda kritik olmayan yüklerden biri (yük-3) devreden çıkartılarak bara üzerindeki toplam yükü etkili bir şekilde azaltarak sistemin dengelenmesine yardımcı olmaktadır. Yük-3'ün devreden çıkarıldığı koşul için simülasyon sonuçları Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. Gerilim düşüşü sırasında kritik olmayan yük-3'ün (lamba) gerilim seviyesi

Sistemin gücü yeterli görüldüğü için diğer kritik olmayan yük (yük-4) ise beslenmeye devam etmektedir. İlgili senaryo için yük-4'ün gerilim seviyesini gösteren simülasyon sonucu Şekil 4.16'da verilmiştir.

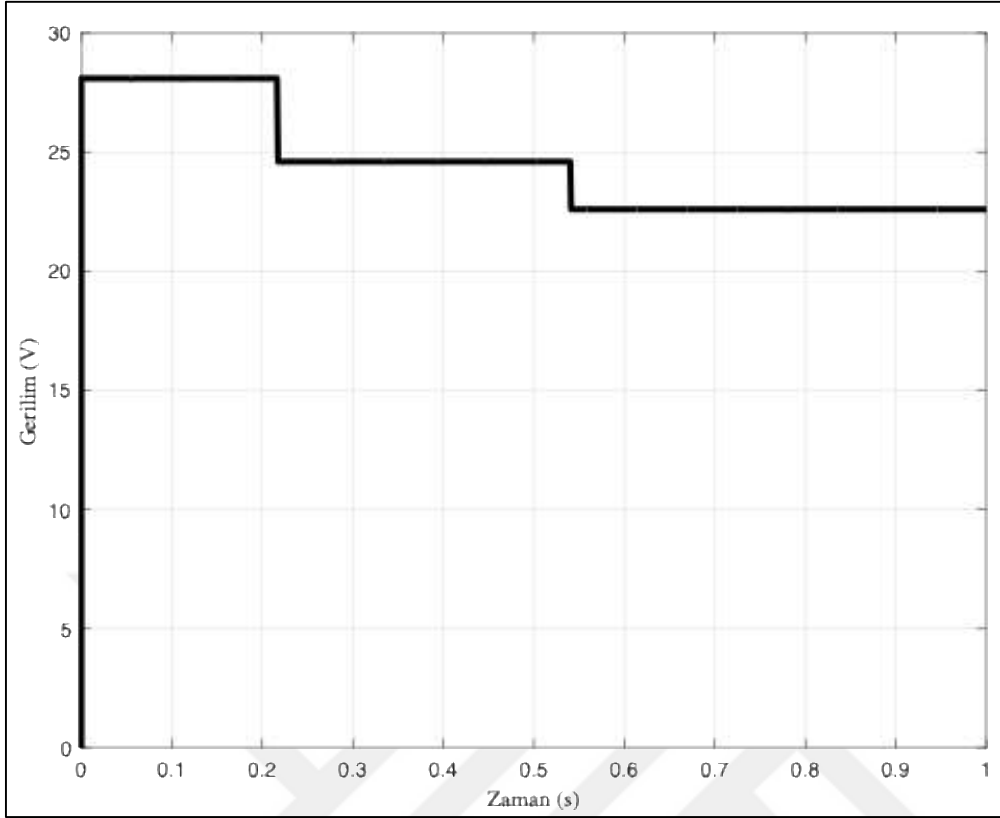


Şekil 4.16. Gerilim düşüşü sırasında kritik olmayan yük-4'ün (iklimlendirme) gerilim seviyesi

Sonuçlar, sistemin gerilim düşüşlerine yanıt olarak yük-3'ü etkili bir şekilde devreden çıkardığını ve bara üzerindeki toplam güç talebini azaltırken diğer yüklerin istikrarlı güç almaya devam etmesini sağladığını göstermektedir.

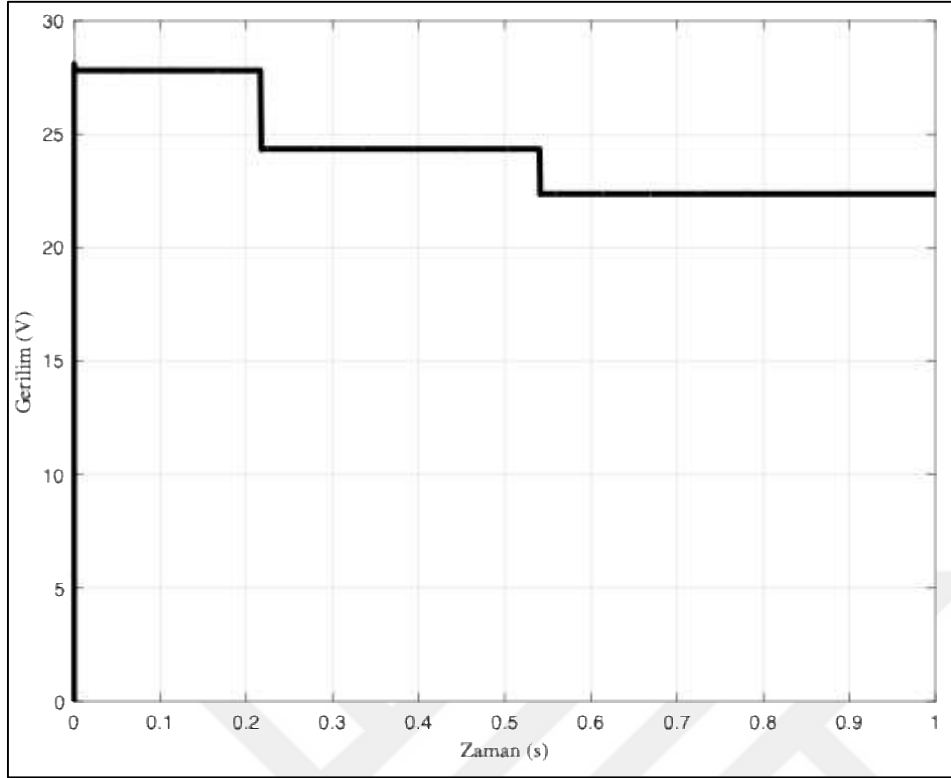
Devam eden gerilim düşüşü ve yük-4'ü devreden çıkarma

Bu senaryo kapsamında güç kaynaklarında gerilim düşüşü devam ederek 23V seviyesinin altına düşmektedir. Güç kaynaklarında devam eden gerilim düşüşü çıkış barasına da yansımaktadır. İlgili gerilim düşüşünün çıkış barasına etkisi için simülasyon sonucu Şekil 4.17'de verilmiştir.

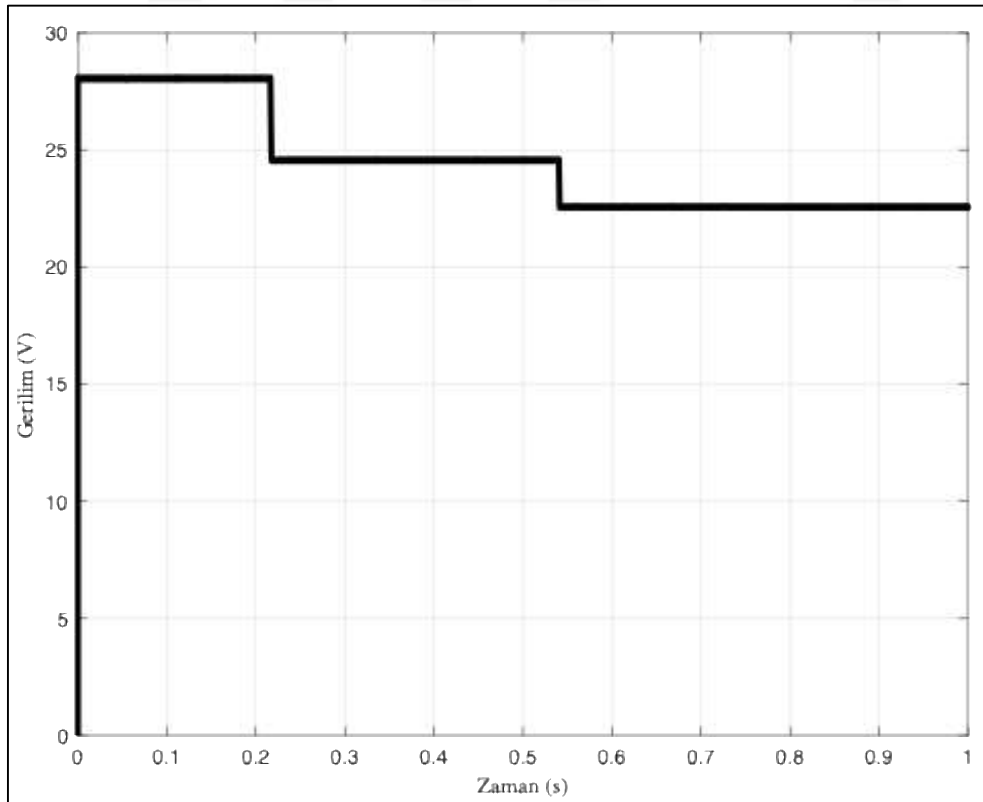


Şekil 4.17. Devam eden gerilim düşüşü sırasında çıkış bara gerilim seviyesi

Bu senaryo boyunca kritik olan yük-1'in ve yük-2'nin kesintisiz güç almaya devam etmesi ve böylece olumsuz koşullar altında bile sistemin kararlılığı korumuş olması beklenmektedir. Devam eden gerilim düşüşü sırasında kritik yüklerin beslenmeye devam ettiğini gösteren gerilim seviyeleri için simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 4.18'de ve Şekil 4.19'da verilmiştir.

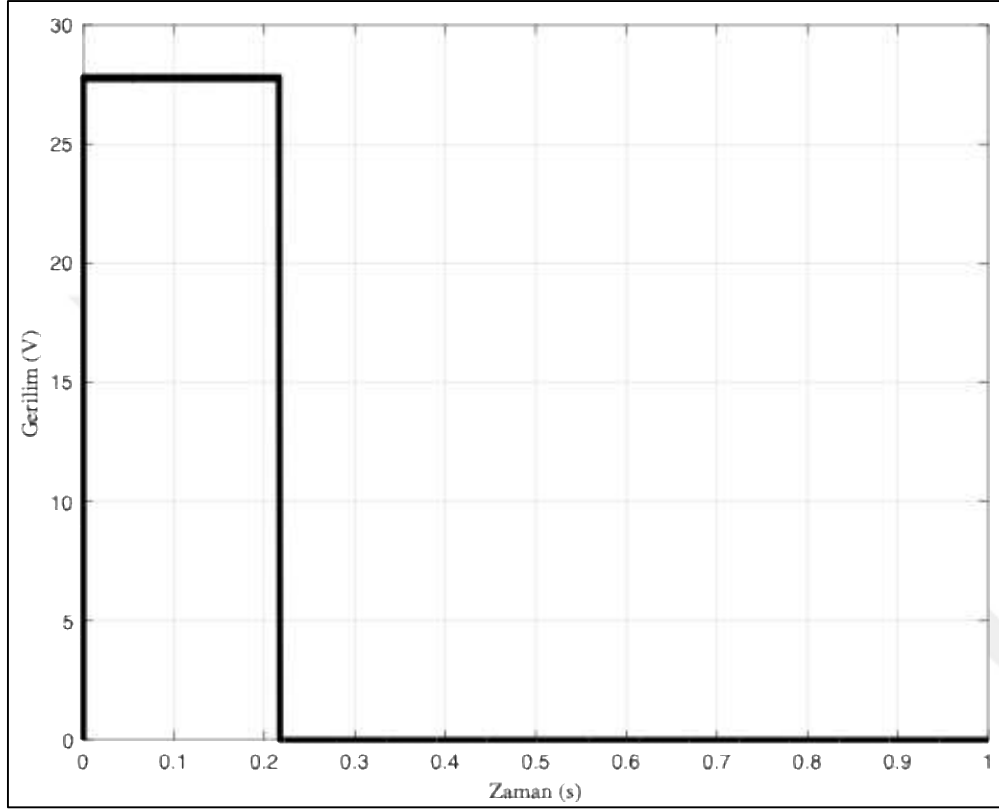


Şekil 4.18. Devam eden gerilim düşüşü sırasında kritik yük-1'in (yakıt pompası) gerilim seviyesi



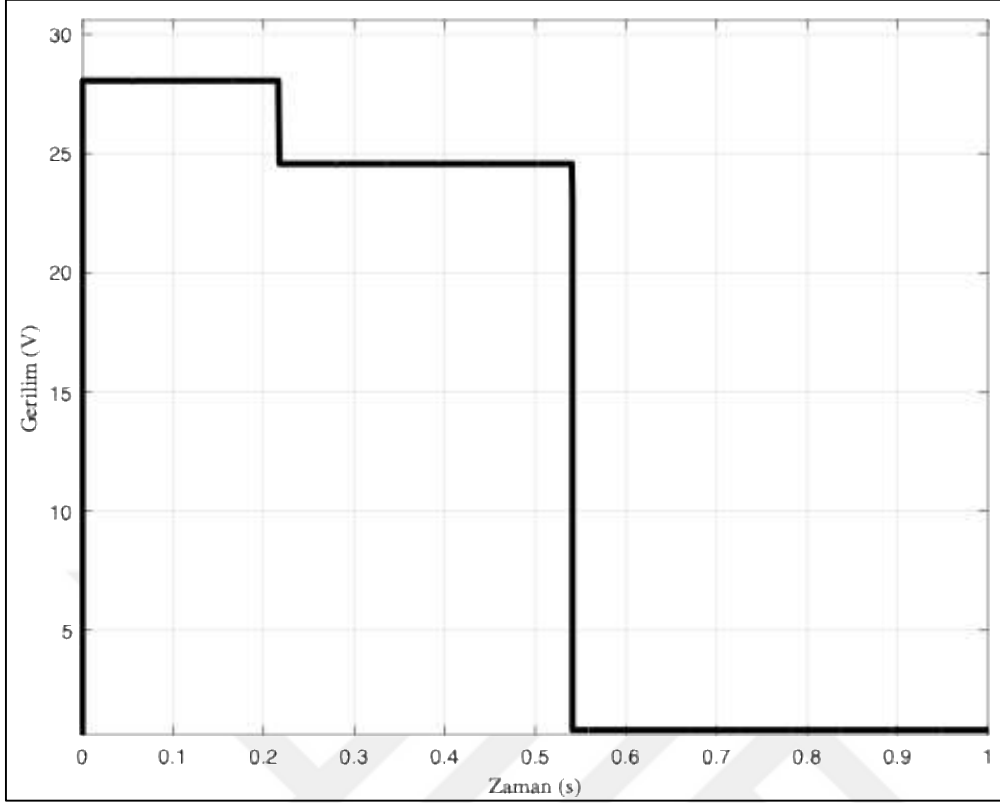
Şekil 4.19. Devam eden gerilim düşüşü sırasında kritik yük-2'nin (aktüatör) gerilim seviyesi

Bir önceki senaryoda çıkış bara gerilimi 25V değerinin altına düştüğünde kritik olmayan yük-3 devreden çıkarılmıştı. Bu senaryo kapsamında da gerilim düşüşü devam ettiği için yük-3 bu aşamada da çalışmamaktadır. Yük-3'ün devam eden gerilim düşüşü altındaki gerilim seviyesi için simülasyon sonuçları Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Devam eden gerilim düşüşü sırasında kritik olmayan yük-3'ün (lamba) gerilim seviyesi

AYYS, gerilim düşümü devam ederken güç kaynakları üzerindeki yükü azaltmak için kritik olmayan yük-4'ü de atarak daha fazla önlem alır. Bu sayede sistem, kritik olmayan yükleri kademeli olarak atarak gücün kritik yükler için kullanılabilir kalmasını sağlar. Bu durumda yük-4'ün gerilim seviyesi için simülasyon sonucu Şekil 4.21'de verilmiştir.



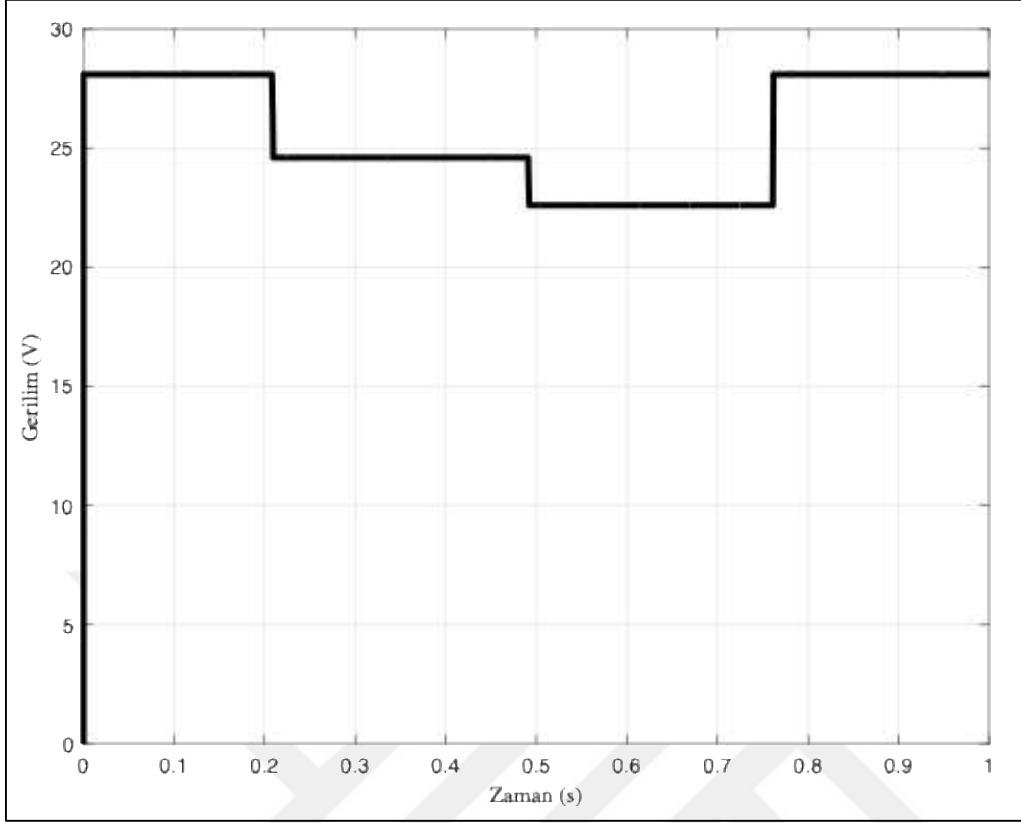
Şekil 4.21. Devam eden gerilim düşüşü sırasında kritik olmayan yük-4'ün (iklimlendirme) gerilim seviyesi

Sonuçlar, devam eden gerilim düşümünün izlenmesiyle birlikte yük-4'ün başarılı bir şekilde devreden çıkarıldığını ve böylece güç kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanıldığını ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, kritik olmayan yüklerin devreden çıkarılması sayesinde, kritik yüklerin kesintisiz olarak beslenmesinin sağlandığı gösterilmektedir.

Güç kaynağı arızalarının giderilmesi ve normal çalışma durumuna dönüş

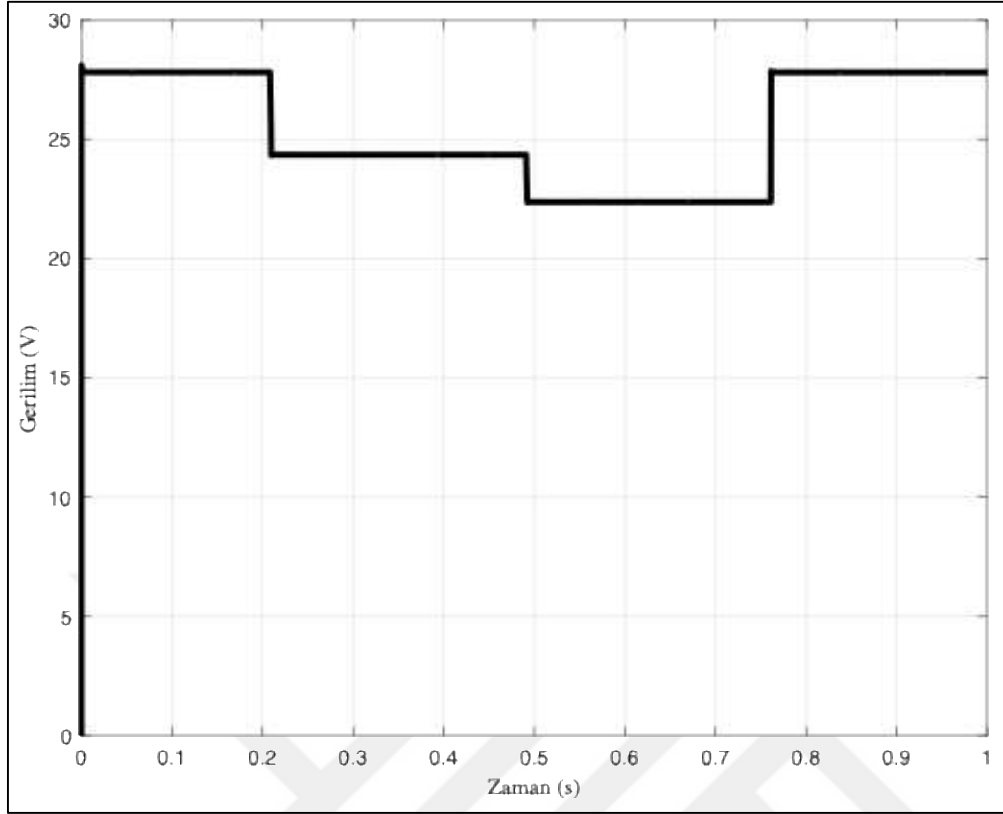
Sistem, arıza durumlarını yönetme kabiliyetine ek olarak, arızaların giderilmesiyle birlikte hızla normal çalışma koşullarına uyum sağlayabilmesi beklenmektedir. Bu sayede yükleri yeniden devreye alarak kesintisiz ve verimli bir yönetim sağlaması hedeflenmektedir.

Sistemdeki güç kaynağı arızalarının giderilmesi sonrası çıkış barasının gerilim seviyesinin normale dönüşü beklenmektedir. Arıza sonrası çıkış barasının normal gerilim seviyesine yükseldiği ve sistemin stabil hale geldiği bu aşama Şekil 4.22'de verilmiştir.

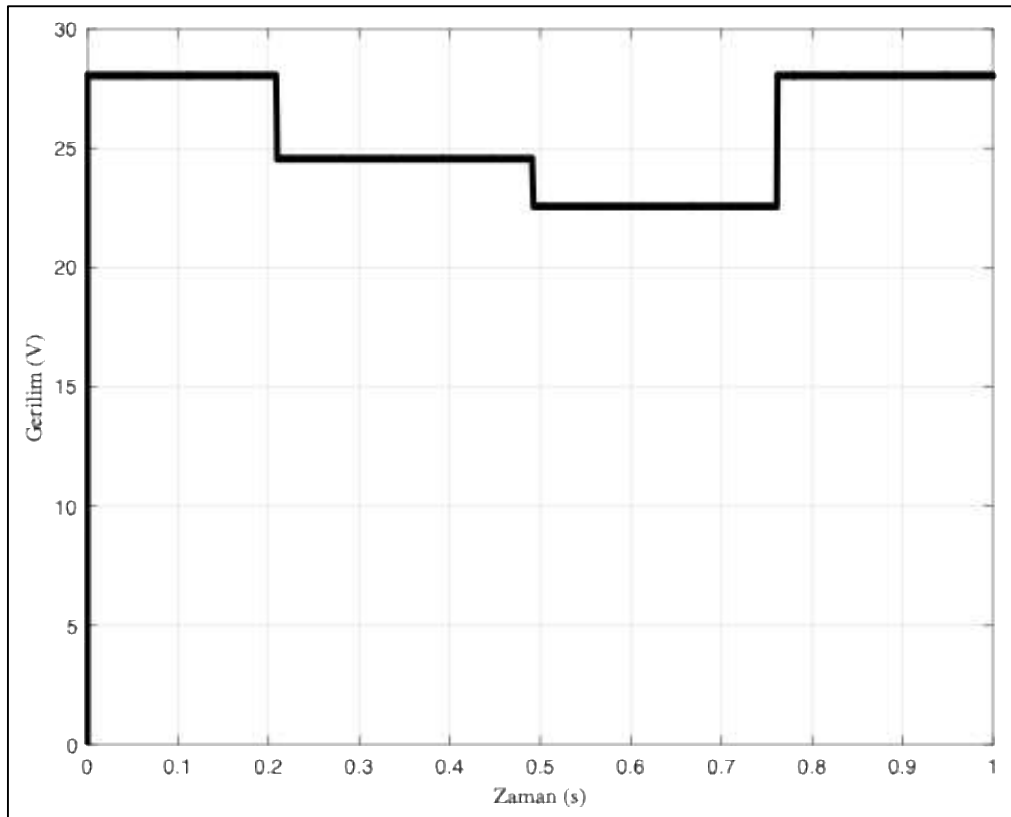


Şekil 4.22. Arıza sonrası normal çalışma durumunda çıkış bara gerilim seviyesi

Sistemin güç kaynağı arızalarına rağmen kritik yükler sürekli olarak beslenmektedir ve normal çalışma koşuluna döndüğünde de bu durumun devam etmesi beklenmektedir. Bu koşul altında kritik olan yük-1 ve yük-2'nin gerilim seviyeleri sırasıyla Şekil 4.23'te ve Şekil 4.24'te verilmiştir.

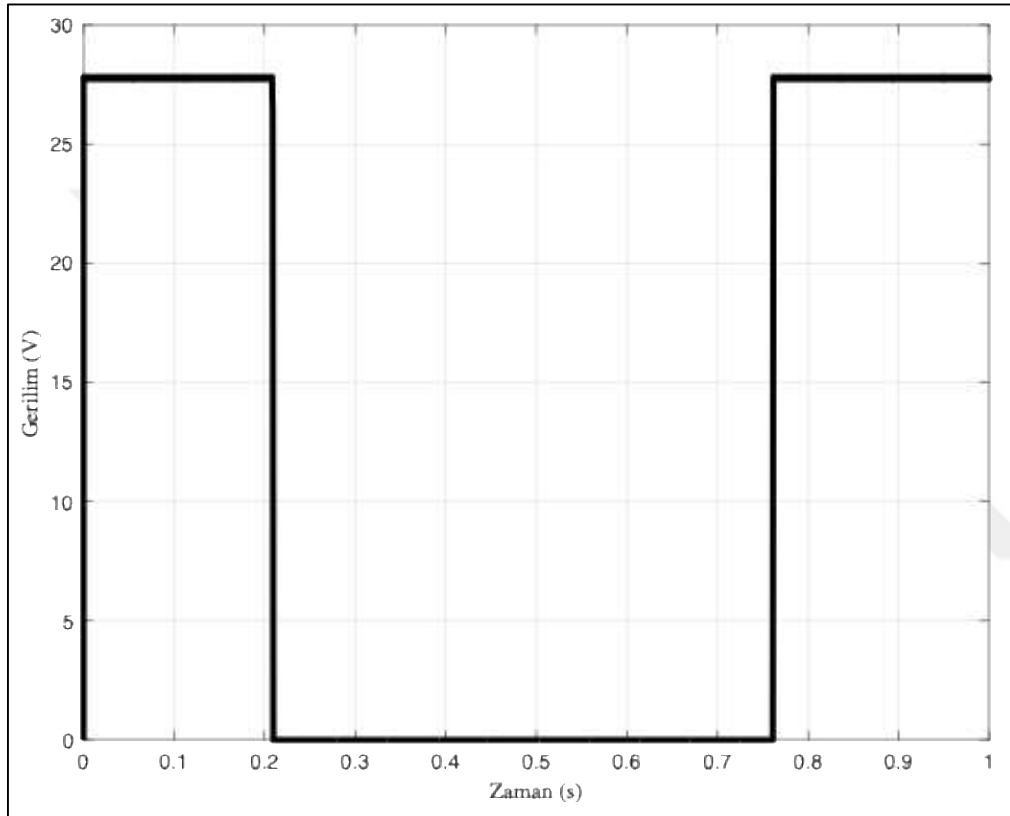


Şekil 4.23. Arıza sonrası normal çalışma durumunda kritik yük-1'in gerilim seviyesi

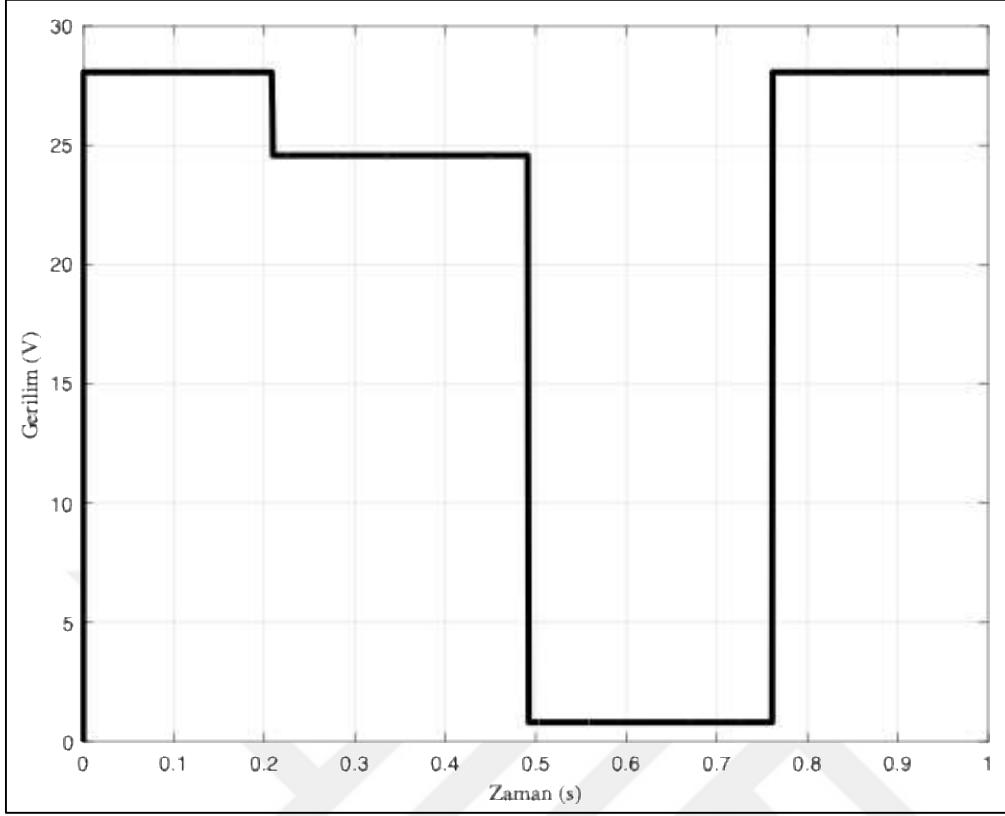


Şekil 4.24. Arıza sonrası normal çalışma durumunda kritik yük-2'nin gerilim seviyesi

Çıkış bara voltajının normale dönmesiyle birlikte kritik olmayan yük-3'ün ve yük-4'ün tekrar devreye alınmaları beklenmektedir. Bara voltajındaki düşüş sırasında bu yüklerin kademeli olarak devreden çıkması, güç kaynaklarının aşırı yüklenmesini engellemekte ve arıza sonrası yeniden beslenmeleri mümkün kılmalıdır. Kritik olmayan yüklerin arıza durumu sonrası gerilim seviyelerindeki değişim sırasıyla Şekil 4.25'te ve Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.25. Arıza sonrası normal çalışma durumunda kritik yük-3'ün gerilim seviyesi



Şekil 4.26. Arıza sonrası normal çalışma durumunda kritik yük-4'ün gerilim seviyesi

Bu senaryo ile, elektrikli uçaklar için geliştirilen akıllı yük yönetim sisteminin, güç kaynağı arızalarının giderilmesi durumunda nasıl bir performans sergilediği ve sistemin, yükleri önceliklerine göre nasıl yönettiği ele alınmıştır. Arızaların giderilmesiyle birlikte çıkış barası gerilim seviyesinin normale dönmesi ve yüklerin bu süreçteki davranışları, sistemin esnekliğini ve verimliliğini ortaya koymaktadır. Grafikler aracılığıyla, kritik yüklerin kesintisiz beslendiği, kritik olmayan yüklerin ise sistemin dengesi sağlandıkça tekrar devreye alındığı süreç detaylı olarak incelenmektedir.

Bu makalede önerilen AYYŞ, Elektrikli uçaklarda güç dağıtımını yönetmek için oldukça etkili bir çözüm sunmaktadır. Sistem, gelişmiş kontrol stratejilerini ve gerçek zamanlı izlemeyi bir araya getirerek, mevcut enerjinin kullanımını optimize ederken, arızalar sırasında bile kritik yüklerle her zaman güç verilmesini sağlar. Sistemin güç kaynaklarını dinamik olarak yönetme, kritik olmayan yükleri çıkarma ve sistem istikrarını koruma yeteneği, onu yeni nesil sürdürülebilir ve verimli Elektrikli uçaklar için çok önemli bir bileşen haline getirmektedir.

4.3. Geleneksel Yük Yönetim Sistemleri ile Karşılaştırmalı Analiz

AYYS'nin avantajlarını değerlendirmek için geleneksel yük yönetimi yaklaşımlarıyla bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma üç temel performans ölçütüne odaklanmaktadır: güç kullanımı, yanıt süresi ve sistem kararlılığı.

Güç kullanımı

Sistem, sistemden gelen gerçek zamanlı verilere dayanarak güç dağılımını dinamik olarak ayarlar ve kritik sistemlere güç sağlamak için gerektiğinde kritik olmayan yükleri atar. Bu, gücün en iyi şekilde kullanılmasını sağlar ve enerji israfını önlemeye yardımcı olur. Buna karşılık, geleneksel sistemler tipik olarak yük çıkarma için önceden tanımlanmış programları takip eder ve bu programlar gerçek zamanlı gerilim dalgalanmalarına yanıt vermeyebilir. Bu durum genellikle verimsiz güç kullanımına yol açar ve sistem aşırı yüklenmelerini önlemek için kritik olmayan yükler zamanında atılamayabilir.

Tepki süresi

Sistemin gerilim düşüşlerine tepkisi neredeyse anlıktır, çünkü gerilim eşiği aşılar aşılmaz kritik olmayan yükleri atar. Bu, gerilim düşüşü durumunda bile kritik yüklere herhangi bir kesinti olmadan güç sağlanmasını sağlar.

Geleneksel Sistemler: Geleneksel sistemler genellikle manuel müdahale veya daha yavaş otomatik sistemler nedeniyle gecikmeli yanıtlardan muzdariptir. Bu gecikme gerilim dengesizliğini daha da kötüleştirebilir ve sistem arızasına veya kritik yüklerde güç kaybına yol açabilir.

Sistem kararlılığı

Sistemin dinamik yapısı, kritik sistemlerin her zaman çalışır durumda kalmasını sağlamak için kritik olmayan yükleri kademeli olarak azaltarak istikrarı korumasına olanak tanır. Kritik yüklere öncelik verme ve güç tüketimini yönetme yeteneği, sistem istikrarını korumada oldukça etkili kılar.

Geleneksel sistemler

Genellikle sabit programlara veya manuel kontrole dayanan geleneksel sistemler, ani gerilim düşüşlerine veya yük talebindeki değişikliklere uyum sağlayamayabilir. Bu durum istikrarsızlığa yol açabilir ve kritik sistemler arıza durumlarında güç kaybedebilir.

4.4. Ölçeklenebilirlik ve Sürdürülebilirlik Üzerine Tartışma

AYYS ölçeklenebilirlik ve sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Sistem, küçük uçaklardan daha büyük, daha karmaşık güç üretim sistemlerine kadar çok çeşitli elektrikli uçak konfigürasyonlarını idare edecek şekilde tasarlanmıştır. Esnekliği, yeni nesil uçak mimarilerinin artan talepleri için çok uygun olmasını sağlar.

Ölçeklenebilirlik: YYS, birden fazla jeneratör ve daha fazla sayıda yük içeren daha büyük sistemlere uyarlanabilir ve ölçekten bağımsız olarak verimli yük yönetimi sağlar. Sistem, performanstan ödün vermeden modern elektrikli uçak mimarilerinin artan güç taleplerini karşılamak için kolayca ölçeklenebilir.

Sürdürülebilirlik: Sistem, kritik olmayan yükleri dinamik olarak atarak jeneratörün kapasitesinin en iyi şekilde kullanılmasını sağlar ve çalışma ömrünü uzatır. Bu, gereksiz enerji tüketimini azaltır ve uçağın elektrik altyapısının genel sürdürülebilirliğine katkıda bulunur.

5. TARTIŞMA

Tartışma bölümü, araştırma bulgularının ayrıntılı bir yorumunu sunmakta, önceki çalışmalarla karşılaştırmakta ve sonuçların çıkarımlarını araştırmaktadır. Bu bölüm, önerilen akıllı yük yönetim sisteminin katkılarını vurgulamakta, kısıtlamalarını ele almakta ve gelecekteki araştırmalar için alanlar önermektedir.

5.1. Önceki Çalışmalarla Karşılaştırma

Bu tezde önerilen akıllı yük yönetim sistemi, gerilim düşüşleri sırasında kritik yüklerle dinamik olarak öncelik veren ve kritik olmayan yükleri sistemden çıkartan gelişmiş kontrol mekanizmalarını içermektedir. Elektrikli uçaklar için güç yönetimi alanındaki önceki çalışmalar, öncelikle yük çıkarma için önceden tanımlanmış kurallara dayanan statik sistemlere odaklanmıştır. Bu geleneksel sistemler tipik olarak, güç seviyeleri belirli bir eşğin altına düştüğünde, genellikle jeneratörlerin gerçek zamanlı sağlığını veya diğer kritik faktörleri dikkate almadan, kritik olmayan yüklerin kapatılmasını içerir.

Buna karşılık, bu tezde geliştirilen sistem, jeneratörlerin ve bataryanın sağlığına bağlı olarak yük dağılımını dinamik olarak ayarlamak için gerilim, akım ve güç sensörlerinden gelen gerçek zamanlı verileri dikkate almaktadır. Bu dinamik yük yönetimi yaklaşımı, mevcut gücün daha uyarlanabilir ve verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanıyarak kritik yüklerin güç sınırlaması koşullarında bile çalışmaya devam etmesini sağlar. Simülasyon sonuçları, bu yaklaşımın sistemin kararlılığını artırdığını ve geleneksel yöntemlere kıyasla genel güç kullanımını geliştirdiğini doğrulamaktadır.

5.2. Sonuçlardaki Paralellikler ve Farklılıklar

Önerilen sistem, gerilim eşiklerine dayalı yük çıkarma açısından önceki araştırmalarla uyumlu olsa da yük önceliklendirme yaklaşımında önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Çoğu geleneksel sistemde, gerilim belirli bir eşğin altına düştüğünde kritik olmayan yükler basitçe kapatılır ve bu da sistem operasyonlarında potansiyel kesintilere yol açar. Ancak bu çalışmada sistem, yüklerin kritikliğine bağlı olarak yük çıkarmaya dinamik olarak öncelik vermektedir. Örneğin, bara gerilimi belirli bir eşğin altına düşerse, öncelikli olan kritik

yükler (yakıt pompası ve aktüatör) her zaman beslenirken, kritik olmayan yükler (lamba ve iklimlendirme) kritikliklerine göre kademeli olarak kesilir.

Bu öncelikli yaklaşım sadece sistem verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda güç dalgalanmaları sırasında bile kritik sistemlerin her zaman enerjili kalmasını sağlayarak operasyonel sürekliliği de geliştirir. Simülasyon sonuçları, önerilen sistemin kritik yüklerle istikrarlı bir tedarik sağlayabildiğini, kritik olmayan yüklerin ise kontrollü bir şekilde kademeli olarak kesildiğini göstermektedir.

5.3. Sistem Tasarımı için Çıkarımlar

Bu araştırmanın sonuçları, elektrikli uçaklardaki güç dağıtım sistemlerinin tasarımı için önemli çıkarımlara sahiptir. Gerçek zamanlı güç koşullarına ve jeneratör sağlığına dayalı olarak yük çıkarmayı dinamik olarak yönetme yeteneği, elektrikli uçak güç sistemlerinin güvenilirliğini ve verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Ani güç düşüşlerinden kaynaklanan sistem arızalarını önleyerek ve kritik sistemlerin her zaman güce sahip olmasını sağlayarak, bu yaklaşım daha fazla sistem esnekliğine katkıda bulunur.

Özellikle, gerçek zamanlı gerilim ve akım izlemenin entegrasyonu, güç sorunlarının erken tespit edilmesine olanak tanıyarak sistemin kritik arızalar meydana gelmeden önce düzeltici önlemler almasını sağlar. Bu, sistemi arıza koşullarını ele almada daha sağlam hale getirir ve genellikle güç kaynağındaki gerçek zamanlı değişikliklere yanıt veremeyen statik yük çıkarma sistemlerine göre önemli bir gelişme sunar.

5.4. Sistem Sınırlamaları ve Gelecekteki Araştırma Alanları

Umut verici sonuçlara rağmen, önerilen sistemde gelecekteki araştırmalarda ele alınması gereken birkaç sınırlama vardır. Temel sınırlamalardan biri, çoklu güç kaynakları, röleler ve gerçek zamanlı izleme bileşenleri içeren sistemin karmaşıklığıdır. Bu karmaşıklık sistemin uyarlanabilirliğini artırırken, maliyet, kurulum ve bakım açısından da zorluklar ortaya çıkarmaktadır.

Ayrıca, gerilim ve akım sensörlerinin doğruluğu, sistem performansını doğrudan etkileyen kritik bir unsurdur. Gelecekte yapılacak araştırmalar, bu sensörlerin hassasiyetini artırmaya

odaklanarak, yük çıkarma kararlarındaki hata payını azaltmak için daha gelişmiş veri işleme algoritmalarının geliştirilmesini hedefleyebilir. Bunun yanı sıra, ek güç depolama kapasitesi sağlamak ve genel sistem güvenilirliğini artırmak amacıyla, süper kapasitörler veya hibrit enerji depolama sistemleri gibi ileri teknolojilere dayalı çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Gelecekteki çalışmalar için bir başka alan da öngörücü yük yönetimi için makine öğrenimi algoritmalarının entegrasyonudur. Bu algoritmalar geçmiş verileri analiz ederek yük modellerini tahmin edebilir ve güç dağıtım stratejisini buna göre ayarlayabilir. Bu, güç talebini öngörerek ve kaynakları proaktif olarak yöneterek sistemin performansını daha da optimize edecektir.

Sonuç olarak, bu tartışma elektrikli uçaklar için önerilen akıllı yük yönetim sisteminin yenilikçi yönlerini vurgulamıştır. Sistemin dinamik yük çıkarma ve gerçek zamanlı güç izleme özelliği, kritik sistemlerin arıza koşullarında çalışmaya devam etmesini sağlarken, kritik olmayan yükler güç tasarrufu için verimli bir şekilde atılır. Geleneksel yük yönetimi teknikleriyle karşılaştırıldığında, önerilen sistem gelişmiş güvenilirlik, verimlilik ve sürdürülebilirlik sunmaktadır.

Bununla birlikte, bu yaklaşımın potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için, sistem doğruluğunu artırmak, karmaşıklığı azaltmak ve makine öğrenimi ve enerji depolama çözümleri gibi gelişmiş teknolojileri dahil etmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu iyileştirmeler, havacılık endüstrisinde daha akıllı, daha güvenilir ve sürdürülebilir güç yönetim sistemlerinin gelecekte geliştirilmesi için çok önemli olacaktır



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, modern havacılıkta verimli, güvenilir ve sürdürülebilir güç dağıtımına yönelik kritik ihtiyacı ele alarak Elektrikli uçaklar için bir Akıllı Yük Yönetim Sisteminin tasarımını ve uygulamasını sunmaktadır. Araştırmanın birincil amacı, kritik olmayan yükleri dinamik olarak atarak enerji kullanımını optimize ederken, sınırlı güç kullanılabilirliği dönemlerinde kritik sistemlere sürekli bir güç kaynağı sağlamaktır. Önerilen sistem, güç dağıtımını etkin bir şekilde yönetmek için ana ve yedek jeneratörleri, bir bataryayı ve yük önceliklendirme algoritmalarını entegre etmektedir. Simülasyonlar MATLAB Simulink kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sistemin performansı jeneratör arızaları ve gerilim düşüşleri de dahil olmak üzere çeşitli arıza senaryoları altında değerlendirilmiştir. Çalışma güç kullanımı, tepki süresi, sistem kararlılığı ve jeneratör sağlığının analizine odaklanmıştır.

Simülasyon sonuçları, önerilen AYYIS'nin güç dağıtımını optimize etmedeki, kritik yüklerin kesintisiz çalışmasını sağlamadaki ve genel sistem kararlılığını iyileştirmedeki etkinliğini doğrulamaktadır. Özellikle, gerilim düşüşleri sırasında, sistem kritik olmayan yükleri kademeli bir şekilde akıllıca devreden çıkararak jeneratörün aşırı yüklenmesini önler ve kritik sistemleri korur. Bu sonuçlar, sistemin anormal çalışma koşulları altında bile istikrarlı güç dağıtımını sürdürme yeteneğini göstermesi açısından önemlidir. Ayrıca, güç kaynağı arızalarının giderilmesinden sonra sistemin hızla normale uyum sağlayarak yükleri tekrar devreye alma kapasitesi, sistemin hem esnekliğini hem de dinamik yönetim kabiliyetini açıkça ortaya koymaktadır. Gerçek zamanlı gerilim ölçümlerine ve yüklerin kritikliğine dayalı olarak kritik olmayan yükleri çıkarma ve ardından uygun koşullarda tekrar devreye alma yeteneği, geleneksel yaklaşımlara kıyasla sistemin verimliliğini ve stabilitesini önemli ölçüde artırmaktadır.

Tasarlanan sistem ile güç kaynaklarının sağlık durumları anlık takip edilerek, sistem en sağlıklı güç kaynağı ile beslenmektedir. Arıza durumunun erken tespiti ve arızalı güç kaynağının devreden kesilerek sağlıklı güç kaynağının devreye alınması ile yüklerin kesintisiz bir şekilde beslenmesi sağlanarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından biri de sistemin gerilim düşüşlerine yanıt olarak yükleri dinamik olarak önceliklendirme ve kritik olmayan yükleri çıkarma yeteneğidir. Bara gerilimi 25V DC ve 23V DC eşiğinin altına düştüğünde, sistem yük-3 ve yük-4'ü atarak jeneratörü aşırı

yükten etkili bir şekilde korur. Yüklerin önemlerine göre sırayla atılmasını içeren bu yaklaşım, mevcut gücün daha verimli kullanılmasına olanak tanır ve uçağın kritik sistemlerinin çalışır durumda kalmasını sağlar. Bu bulgular, dinamik yük çıkarma stratejilerinin elektrikli uçak güç sistemlerinin genel verimliliğini ve güvenilirliğini artırma potansiyelinin altını çizmektedir.

Çalışma ayrıca sisteme kesintisiz güç sağlanması ve güç dağıtımının optimize edilmesi için gerçek zamanlı gerilim izlemenin önemini vurgulamaktadır. Jeneratörün gerilim seviyelerini sürekli olarak izleyerek, sistem dalgalanmalara gerçek zamanlı olarak yanıt verebilir ve kritik yüklerin her zaman güçle beslenmesini sağlayabilir. Bu, jeneratörlerin uzun ömürlü olmasına katkıda bulunur ve sistem arızası riskini azaltır. Sistemin aşırı yüklenmeleri önleme ve enerji tüketimini optimize etme yeteneği, modern elektrikli uçaklarda uyarlanabilir kontrol stratejilerinin faydalarını gösteren önemli bir bulgudur.

Sonuç olarak bu araştırma, önerilen AYYYS'nin elektrikli uçaklarda elektrik güç sistemlerinin verimliliğini, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için umut verici bir çözüm olduğunu göstermektedir. Yenilikçi iki aşamalı yük çıkarma stratejisi, kritik sistemlere her zaman öncelik verilmesini ve kritik olmayan yüklerin kontrollü bir şekilde atılmasını sağlayarak jeneratör aşırı yüklenmelerini önler ve genel sistem performansını iyileştirir. Sonuçlar, bu tür sistemlerin gelecekteki havacılık teknolojilerinin güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini artırmada hayati bir rol oynayacağını göstermektedir.

Teorik bir perspektiften bakıldığında, bu çalışma elektrikli uçak sistemlerinde güç dağıtımı için gerçek zamanlı izleme ve uyarlanabilir kontrol stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Pratik olarak, bu stratejilerin sürdürülebilir havacılığın geleceği için gerekli olan uçak güvenliğini, operasyonel verimliliği ve yakıt tasarrufunu nasıl geliştirebileceğini göstermektedir. Ayrıca, önerilen sistem jeneratörler gibi kritik bileşenlerin ömrünü uzatabilir ve enerji kullanımını optimize ederek operasyonel maliyetleri azaltabilir.

Bununla birlikte, çalışmanın belirli sınırlamaları vardır. Yapılan simülasyonlar teorik bir ortamda gerçekleştirilmiştir ve sistemin gerçek dünya uçuş koşulları altındaki performansını doğrulamak için deneysel doğrulamaya ihtiyaç vardır. Çeşitli operasyonel senaryolarda gerçek zamanlı testler, sistemin pratikte uygulanabilirliği ve sağlamlığı hakkında daha derin bilgiler sağlayacaktır. Ayrıca, sistem küçük ölçekli bir elektrikli uçak uygulaması için

tasarlanmış olsa da daha büyük veya daha karmaşık uçak konfigürasyonları için ölçeklenebilirliğinin daha fazla araştırılması gerekmektedir. Bu, yük önceliklendirme algoritmalarının iyileştirilmesini ve çoklu güç kaynaklarının yönetiminin geliştirilmesini içerebilir.

Bir diğer sınırlama ise yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyon eksikliğidir. Güneş panellerinin veya yakıt hücrelerinin sisteme dahil edilmesi sürdürülebilirliğini ve özerkliğini daha da geliştirebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut güç sistemleriyle sorunsuz bir şekilde entegre edilmesine yönelik araştırmalar, çevresel etkilerini azaltırken gelecekteki elektrikli uçak sistemlerinin artan enerji taleplerini karşılamaya yardımcı olabilir.

Gelecekteki araştırmalar, yük modellerini ve jeneratör sağlığını gerçek zamanlı olarak tahmin etmek için makine öğrenimi tabanlı kontrol algoritmaları geliştirmeye odaklanabilir. Bu tür gelişmiş algoritmalar güç dağıtımını daha da optimize edecek ve sistem direncini artıracaktır. Ayrıca, özellikle pik yük koşullarında sistem performansını artırmak için süper kapasitörler gibi hibrit enerji depolama sistemleri araştırılabilir. Bu enerji depolama çözümleri daha hızlı tepki süreleri sağlayabilir ve geleneksel bataryalara olan bağımlılığı azaltabilir.

Özet olarak, bu çalışma elektrikli uçaklarda akıllı güç yönetimi alanına önemli katkılar sağlamaktadır. Önerilen AYYs, yük yönetimine yeni bir yaklaşım sunarak kritik sistemlerin her zaman güçle beslenmesini sağlarken genel enerji kullanımını da optimize etmektedir. Bu araştırma, elektrikli uçak güç sistemlerinin performansını, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini daha da artıracak uyarlanabilir kontrol, hibrit enerji depolama ve gerçek zamanlı teşhis konularında gelecekteki gelişmeler için sağlam bir temel oluşturmaktadır.



KAYNAKLAR

- Maasoumy, M., Nuzzo, P., Iandola, F., Kamgarpour, M., Sangiovanni-Vincentelli, A., & Tomlin, C. (2013). *Optimal load management system for Aircraft Electric Power distribution*. 52nd IEEE Conference on Decision and Control. 2940-2945.
- Ge, Y., Song, B., Pei, Y., Mollet, Y., Gyselinck, J. (2018). A fuzzy logic based method for fault tolerant hierarchical load management of more electric aircraft. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: *Journal of Aerospace Engineering*, 095441001880759. 2-10.
- Zhang, H., Mollet, F., Breban, S., Saudemont, C., Robyns, B. (2010). *Power flow management strategies for a local DC distribution system of more electric aircraft*. 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. 1-5
- Spagnolo, C., Sumsurooah, S., Bozhko, S. (2019). *Advanced smart grid power distribution system for more electric aircraft application*. 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). 1-6
- Spagnolo, C., Sumsurooah, S., Hill, C. I., Bozhko, S. (2018). *Generator overload reduction using smart power management*. 2018 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC).2-6
- Wang, Y., Xu, F., Mao, S., Yang, S., Shen, Y. (2020). Adaptive online power management for more electric aircraft with hybrid energy storage systems. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*. 2-9
- Salehpour, M. J., Radmanesh, H., Hosseini Rostami, S. M., Wang, J., & Kim, H.-J. (2019). Effect of load priority modeling on the size of fuel cell as an emergency power unit in a more-electric aircraft. *Applied Sciences*, 9(16), 3241. 4-17
- Zhang, Y., Su, R., Wen, C., Lee, M. Y., Gajanayake, C. (2016). *Distributed power allocation and scheduling for electrical power system in more electric aircraft*. IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 103-107
- Cavallo, A., Canciello, G., Russo, A. (2020). Integrated supervised adaptive control for the more electric aircraft. *Automatica*, 117, 108956. 7-11
- Chandrasekaran, S., Ragon, S. A., Lindner, D. K., Gürdal, Z., Boroyevich, D. (2003). Optimization of an aircraft power distribution subsystem. *Journal of Aircraft*, 40(1), 16–26.
- Benzaquen, J., He, J., & Mirafzal, B. (2021). Toward more electric powertrains in aircraft: Technical challenges and advancements. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, 5(3), 169–177.

- Izquierdo, D., Azcona, R., del Cerro, F. J. L., Fernandez, C., Delicado, B. (2010). *Electrical power distribution system (HV270DC), for application in more electric aircraft*. 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). 1300-1305
- Spagnolo, C., Sumsurooah, S., Hill, C. I., Bozhko, S. (2018). *Smart controller design for safety operation of the MEA electrical distribution system*. IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 5778-5785
- Zhang, Y., Peng, G. O. H., Banda, J. K., Dasgupta, S., Husband, M., Su, R., & Wen, C. (2018). An energy efficient power management solution for a fault-tolerant more electric engine/aircraft. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 1-11
- Ghassemi, M., Barzkar, A., (2020). Electric power systems in more and all electric aircraft: A review. *IEEE Access*. 169315 - 169328
- Fahimi, M., & Kyprianidis, K. (2018). A review of concepts, benefits, and challenges for future electrical propulsion-based aircraft. *Aerospace*, 5(4), 1-56
- Yang, Z., Qu, J., Ma, Y., Shi, X. (2015). Modeling and simulation of power distribution system in more electric aircraft. *Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2-7
- Cavallo, R., Götz, J., Piccolo, R. (2020). Adaptive control approaches for energy management in aircraft electrical systems. *Aerospace Systems*, 31(3), 413–424.
- Zhao, Z., Wang, T., Zhou, Y. (2020). Application of artificial intelligence in power management of more electric aircraft. *IEEE Access*, 8, 65400–65409.
- Liu, Y., Hu, Y., Wang, S., Li, Y. (2020). *A multi-port power conversion system for the more electric aircraft*. University of Nottingham ePrints. 1707 - 1720
- Zhang, Z., Wang, Y., Liu, S. (2022). Power quality control and optimization in more electric aircraft. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 37(2), 1450–1459.
- Li, X., Wang, F., Lin, L. (2021). Advanced power management strategies in electrical propulsion aircraft. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 7(1), 14-23.



Gazili olmak ayrıcalıktır