

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTONOM HAVA TAŞITLARI İLE KAPALI ALANLARDA
TAŞIMACILIK PROBLEMİNİN OPTİMİZASYON EĞİLİMLİ
MODELLENMESİ VE DEPOLAR İÇİN OPTİMAL
TAŞIMACILIK UYGULAMASI**

Furkan YANIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Tesisleri Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıfat BOYNUEĞRİ

Eş Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN

Temmuz, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTONOM HAVA TAŞITLARI İLE KAPALI ALANLARDA
TAŞIMACILIK PROBLEMİNİN OPTİMİZASYON EĞİLİMLİ
MODELLENMESİ VE DEPOLAR İÇİN OPTİMAL
TAŞIMACILIK UYGULAMASI**

Furkan YANIK tarafından hazırlanan tez çalışması 06.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Programı YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıfat BOYNUEĞRİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıfat BOYNUEĞRİ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hakan AKÇA, Üye
Ege Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali Rifat BOYNUEĞRİ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Otonom Hava Taşıtları İle Kapalı Alanlarda Taşımacılık Probleminin Optimizasyon Eğilimli Modellenmesi ve Depolar İçin Optimal Taşımacılık Uygulaması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Furkan YANIK

İmza



Biricik Aileme

TEŐEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca bana kıymetli zamanlarını ayıran, bilimsel katkılarını ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyerek çalıőmalarıma yön veren değerli danışman hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıfat BOYNUEĞRİ ve Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN'e teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca; çalıőmalarım sırasında bana maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeden, daima beni her konuda destekleyen ve beni bu günlere getiren canım aileme canı gönülden teőekkür ederim.

Furkan YANIK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	4
2 SİSTEM TANIMI	5
2.1 Materyal	5
2.1.1 Kapasitör	5
2.1.2 Ultrakapasitör	7
2.1.3 Pil	11
2.1.4 Pil Çeşitleri	11
2.1.5 Birincil Piller	12
2.1.6 İkincil Piller	12
2.1.7 Pillerin Karakteristik Özellikleri	13
2.1.8 Kurşun Asit Piller	14
2.1.9 Nikel Kadmiyum Piller	15
2.1.10 Nikel Metal Hibrit Piller	16
2.1.11 Lityum İyon Piller	16
2.2 Otonom İnsansız Hava Aracı Sistemleri	20
2.3 Enerji Depolama Biriminin Seçimi	22
3 İNSANSIZ HAVA ARACI DİNAMİKLERİ	23
3.1 Pervaneli İnsansız Hava Araçları Üzerine Etkiyen Kuvvetler	23
3.2 İnsansız Hava Araçlarında Ultrakapasitör Kullanımı	26
3.3 Otonom Depo Taşımacılığı İçin Optimizasyon	33
4 YÖNTEMLER VE ÖRNEK ÇALIŞMA	35
4.1 Yöntem 1-Konvansiyonel Yöntem	37
4.2 Yöntem 2	39

4.3 Yöntem 3.....	43
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	48
KAYNAKÇA	51
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	54



SİMGE LİSTESİ

S	Alan Büyüklüğü
A	Amper
Ah	Amper-saat
I_B	Bataryanın Deşarj Akımı
ϵ_0	Boşluğun Geçirgenliği
C	Coulomb
ϵ_r	Dielektrik Malzemenin Geçirgenliği
ϵ	Dielektrik Sabiti
Q	Elektron Yüğü
D	Elektrotlar Arası Mesafe
F	Farad
v_i	Hava Akış Hızı
ρ	Havanın Yoğunluğu
F_W	İHA Ağırlık Kuvveti
F_{DV}	İHA için Dikey Kuvvet
F_{DH}	İHA için Yatay Kuvvet
m_d	İHA'nın Kütlesi
F_T	İHA'nın Ürettiği Kuvvet
$F_{T,v}$	İHA'nın Ürettiği Kuvvetin Dikey Bileşeni
$F_{T,h}$	İHA'nın Ürettiği Kuvvetin Yatay Bileşeni
m_p	İHA'nın Yükünün Kütlesi
C_t	İtke Katsayısı
Kg	Kilogram

μ	Mikro
m	Mili
A_p	Pervanelerin Disk Alanı
r	Pervanelerin Yarıçapı
C_p	Peukert'e Göre Kapasite Miktarı
N	Rotor Sayısı
ω	Rotorların Açısal Hızı
C_d	Sürüklenme Katsayısı
V	Voltaj
W	Watt
Wh	Watt-saat
g	Yerçekimi İvmesi

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
AI	Yapay Zekâ
EDLC	Elektriksel Çift Tabaka Kondansatörler
ESR	Eşdeğer Seri Direnç
ICAO	Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu
IHP	İç Helmholtz Düzlemi
İHA	İnsansız Hava Araçları
ODS	Otonom Drone Sistemleri
OHP	Dış Helmholtz Düzlemi
RPA	Uzaktan Pilotlu Hava Aracı
UAV	Pilotsuz Hava Aracı
UC	Ultrakapasitör

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kondansatör Çeşitleri	5
Şekil 2.2 Ultrakapasitör Enerji Yük birimi.....	6
Şekil 2.3 Ultrakapasitör türleri	7
Şekil 2.4 Pozitif Yüklü Bir Yüzeyde Elektriksel Çift Katman İçin Modeller.....	8
Şekil 2.5 Farklı Boyut ve Şekildeki Birincil ve İkincil Piller.....	12
Şekil 2.6 İkincil Pil Örneği	13
Şekil 2.7 Lityum İyon Pil Çalışma Şekli	17
Şekil 2.8 Otonom İHA Filosu.....	20
Şekil 3.1 Pervaneli İHA Üzerine Etki Eden Kuvvetler	22
Şekil 3.2 Kapalı Depo Ortamı	26
Şekil 3.3 Ürün Teslimi İçin Akış Diyagramı	27
Şekil 3.4 Kısa Dönem Şarj Deşarj Durumu.....	28
Şekil 3.5 Uzun Dönem Şarj Deşarj Durumu	28
Şekil 3.6 Toplam Teslimat Süresi	30
Şekil 4.1 Depo Şeması.....	32
Şekil 4.2 Yöntem-1 İçin Ürün İHA Eşleşme	35
Şekil 4.3 Yöntem-1 İçin Akış Şeması	36
Şekil 4.4 Yöntem 2 İçin Ürün İHA Eşleşmesi.....	37
Şekil 4.5 Yöntem-2 İçin Akış Şeması	40
Şekil 4.6 Yöntem 3 İçin Ürün İHA Eşleşmesi.....	41
Şekil 4.7 Yöntem-3 İçin Akış Şeması	42
Şekil 4.8 Her Yöntem İçin Çalışma Süresi ve Enerji Tüketimi.....	43
Şekil 4.9 Yöntem 1-3'te Her İHA İçin Enerji Tüketimi	44
Şekil 4.10 Yöntem 1-3'te Her İHA İçin Uçuş Operasyon Süresi	44

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Uçan Modda İHA İçin Güç Tüketimine Etki Eden Parametreler	3
Tablo 3.2 İHA'ların Belirtilen Modlarda Enerji Tüketimi.....	2
Tablo 3.3 Intel Aero Teknik Özellikleri.....	28
Tablo 3.4 Maxwell BCAP3000 Özellikleri.....	28
Tablo 3.5 İHA'ların Taşıdığı Ürün Miktarı ve Tükettiği Enerji	29
Tablo 3.6 Her Bir İHA İçin Görev Sayısı ve Enerji Tüketimi	30
Tablo 4.1 Yöntem-1 için Simülasyon Sonuçları.....	35
Tablo 4.2 Yöntem-1 İçin Her Bir İHA İçin Görev Sayısı ve Enerji Tüketimi.....	36
Tablo 4.3 Yöntem-2 İçin Simülasyon Sonuçları.....	39
Tablo 4.4 Yöntem-3 İçin Simülasyon Sonuçları.....	42

Otonom Hava Taşıtları ile Kapalı Alanlarda Taşımacılık Probleminin Optimizasyon Eğilimli Modellenmesi ve Depolar İçin Optimal Taşımacılık Uygulaması

Furkan YANIK

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıfat BOYNUEĞRİ

Eş-Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN

Son yıllarda, ürünlerin depolanmasının yanı sıra üretim sürecinin her aşamasında sabit maliyetleri (çalışan sayısı, araç sayısı vb.) azaltmak şirketler için önemli bir hedef haline gelmiştir. Bu şekilde kapalı depolarda faaliyet gösteren otonom insansız hava araçlarına sıklıkla değinilmiştir. Emek, harcanan zaman ve iş güvenliği açısından depolama sorununa alternatif bir çözüm sunarlar. Bu tez çalışmasında, yükü depolama pozisyonlarına taşımak ve atanan görevleri yerine getirmek için insansız hava aracı filosunu çalıştırmanın üç alternatif yöntemi önerilmiştir. İlk yöntemde, insansız hava aracı operasyon için belirli bölgelere atandığından bölge tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Ardından, insansız hava aracı operasyonunu belirli bölgelerle sınırlamadan Yöntem-2&3 ile optimal bir çerçeve sağlanmıştır. Yöntem-2, gelen teslimat kalemini görevin enerji tüketimini göz önünde bulundurarak filodan en uygun araç ile eşleştirecek şekilde değerlendirir. Prosedür, bir sonraki madde ve kalan eşsiz hava araçları dikkate alınarak tekrarlanır. Ayrıca, Yöntem-3'te, teslimat kalemlerinin iki ayrı seti ile insansız hava aracı filosu arasındaki optimizasyon formülü toplu olarak ele alınmıştır. Bu yöntemde, setler arasındaki tüm uygun eşleşmeler maliyet fonksiyonu ile simüle edilmiş

ve görev, en uygun çifte atanmıştır. Daha sonra prosedür, tüm elemanlar bire bir olarak eşleştirilene kadar depo edilmiş kümelerle tekrarlanmıştır. Simülasyon çalışmaları MATLAB® ortamında gerçekleştirilmiş ve her bir yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Optimizasyon prosedürlerinin uygulanabilirliği, işletme süresi ve enerji gereksinimleri açısından ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Depo dronları, drone filosunun optimal çalışması, insansız ulaşım, ultrakapasitörler, otonom dronlar.



Optimization Based Modelling of Autonomous Air Vehicles Operated in Indoor Warehouses and Optimal Transportation Application of Drones for Indoor Warehouses

Furkan YANIK

Department of Electric Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Ali Rifat BOYNUEĞRİ

Co-supervisor: Asst. Prof. Yavuz EREN

In present, it has become a significant target for companies to reduce the fixed costs (number of workers, number of vehicles, etc.) on each level of the production process as well as storing the products. In this manner, the autonomous drones operating in closed warehouses have been often addressed. They provide an alternative solution to the storage problem in terms of effort, time spent, and occupational safety. In this manuscript, we have provided three alternative methods of operating the drone fleet to achieve assigned duties to carry the payload to the storage positions. The first method presents a zone-based approach as the drones are assigned to specific zones for operation. Then, we have provided an optimal framework by Method-2&3 without limiting the drone operation to specific zones. Method-2 considers the incoming delivery item to match the most proper drone from the fleet by considering the cost of the mission. The procedure is reiterated as considering the next item and remaining unmatched drones. Besides, Method-3 deals the optimization formula between the two discrete sets of the delivery items and the drone fleet as a collective manner. In this method, all the proper matching between the sets are simulated by the cost function, and the duty is assigned to the most proper pair. Then the procedure is repeated with depopulated sets until all the elements are paired as one-to-

one correspondence. The simulation studies have been realized in MATLAB® and the results of each method are compared. The feasibility of the optimization procedures has been revealed in terms of the operational time and energy requirements.

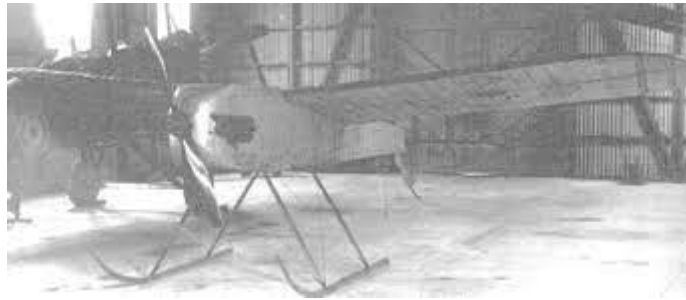
Keywords: Warehouse drones, optimal operation of the drone fleet, unmanned transportation, ultracapacitors, autonomous drones.



1.1 Literatür Özeti

Dünyada enerjiye olan ihtiyaç gerek artan insan nüfusuyla gerekse yaşam standartlarının değişmesiyle sürekli olarak artmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir kısmını endüstriyel üretim merkezleri talep etmektedir. Tüketilen bu enerjinin hem ürün maliyetlerine olan negatif etkisi hem de fazla enerji tüketiminin çevreye ve doğaya olan olumsuz etkilerinden dolayı enerjiyi verimli kullanma konusunda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Günümüzde sanayi üretim merkezlerinde enerji tasarrufu için birçok değişik türde otonom sistemler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde kullanılan ve kullanım hızı gün geçtikçe artan bu otonom sistemler arasında en popülerlerinden birisi de insansız hava aracı otonom sistemleri diğer bir adıyla otonom drone sistemleridir.

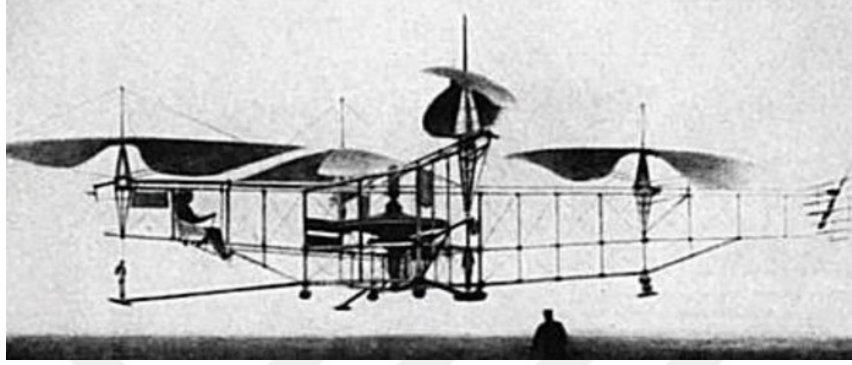
Tarihte ilk insansız hava aracı (İHA) olarak kabul edilerek uçuşunu Archibald Montgomery Low tarafından geliştirilmiş olan radyo kontrol teknikleri ile 1916 senesinde gerçekleştiren kişi Ruston Proctor Aerial Target'dir. Bu hava aracı Birinci Dünya Savaşı sırasında askeri amaçla kullanılması planlanan hava taşıydı. Geliştirilmeleri yarıda kalmasaydı bu araç (Şekil 1.1) Almanya'nın şehirleri bombalamak için kullandığı Zeplinlere karşı savunma amaçlı kullanılacaktı. Yine aynı yılda Hewitt Sperry Automatic Airplane ilk uçuşunu gerçekleştirmişti. Bu aracın kullanım amacı seyir füzesi olarak kullanılmaktı.



Şekil 1.1 RAF's Aerial Targe [1]

1921 senesinde, Etienne Oehmichen, Oehmichen No. 2 ismini verdiği dört rotorlu hava aracını geliştirmiştir. Bu aracın resmi Şekil 1.2 de gösterilmiştir. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak bu hava aracında taşıyıcı rotorların tersi yönde çalışan dikey

yönde konumlandırılmış rotorlar kullanılmıştır. Yapılan bu farklılık ile tarihteki ilk emniyetli helikopter tasarlanmış ve gelecek çalışmalarda kuyruk rotorunun gelişmesine olanak sunulmuştur. İnsanlı olan bu hava aracı yapısı sayesinde günümüzde kullanılan birçok insansız hava araçlarına temel oluşturarak gelişmelerine katkıda bulunmuştur [2].



Şekil 1.2 Oehmichen No 2 [3]

Otonom insansız hava araçları sistemleri ya da kısa ismiyle otonom drone (ODS'ler), çekici aerodinamik özellikleri nedeniyle son yıllarda artan bir popülerlik kazanmıştır [4]. İnsansız hava araçlarının bir türü olan pervaneli hava araçları, havada asılı kalma, dar yollarda veya erişilemeyen alanlarda uçuş ve kargo teslimat programlarını hızlandırma gibi hem ticari hem de askeri görevleri başarıya kavuşturma konusunda dikkate değer yeteneklere sahiptir. Bu yetenekler göz önüne alındığında insansız hava araçları, kapalı alanlarda paket teslimatı, arama kurtarma görevleri, tarımsal ilaçlama ve çevresel izleme gibi birçok ticari uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [4][5].

İnsansız hava araçlarının günümüzdeki popüleritesi her geçen gün giderek artmasına ve pek çok uygulamada bu araçlara başvurulmasına rağmen, güç yönetimi stratejilerinin tasarımında bazı temel sorunları bulunmaktadır [6]. Bu yüzden, sınırlı pil ömrü ve şarj süresi performansındaki kısıtlamalar kapasite kullanım oranlarının düşmesine neden olmaktadır [7]. Ticari faaliyetler için kullanılan insansız hava araçlarında zayıf uçuş süresi aralığını telafi edebilmek için optimal enerji tüketimini öne çıkararak, taşınması istenen ürünleri gruplandırma ya da taşıma sırası belirleyen stratejilerine başvurulmuştur. Bu stratejiler, İHA'nın menzili ile yük taşıma kapasitesi arasındaki ilgili ilişkiyi ortaya çıkarmak için dinamik enerji tüketim modelini gerektirir [6]. Literatürde, güç talep ve arz yönetimine karşılık gelen havada veya su altında performans gösteren birçok özel insansız hava taşıtı türü sunulmuştur [8][9]. Bununla birlikte, bu modeller üzerlerinde

sahip oldukları diğer elektronik parçaların ve alt sistemlerin neden olduğu enerji tüketimini göz ardı ederler [10][11]. Bu kapsamda pervaneli hava araçlarının kalan pil seviyesine göre yeniden teslimat planlaması yapılmıştır [11]. Ancak literatür taraması yapıldığında, çok sayıda çalışmanın insansız hava araçlarının dinamik kapasitesine atıfta bulunduğu, az sayıda çalışmanın pil performansını sağladığı görülmektedir. Bu perspektifte, pervaneli insansız hava araçlarının havada asılı kalma, dikey olarak yukarı uçuş ve dikey olarak aşağı uçuş gibi temel hareketlerinin deneysel sonuçları [12]'da sunulmuştur. Ayrıca, pil ömrü tahmininin hava taşıtı görevlerinin enerji tüketimi üzerindeki önemi, otonom pil bakım sistemleri tarafından daha da vurgulanmaktadır [13][14]. Literatürde insansız hava araçlarının otonom çalışmasına atıfta bulunulmuştur [15][16][17]. Otonom taşımacılık konseptinde, ağırlıklı olarak nakliye için kullanılan insansız hava taşıtları ve faydalı yüklerin uygun şekilde eşleştirilmesi düşünülmüştür. Eşleştirme problemi için bazı standart algoritmalar sağlanmıştır [18]. Ayrıca, optimizasyon prosedürü ile birden fazla noktayı dikkate alabilen bazı özel yönlendirme algoritmaları sağlanmıştır [19][20][21].

Lityum iyon piller, yüksek enerji depolama kapasitesi ve günümüzdeki üretim koşullarındaki iyileşmeden kaynaklanan maliyetlerinin düşmesi nedeniyle özellikle döner pervaneli insansız hava araçlarındaki güç ünitelerinde sıklıkla kullanılmaya başlandı. Bu pil türleri diğer pil türleriyle kıyaslandığında onlarca artısı olmasına rağmen voltaj seviyesi ve aşırı ısınma nedeniyle sınırlı şarj kapasitesine sahiptirler [22]. Bu nedenle özellikle orta ve uzun menzilli insansız hava araçlarında seyrek çalışması tercih edilen uygulamalar için uygunluğu göze çarpmaktadır. Bu araçların depolarda yük taşımak gibi sık sık şarj olarak ve şarj için ekstra süre harcamadan çalışması için ultrakapasitörler donanımlı bir seçenek haline gelmiştir [23][24][25][26]. Her geçen gün malzeme ve üretim teknolojisinde meydana gelen gelişmeler sayesinde üretilen ultrakapasitörler hızlı şarj ve milyonun üzerinde şarj-deşarj döngüsüne sahiptir ve eskiye kıyasla çok daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler, bu nedenle enerji depo birimi olan pillere alternatif olarak tercih konusunda esneklik sağlarlar. Uzun vadeli yinelemeli süreçle görevlendirilen İHA'ların yeniden etkinleştirilmesinde, ancak ultrakapasitörlerin pillere kıyasla nispeten daha düşük enerji yoğunluğuna sahip olması ve bu sorun menzili ciddi bir şekilde kısıtlıyor [24]. Kısılan bu hava aracı menzilinin, operasyonun kalitesini ve etkinliğini azaltmaması için bazı optimizasyon yöntemlerinden yararlanılabilir.

1.2 Tezin Amacı

Ultrakapasitörlerin var olan pozitif özellikleri göz önüne alındığında, kapalı ortamda bulunan ve ticari faaliyet için kullanılan insansız hava araçlarının operasyon takvimi, çağrı görevlerini yerine getirmek için optimal prosedür ve ayrıca pervaneli hava aracı filosunun uygulanabilir operasyonu ile yönetilebilir. Bu çalışmada, ticari amaçla yük taşımak için kullanılması planlanan 4 pervaneli insansız hava aracı filonun genel uçuş sürelerinin kısaltılmasının yanı sıra, bir depoda faydalı yük ile insansız hava araçları arasında optimal görev eşleştirmesi yapılması hedeflenmiştir. Ayrıca, ultrakapasitörlerin sahip olduğu hızlı şarj kapasitesi ve filonun eş zamanlı veya ilk giren ilk çıkar çalışma modları ile insansız hava araçlarının şarj olma süresi kısaltılmıştır. İnsansız hava araçlarının şarj edilmesini sağlamak için bahsedilen modlar ile optimum operasyon tasarımları başlatılmıştır. Ürünlerin kapalı bir depo ortamında minimum enerji tüketimi ve minimum süre ile teslim edilmesi için optimum araç-yük eşleşmesi için üç farklı operasyon stratejisi önerilmiştir. Bu işlemler, 7/24 çalışma prensibine dayalı olarak otonom hava araçlarından maksimum verim alınması amacı ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemlerin performansı bir simülasyonda test edilmiştir ve sonuçlar grafikler ile gösterilerek detaylı olarak yorumlanmıştır.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında yeni nesil insansız hava araçlarında enerji depo birimi olarak kullanılması öngörülen ultrakapasitörlerin kullanım senaryoları incelenmiş ve özgün bir yaklaşım sunularak insansız hava araçlarının şarjda geçen süreleri kısaltılarak oluşan iş ve zaman kaybının önüne geçilmiştir. Önerilen her yöntemde, kullanım senaryosunun ihtiyaçları göz önüne alınarak oluşturulmuş teslimat yöntemleri ile birlikte endüstriyel üretim yapan ya da farklı çalışma sahalarında meydana gelen kayıpların iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntemlerin temelinde daha önce sıkça kullanılan ve literatürde bulunan teslimat algoritmaları olmakla birlikte insansız hava araçlarının havada teslimat işlemlerini uçuş süresi limitleri içerisinde rahat bir şekilde yerine getirmesi amaçlanmıştır.

2.1 Materyal

Bu bölümde kullanılması planlanan materyallerin özellikleri ve yapıları hakkında genel bilgilendirilme yapılmıştır.

2.1.1 Kapasitör

Kondansatör, elektrik enerjisini yapısı içerisinde bulunan elektrik alanında depolayabilen bir cihazdır. İki terminalli pasif bir elektronik bileşendir. Bu elektronik bileşenin devreye olan etkisi kapasitans olarak adlandırılmaktadır. Yapısal olarak incelendiğinde ise, elektriksel olarak iki iletken malzeme (kondansatörün uçları) arasına yerleştirilen yalıtkan (dielektrik) malzeme ile oluşturulmaktadır. Araya yerleştirilen dielektrik malzemenin değerine göre devreye sağlamış olduğu kapasitans değeri de değişiklik göstermektedir. Şu anda mevcut değerler çok düşük değerlerden (pikofarad mertebesinde) yaklaşık 5 kilofarad düzeyine kadar gelebilmektedir.

Kondansatörlerin tarihsel gelişimi incelendiğinde, üzerine yapılan çalışmaların 1745 senesine kadar gittiği gözükmektedir. İlk kondansatör olarak kabul edilen Leyden Şişesi çalışma prensibi ve amacı olarak benzerlik gösterse de günümüzde kullanılan kondansatör türlerinden boyut ve yapısal olarak ciddi farklılık göstermektedir.

Kondansatörler de tıpkı diğer bir enerji depolama birimi olan piller gibi yapılarına, çalışma ve çevre koşullarına bağlı olarak değişken yaşam (çevrim) ömürlerine sahiptirler. Pillerle kıyaslandığında çok uzun ömre sahiptirler. Pil sistemleriyle kıyaslandığında titreşim ve ortam sıcaklığından nispeten daha az etkilenirler ancak nem durumu ve mekanik stres gibi dış faktörler bozulmalarının başlıca sebepleri arasında yer almaktadır. Kondansatörler çok çeşitli yapılara sahip devre elemanlarıdır ve arıza durumları da birbirlerinden farklılık gösterebilmektedir. Bu bozulmalardan bazıları ani bir şekilde gerçekleşip yıkıcı etkilere sebep olabilirken bazıları kapasitans değerinin değişmesi şeklinde gerçekleşebilmektedir.

Kondansatörlerin çeşitleri içerisinde kullanılan plakaların dielektrik malzemenin düzenlenmesi, kondansatörün istenen değerine bağlı olarak birçok farklı tarza sahiptir.

Genellikle küçük güç gerektiren devrelerde kullanılmak üzere seramik diskler kullanılırken daha büyük değerli kondansatör yapımı için bir dielektrik filmin üzerine bir metal folyo veya metal film tabakası ve kâğıt veya plastikten bir dielektrik film kullanır. Dış kısımları ise kullanılacak yere ve kullanılacak gerilimin düzeyine bağlı olarak birbirlerinden oldukça farklıdır.

Kondansatörlerin elektriksel değerleri aşağıdaki matematiksel formülle hesaplanmaktadır.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.1)$$

Burada, “C” ile gösterilen değer, kondansatörün devreye sağlamış olduğu kapasitans değeridir. “Q” ifadesi, kondansatör üzerindeki yükü ifade ederken, “V” değeri kondansatör uçlarındaki gerilim ifade etmektedir. Kondansatörün kapasitans değeri yükün gerilime oranı şeklinde bulunur.

Kondansatörlerin devreye etki eden kapasitans değeri sahip olduğu fiziksel özelliklere göre değişiklik göstermektedir. Bu değere etki eden faktörler, kondansatör içerisinde bulunan elektrot yüzey alanının boyutu (S), bu iletken elektrotlar arasına yerleştirilen yalıtkan (dielektrik) malzemenin elektriksel yalıtkanlık açısından değeri ve son olarak elektrotların birbiri arasındaki mesafe olarak sıralanabilir. Dielektrik malzemenin değeri (dielektrik sabiti) (ϵ) ve yüzey alanı (S), kapasitans değerini doğru yönde etkilerken elektrotlar arasındaki mesafe (d) kapasitans değerini ters yönde etkiler ve bu durum matematiksel olarak denklem 2.2 de gösterilmektedir.

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d} \quad (2.2)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'te gösterilen “ ϵ ” ifadesi kondansatörlerde yalıtkan olarak kullanılan malzemenin dielektrik sabitini ifade eder. Çoğu kondansatörde, hava veya vakumla karşılaştırıldığında kapasitanslarını artıran bir dielektrik ara parçası (ϵ_r) bulunur. Bir kondansatörün taşıyabileceği yükü en üst düzeye çıkarmak için, dielektrik malzemenin mümkün olduğu kadar yüksek bir geçirgenliğe sahip olması ve aynı zamanda mümkün olduğu kadar yüksek bir bozulma voltajına sahip olması gerekir. Dielektrik ayrıca

mümkün olduğunca düşük bir frekans kaybına sahip olmalıdır. Kondansatörün sahip olduğu toplam dielektrik değeri denklem 2.3 teki gibi bulunur.

$$P_{max} = \frac{V^2}{4ESR} \quad (2.4)$$

Buradaki denklem ile kondansatörün güç değeri matematiksel olarak bulunabilir. Kondansatörün güç ifadesini bulabilmek için, iç dirençleri de işleme katılmalıdır. Denklem 2.4’te ESR olarak ifade edilen değer kondansatörün sahip olduğu eşdeğer seri dirençtir. Kondansatörün sahip olduğu güç gerilimin karesi ile doğru, iç direnç değerleri ile ters orantılıdır.

Kondansatörün içerisinde barındırdığı enerji miktarı ise “E” ile ifade edilmektedir ve bu değer matematiksel ifadesi denklem 2.5’te gösterilmiştir. Kondansatörün sahip olduğu enerji, kapasitans değeri ve sahip olduğu gerilimin karesi ile doğru orantılıdır.

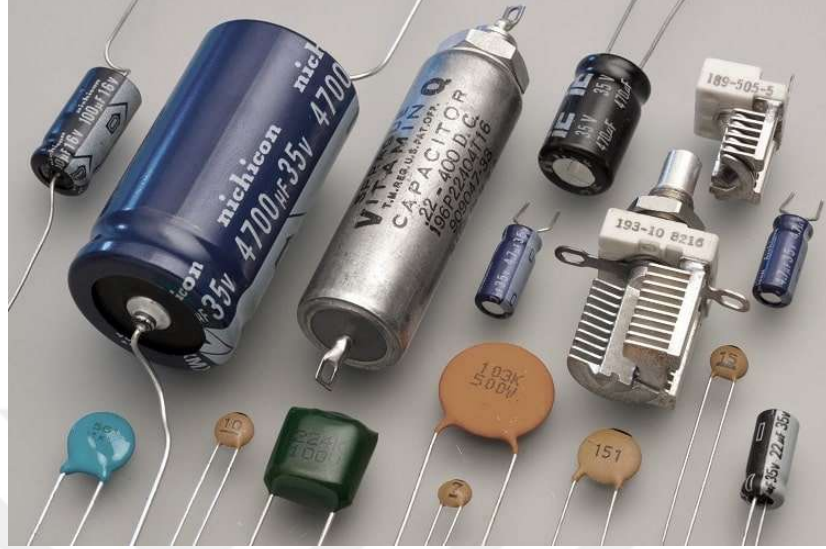
$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (2.5)$$

Kondansatörler kullanım alanlarına göre incelendiğinde enerji depolama, dijital hafıza, faz kaydırma ve filtre işlemleri gibi birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Enerji depolama açısından bir kondansatör, elektrik devresiyle bağlantısı kesildiğinde üzerinde bulunan enerjiyi saklayabilir ve geçici bir pil gibi veya diğer şarj edilebilir enerji sistemleri gibi tekrar tekrar kullanılabilirler. Genellikle elektronik cihazları değişken güç değerinden korumak için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca bu durum bilgisayarlarda bulunan geçici bellekteki bilgilerin kaybını önleyebilmektedir. Kondansatörler yapısı gereği aktif güç harcamazlar AC devrelerde reaktif güç dengeleyici olarak kullanımı sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, kondansatörlerin doğrultucu ve filtre devrelerinde kullanılarak matematiksel işlemlerin gerçekleştirilmesi durumu için de kullanımı mümkündür.

2.1.2 Ultrakapasitörler

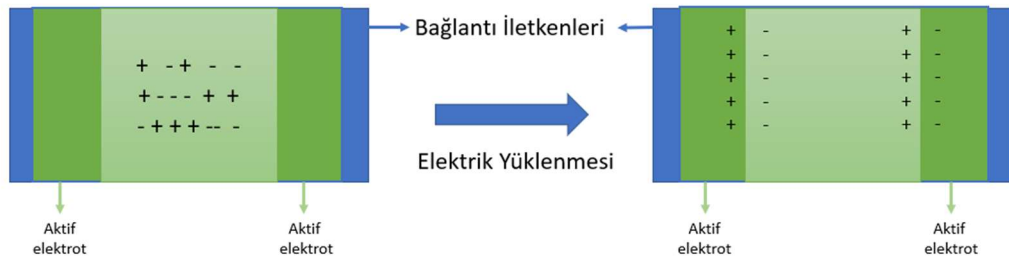
Kondansatörlerin bir türü olan ultrakapasitörler ya da diğer adıyla süper kapasiteler sahip oldukları yapı sayesinde içerisinde normal diye tabir edilen kondansatörlerden çok daha fazla enerji depolayabilmektedirler. Bu tipteki kondansatörlerin yapımında genellikle karbon malzemeler tercih edilmektedir. Bunun başlıca nedeni özellikle kullanılan aktif

karbonların kolay ulaşılabilirliği, düşük maliyeti ve birçok farklı ortama uyarlanabilmesi olarak sıralanabilmektedir.



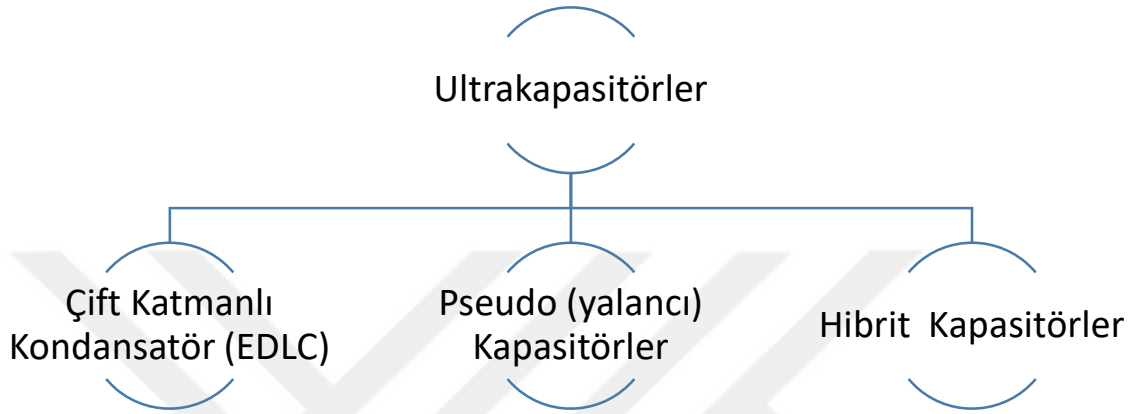
Şekil 2.1 Kondansatör Çeşitleri [27]

Klasik olarak ifade edilen kondansatörler ile ultrakapasitörlerin aslında çalışma prensipleri ve yapıları birbirine oldukça yakındır. Fakat, içerisindeki enerji depolama miktarı birbirlerinden ciddi oranda farklılık göstermektedir. Ayrıca yüklerin kondansatör içerisindeki birikme noktalarına göre de farklılık göstermektedir. Klasik kondansatörlerde depolanan enerjiden farklı olarak yükler şekil 2.2’de de gösterildiği gibi aktif elektrot yapısı ile aradaki yalıtkan malzemenim üzerinde birikirler. Temelinde yatan bu prensip sayesinde ultrakapasitörlerde depo edilen enerji miktarı ciddi oranda artmaktadır.



Şekil 2.2 Ultrakapasitör Enerji Yük birimi

Ultrakapasitörler üretim ve yapım detaylarına göre düz, silindirik ve dikdörtgen kasa sitillerinde gruplandırılabilceği gibi enerji depolama yöntemine göre de üç farklı grupta sınıflandırılabilirler. Gruplara ayrılan kondansatörlerin isimleri şekil 2.3'te gösterilmiştir.



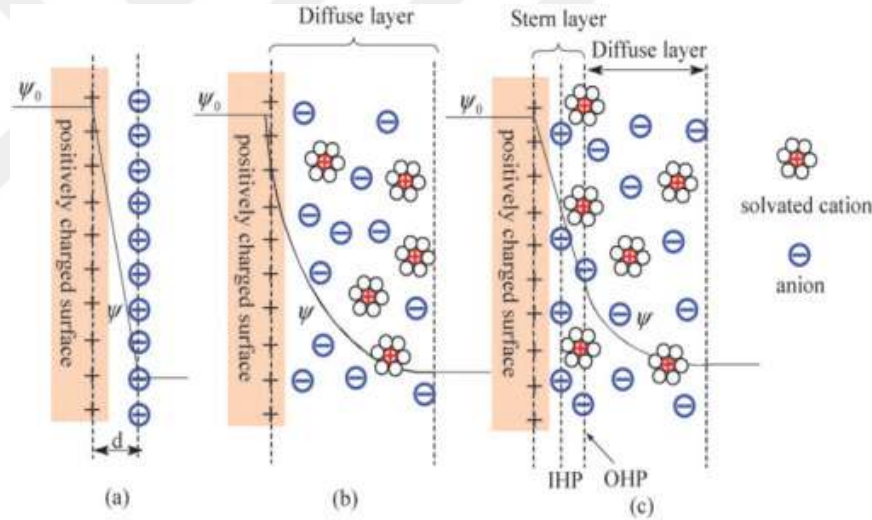
Şekil 2.3 Ultrakapasitörlerin Türleri

Ultrakapasitörlerin türlerinden biri olan elektriksel çift katmanlı kondansatörlerde elektrolit ve elektrotlar arasında şarj depolaması gerçekleşir. Yapısal olarak incelendiğinde çift katmanlı kondansatörler, iki tane karbon bazlı elektrottan, yeterli miktardaki elektrolitten ve bir ayırıcıdan oluşmaktadır. Bu kondansatörler, sahip oldukları maksimum yüzey alanı çok küçük yük ayırma mesafesi (d) sayesinde geleneksel kapasitelerden çok daha fazla enerji depolayabilmektedirler. Yapısal olarak geleneksel kondansatörler ile hemen hemen aynı yapıya sahiptirler ancak geleneksel kondansatörlerden farklı olarak ayırıcı olarak kullanılan dielektrik malzemenin yerine elektrolit içermektedir. Bu elektrolit yapı KOH, Ca_2CO_3 ve H_2SO_4 şeklinde çeşitlilik gösterebilmektedir. Geleneksel kondansatörlerin performansını, fiziksel yapıları, yetersiz şarj depolama alanı ve elektrolit yapının şekli gibi parametreler kısıtlamaktadır [28].

Şekil 2.4 (a)'da gösterildiği gibi, çift katmanlı kondansatörler 1800'lü yıllarda Helmholtz tarafından kolloidal parçacık ara yüzleri üzerindeki zıt yüklerin araştırılması sırasında önerildi ve oluşturuldu. Önerilen bu modelde, iki plaka geleneksel

kondansatörlere benzer şekilde, aralarında çok az bir mesafe ile ayrılırken, elektrot ve elektrolitteki zıt yükler karşılıklı olarak dizilirler.

Daha sonra bu model (Helmholtz), dağınık katman modeli olarak Gouy ve Chapman tarafından güncellenmiştir (şekil 2.4 (b)) [29]. 2 zıt yükün kapasitans değeri, mesafeleriyle iki taraflı olarak artmalıdır. Çift katmanlı kondansatörlerin paralel plakalı kondansatörlerle kapasitif davranışının aynı olduğu düşünülür. Bu yüzden, elektrot yüzeyine yaklaştıkça oluşan kapasitans değeri de büyümektedir. Bundan daha sonra Stern, daha önceden önerilen iki modeli birleştirerek yeni bir model önermiştir (Şekil 2.4 (c)). Bu modelin öneriliş amacı ise, parçacık dağılımının iki farklı bölgede olduğunu kabul etmesiydi. Bu bölgelerin birini ismi “Stern katmanı”, diğeri ise “yayıma bölgesi katmanı”. Çift katmanlı kapasitör için kapasitans, Stern katmanı kapasitansı ve yayılma bölgesi kapasitansının bir kombinasyonudur.



Şekil 2.4 Pozitif Yüklü Bir Yüzeyde Elektriksel Çift Katman İçin Modeller:

(a) Helmholtz modeli, (b) Gouy-Chapman modeli ve (c) Stern modeli [29]

İkinci bir ultrakapasitör türü olan pseudo kondansatörler diğer kondansatörlerden farklı olarak, yüklerin standart kondansatörlerde oluşmasının yanında elektrotlar üzerindeki iyonların yükseltgenmesi ya da indirgenmesi sonucunda var olan kapasitans değerinin değişmesiyle elde edilmektedir. Uygulanan gerilime ve akıma göre de kapasitans değeri değişebilmektedir. Bu kondansatörlerin şarj olmaları için gereken süre çift katmanlı kondansatörlerden daha uzun sürebilmektedir. Şarj kapasiteleri çok fazla olması ve hızlı çalışabilmeleri en büyük avantajlarıdır. Bu tür kondansatörlerin uzun

olarak nitelendirilen şarj olma süreleri dakikalar mertebesinde saniyeler mertebesine kadar indirilmiştir.

Üçüncü bir ultrakapasitör türü olarak nitelendirilen hibrit kondansatörler bu ismi, çift katmanlı ve pseudo kondansatörlerin her ikisinin de belirli özelliklerini alarak oluşturulmasından dolayı almaktadır. Karbon ve metal oksit malzemeler kullanılarak oluşturulan bu kondansatörler, depolayabildiği enerji miktarı açısından çift katmanlı kondansatörlerden fazla iken pillerden daha alt seviyede kalmaktadır.

2.1.3 Pil

Pil ya da diğer adıyla batarya, elektrikli cihazlara güç sağlamak amacıyla kullanılan harici bağlantılar yardımıyla bir veya birden fazla elektrokimyasal hücreden oluşan elektriksel güç kaynağına verilen isimdir. Piller, gelişen teknoloji ve her yerde enerjiye olan ihtiyacımızın artması sebebiyle popülerliği her geçen gün kat ve kat artmaktadır. Günlük hayatımızın vazgeçilmez birer parçası olarak kabul edilen birçok uygulamada (cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, saatler ve mobil onlarca cihaz) kullanılmaktadır. Kullanıcıların talebine göre her türlü şekilde ve büyüklükte yapılabildiklerinden dolayı birçok amaca da hizmet verebilmektedirler.

Tarihi açıdan incelendiğinde ilk olarak 1800'lü yıllarda keşfedilen piller, başlangıcından beri üzerine yapılan çalışmalarla birlikte birçok gelişim kaydetmiştir. Piller üzerine yapılan en hızlı ve kayda değer çalışmalar son çeyrek yüzyılda gerçekleşmiştir. Bunun altında yatan en belirgin ve büyük sebep kuşkusuz insanların ihtiyaçlarına paralel olarak rağbet gören portatif cihazların kullanımından doğan talep miktarındaki artıştır.

2.1.4 Pil Çeşitleri

Piller sadece şekil ve yapı olmak dışında aynı zamanda kullanım tarzına göre de birincil ve ikincil biçiminde olmak üzere iki farklı grupta sınıflandırılabilirler.

Pillerin teknolojik gelişimleri incelendiğinde özellikle ikincil türdeki piller üzerine yapılmış yüzlerce araştırma ve çalışma bulunmaktadır bunun en önemli sebebi ikincil pillerin sahip oldukları yüksek enerji yoğunluğu ve uzun süreli kullanımlarda maliyetin düşük olmasıdır. Malzeme teknolojisinde yaşanan gelişmeler kuşkusuz pil üretimine ve geliştirilmesine de pozitif yönde etki etmektedir. Günümüzde eski teknoloji olarak ifade edilebilecek olan sıvı elektrolitli pillerin dışında, polimer, katı ve erimiş tuz elektrolitli piller geliştirilmeye devam etmektedir. Elektrolitler de bir sınıflandırma parametresi

olarak kullanılabilirler de çoğunlukla piller, birincil ve ikincil biçimde sınıflandırılmaktadırlar.

2.1.5 Birincil Piller

İçerisinde bulunan enerjisi kadar kullanılmak ve bittikten sonra atılmak üzere tasarlanmış pil gruplarına birincil piller denilmektedir. İçerisinde enerji vermek için gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar genellikle tersine çevrilemezler bu nedenle şarj edilemez olarak tanımlanabilirler. Pilin içerisindeki kimyasal reaksiyonun tamamlanmasının ardından pil, akım üretmediğinden dolayı kullanılamaz hale gelir. Birincil gruptaki piller sürekli yeniden üretim gerektiren yapıya sahip olduğundan dolayı çevre kirliliği konusunda büyük problemlere sebep olmaktadır ancak düşük maliyetlerinden dolayı günümüzde halen kullanım oranı oldukça yüksektir. Çok çeşitli voltajda ve boyutlarda bulunan bu piller şekil 2.5 da gösterilmiştir. Ayrıca bu pillerin boyutlarına ve tiplerine göre sınıflandırılışı da bulunulan ülkeye göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 2.5 Birincil ve ikincil yapıdaki piller [35]

2.1.6 İkincil Piller

İkincil grupta bulunan piller yeniden şarj edilebilir; yani pilin içerisindeki elektriksel reaksiyonun gerçekleştiği hücreye dışarıdan akım verilerek kimyasal reaksiyonlar tersine çevrilebilir ve pil tekrar kullanılabilir. Tekrar kullanım özelliği sayesinde uzun vadede bize sağlamış olduğu ekonomik avantajın yanında kullanılan malzemelerin çok kez kullanılmasından dolayı çevresel kirlilik açısından da ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Bu tipteki piller günlük yaşamımızda önemini her geçen gün arttırarak kullanım alanını yaygınlaştırmaktadır. Özellikle son dönemlerde popülaritesi sürekli artan mikro

şebekelerde ve elektrikli araçlarda enerji depolama birimi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır.



Şekil 2.6 İkincil pil örneği

Yapılarında bulunan malzemeler, çalışma gerilimi ve uygulama alanlarına göre tercih edilebilecek tarzda onlarca farklı yapı ve modelde türleri mevcuttur. Bu pillerin en yaygın olarak kullanılan türlerinden biri olan lityum iyon bataryalar başta olmak üzere, kurşun asit, nikel kadmiyum ve nikel metal hibrit şeklinde sıralanabilirler. Bu türdeki pillerin her birinin birbirinden farklı çalışma sıcaklığı, enerji yoğunluğu, çalışma voltajı ve çevrim sayısı (şarj-deşarj sayısı) bulunmaktadır. Kullanılması planlanan yere ve uygulamaya göre tercih edileceği zaman bu kriterlere göre tercih yapılmaktadır.

2.1.7 Pillerin Karakteristik Özellikleri

Bu bölümde pillerin sahip oldukları karakteristik özelliklerden ve bu özelliklerin pil sistemlerinin tercihi ve kullanım üzerindeki etkilerinden bahsedilmiştir.

2.1.7.1 Gerilim (V)

Pillerin kutupları arasındaki potansiyel farka gerilim ismi verilir ve “V” ile ifade edilir. Pilin üzerinde bulunan gerilim hücre reaksiyonunun serbest entalpisine, hücre içi dirence ve elektrot reaksiyonlarının kinetiğine bağlıdır. Genellikle kullanılan standart pillerde pilin gerilim değeri yüksek tutulmaya çalışılırken yeni nesil lityum pillerde ise gerilim değeri daha düşük tutulmaktadır.

2.1.7.2 Kapasite

Pillerin içinde bulundukları enerji miktarı olarak ifade edilebilir. Genellikle miliamper*saat ya da sadece amper*saat cinsinden ölçülmektedir. Örneğin bir batarya 500 mAH değerinde bir kapasiteye sahipse be bu bataryadan ortalama 5mA akım çekiliyorsa, bu pil teoride 100 saat çalışarak gereken enerjiyi sağlayacağı anlamına geliyor. Fakat, bu durum gerçekte farklılık gösterebilmektedir çünkü pilin deşarj olma şekli pilin ömrünü etkilemektedir. Pili katalog değerlerinde kullanmak ondan alınması beklenen performansa yakın çalışmasını sağlasa da deşarj profili değiştirilince elde edilecek sonuçlar aynı oranda doğrusal olmayabilirler.

Her bir elektrotun kapasitesi Peukert kanunu olarak ifade edilen denklem ile gösterilebilir. Bu ifade denklem (2.6) te gösterilmiştir. Bataryaların sahip oldukları kapasiteler içerisinde bulunan en düşük elektrotta göre belirlenmektedirler.

$$C_p = I_B^k t \quad (2.6)$$

Burada, C_p ile gösterilen değer Peukert'e göre kapasite miktarıdır ve birimi Amper-saat (Ah) olarak verilir. Diğer bir ifade olan I_B batarya deşarj akımını (A), t bataryanın deşarj zamanını (saat) ve son olarak da k Peukert sabitini göstermektedir.

2.1.7.3 Enerji Yoğunluğu

Pilin birim kütle başına elde edilebilecek olan enerji miktarına verilen isimdir. Wh/kg olarak ifade edilir. Hava araçları gibi ağırlığın çok önemli olduğu uygulamalarda pil tercihi yapılacağı zaman en çok dikkat edilen kriterlerden bir tanesidir.

2.1.7.4 Çevrim Ömrü

Bataryalar kullanıldıkları süre boyunca sahip oldukları kimyasal yapılardan dolayı şarj-deşarj esnasında fiziksel olarak deformasyona uğramaktadırlar. Bu deformasyona genel olarak çevrim ömrü ismi verilmektedir. Pilin kaç defa şarj olup kaç defa deşarj olacağını gösteren sayıdır.

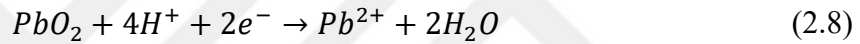
2.1.8 Kurşun Asit Piller

Günümüzde kullanılmaya devam eden en eski pil teknolojilerinden bir tanesi olan Kurşun asit pillerin uygulama alanı çok geniştir. Günümüzde sıklıkla kullanılan lityum iyon gibi şarj edilebilir diğer pillerle kıyaslandığında, kurşun asit piller nispeten daha düşük enerji yoğunluğuna sahiptirler. Ancak kullanılmasının birçok avantajı bulunmaktadır. Bunların

başlıca olanları; hafıza etkisine sahip olmamaları, yüksek deşarj akımına sahip olmaları ve ucuz olması olarak sıralanabilirken gerilim seviyelerinin düşük olması ve beklediği taktirde zamana bağlı olarak kapasitesinin düşmesi gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yapısal olarak bakıldığında elektrotlarında kurşun elementi (Pb) yer alırken elektrolit sıvısı olarak sülfürik asit içermektedir.

Son yıllarda artan teknolojiyle birlikte kurşun asit piller üzerine birçok farklı çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların çoğu, bu pillerin sahip olduğu avantajları kaybetmeden ağırlıklarını azaltmaya yönelik çalışmalardır. Enerji yoğunluğu 32Wh/kg mertebesine kadar çıkarılmıştır. Kurşun asit pillerde gerçekleşen kimyasal reaksiyonların denklemleri (2.7)'den (2.11)'e kadar olan ifadeler kullanılarak açıklanabilmektedir.

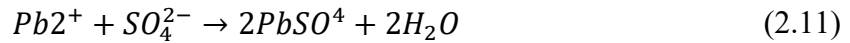
Katot Reaksiyonu



Anot Reaksiyonu;



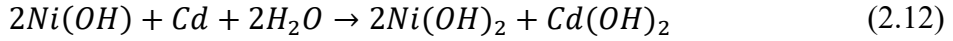
Reaksiyon sonucu;



2.1.9 Nikel Kadmiyum Piller

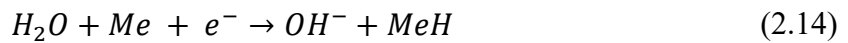
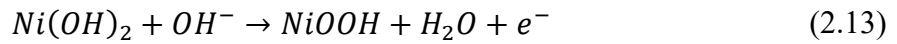
Bu pillerde yine aynı şekilde özellikle pil teknolojilerinin gelişmesi açısından bakıldığında çok eski yıllara dayanan piller arasında yer almaktadır. Bu piller 1989 yılında icat edilmişlerdir. Güvenli yapılarının yanı sıra maliyet olarak da ucuzdurlar. Yapıları incelendiğinde katot olarak nikel oksit hidroksit, anot olarak metalik kadmiyum ve elektrolit olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanan ve şarj edilip yeniden kullanılan bir pil olduğu görülür. Nikel kadmiyum piller gelişmiş bir teknolojiye sahiptirler ve

zorlayıcı çevre koşullarında bile uzun yıllar hizmet vererek ekonomik anlamda çok büyük avantajlar sağlarlar. En büyük dezavantajlarından biri sahip oldukları hafıza etkisidir, yani çok sağlam bataryalar oldukları için çok hızlı bir şekilde şarj edilebiliyorlar ancak batarya tam boşalmadan tekrar şarj edilmek istenirse kapasite değerleri düşüyor ve istenilen performansta çalışmıyorlar. Bu bataryaların içerisinde elektrik enerjisi üretmek için kullanılan kimyasal reaksiyon denklem 2.12 de verilmiştir.



2.1.10 Nikel Metal Hibrit Piller

Nikel-metal hibrit (NiMH) piller 1980'li yılların sonunda geliştirilen ve ilerleyen dönemde kullanımı giderek artmıştır. Sahip olduğu yüksek elektrokimyasal kapasite, güvenilir yapısı, sıcaklık dahil zor çalışma koşullarındaki performansı ve uzun ömür gibi avantajları sayesinde kullanımı hızla artmıştır. Nikel kadmiyum piller ile kıyaslandığında daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ve hafıza etkisi bulunmamasından dolayı piyasaya çıktıkları tarihten itibaren Nikel kadmiyum pillerin pazar payını neredeyse yarı yarıya azaltmıştır [31]. Bu pillerin her iki elektrotunda da nikel oksihidroksit (NiOOH) kullanılır. Bu pillerin katot ucunda gerçekleşen kimyasal reaksiyon denklem 2.13 ile gösterilirken katot tarafında gerçekleşen reaksiyon 2.14 ile ifade edilir.



2.1.11 Lityum İyon Piller

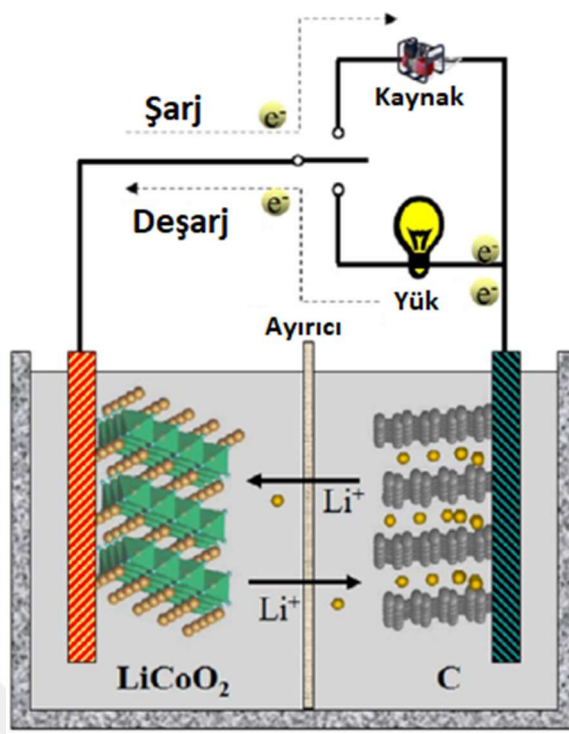
Günümüzde çok yaygın olarak kullanılmakta olan Lityum iyon piller, sahip oldukları yüksek enerji ve güç yoğunluğu sayesinde taşınabilir elektronik cihazlar, elektrikli aletler ve elektrikli araçlar başta olmak üzere en çok tercih edilen teknoloji haline getirmiştir [31]. Lityum iyon bataryalar sadece elektrik tüketim tarafında değil ayrıca güneş, rüzgâr, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin kalitesinin iyileştirilmesi için de kullanılmaktadır. Avantajlarının fazlalığından dolayı hem

tüketiciler tarafından hem de endüstriyel üretim tarafından oldukça ilgi gören bu piller üzerine son yıllarda oldukça çok sayıda araştırma yapılmıştır. Fakat her teknoloji gibi bu teknolojinin de bir sınırı var ve gelecekteki yapılması planlanan çalışmalar için incelendiğinde bu teknolojinin de yetersiz kalacağını düşünen pek çok kişi mevcuttur.

Lityum iyon pillerin diğer pil yapılarına göre daha kullanışlı olmasının nedenlerinde bir diğeri de Lityum elementinin diğer pillerde kullanılan elementlerden kimyasal olarak daha avantajlı olmasıdır. Lityum iyonu çok düşük indirgeme potansiyeline sahiptir ve bu sayede hücrelerindeki potansiyel artmaktadır. Bunun dışında Lityum iyonunu ağırlık bakımından incelendiğinde de büyük bir avantaj sağladığı açıkça gözükmektedir. Bu avantajlar bir araya geldiğinde Lityum pillerin sahip olduğu yüksek güç yoğunluğu neticesinde günümüzde en çok tercih edilen pil ailesi sınıfında yer almaktadır. Ancak her batarya ailesinin sahip olduğu gibi Lityum iyon bataryaların da bazı sorunları bulunmaktadır çok değerliğe sahip katyonlar iyon başına daha yüksek şarj kapasitesine izin verseler bile ek şarj hareketliliklerini önemli ölçüde engellerler.

Lityum iyonunun doğadaki bulunurluğuna bakıldığında yakın gelecekte hammadde açısından bir sorun yaratacağı düşünülmemektedir [32]. Bu durum, şu anda piyasadaki tüm araçların elektrikli araç olması durumunu dahi karşılayabilecek bir potansiyeldedir [33]. Şuandaki avantajlar göz önüne alındığında lityum bazlı batarya sistemleri daha uzun yıllar hayatımızda bulunarak enerji depolama birimi olarak hizmet vermeye devam edecektir.

Lityum iyon bataryalar, içlerinde bulunan temel Li-ion hücrelerinin seri, paralel ve hibrit olarak bağlanmasıyla oluşturulan yapılardır. Farklı pil hücreleri bir araya bağlanarak birbirlerine entegre edilebilmektedir. Lityum bataryalar yapısal olarak incelendiğinde, içerisindeki elektrotlar birbirlerinde mikro gözenekli polimer membran olan ayırıcı ile ayrılırlar. Bu, İki elektrot arasındaki Lityum iyonların geçişine izin verirken, elektronların geçişine izin vermez. Klasik bir Lityum iyon bataryanın çalışma prensibi şekil 2.7 de gösterilmiştir. Pillerin içerisinde bulunan ayırıcı ya da elektrotların cinsi açısından bazı farklılıklar olsa da temel pil hücresi aynıdır.



Şekil 2.7 Lityum İyon Pil Çalışma Şekli [34]

Şarj işlemi sırasında şekil 2.7 de de gösterildiği gibi pilin anot ve katot uçlarına dışarıdan bir güç kaynağı bağlanır. Katotta bulunan elektronlar serbest bırakılmaya ve dışarıdan anoda hareket ettirilmeye başlanır. Bu işlem gerçekleştiği sırada içeride bulunan Lityum iyonları da aynı yönde hareket ederler fakat içeride bulunan elektrolit yolu yardımıyla katottan anoda hareket ederler. Bu işlem sonucunda, dışarıdaki kaynaktan bulunan elektrik enerjisi pilin içerisinde elektrokimyasal enerji olarak depolanır.

Pilin deşarj işlemi sırasında gerçekleşen olay bu işlemin tam tersidir. Anotta bulunan elektronlar pilin dışındaki yolu izleyerek katoda doğru ilerlemektedir. Lityum iyonları pilin içerisindeki elektrolitte anottan katoda hareket ederler.

Pil hücreleri içerisinde oluşması öngörülen hücre voltajı Gibbs serbest enerjisi ($\Delta E = -\Delta G/nF$) yardımıyla teorik olarak hesaplanabilmektedir. Pil sistemleri için kütle başına depolanan ve serbest bırakılabilen enerji miktarı, özgül enerji miktarı olarak ifade edilmektedir (Wh/kg). Pil için spesifik kapasite, birim kütle başına depo edilebilen şarj miktarını ifade eder ve spesifik kapasite ile çalışma geriliminin çarpılması ile özgül enerji miktarı elde edilir.

Lityum iyon pillerin çevrim sayıları, uygulamada, pilin içindeki kimyasal yapıdan farklı olarak, deşarj derinliğinden (DOD), şarj durumundan (SoC) ve ayrıca çalışılan ortamın sıcaklığından da etkilenir.

Lityum iyon pillerin en belirgin sorunlarından birisi güvenlik sorunlarıdır ve çok hücreli Lityum iyon sistemleri için güvenlik önlemi alınması çok önemlidir. Batarya yönetim sistemleri (BMS), hücreler arasında oluşabilecek termal kaçakları önleyebilmek için kullanılmaktadır. Olası bir hücre arızası anında, BMS arıza olan hücreyi algılayıp izole etmektedir.

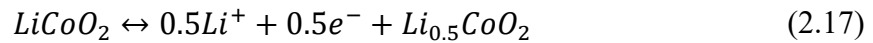
Aktif elektrot malzemelerinin teorik kapasitesi, ilgili elektrokimyasal reaksiyonlara dayalı olarak tahmin edilebilir. Örneğin, LiC₆'yı oluşturmak üzere lityum ile tersinir şekilde birleşebilen grafit anodunun elektrokimyasal reaksiyonu, reaksiyon şu şekildedir:



Anot grafitin teorik spesifik kapasitesi (mAh/g) aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

$$C_{spesifik} = \frac{xF}{nM} = 1 * \frac{96485 \frac{C}{mol}}{6} * \left(12 \frac{g}{mol}\right) = 372 \text{ mAh/g} \quad (2.16)$$

burada x, reaksiyon (1)'de aktarılan elektron sayısıdır, F = 96485 C/mol, Faraday sabitidir, n, reaksiyonda yer alan seçilmiş bir elektroaktif bileşenin mol sayısıdır ve M, aynı elektroaktif maddenin moleküler ağırlığıdır. bileşen. Aktarılan elektronların pratik sayısı olarak 0,5 ile LiCoO₂ için katot reaksiyonu,



Teorik özel kapasite benzer şekilde tahmin edilebilir

$$C_{spesifik} = \frac{xF}{nM} = 0.5 * \frac{96485 \frac{C}{mol}}{1} * \left(98 \frac{g}{mol}\right) = 137 \text{ mAh/g} \quad (2.18)$$

Pratikte, bir Liion pil hücresinin özel kapasitesini değerlendirmek için, sadece katot ve anot malzemelerinin entegrasyonunu değil, aynı zamanda bağlayıcılar, iletken güçlendiriciler, ayırıcılar, elektrolit gibi diğer temel bileşenleri de dikkate almak gerekir. akım toplayıcılar, kasa, sekmeler ve ayrıca pil yönetim sistemleri (BMS). Bu nedenle,

pratik enerji yoğunluğu her zaman pil kimyasına dayalı olarak tahmin edilenden daha azdır.

2.1.11.1 Lityum iyon batarya Kullanımının Avantajları

Lityum-iyon bataryalar sahip oldukları ve kendilerini diğer enerji depolama birimlerinden ayıran;

- Hafif ve küçük boyutlara sahip olması,
- Çok yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması,
- Şarj edilebildiği için çok defa kullanılabilmesi,
- Yüksek şarj-deşarj çevrimine sahip olması,
- Bakım ihtiyaçlarının az olması,
- Hızlı şarj özelliğine sahip olması

gibi özellikleri sayesinde otomotivden havacılık sektörüne, sanayiden günlük yaşantının birçok alanına geniş bir yelpazede kullanımı tercih edilmektedir.

2.1.11.2 Lityum iyon batarya Kullanımının Dezavantajları

Lityum-iyon pillerin her sistemde olduğu gibi avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır bu dezavantajları;

- Yüksek yanma riski,
- Diğer pillerle kıyaslandığında daha yüksek maliyeti,
- Yüksek sıcaklığa karşı olan aşırı hassasiyeti,
- Doğrudan olmasa da çevre kirliliğine sebep olması

Şeklinde sıralayabiliriz.

2.2 Otonom İnsansız Hava Aracı Sistemleri

Otonom ifadesi bir işin ya da bir eylemin herhangi bir cihaz ya da aracın aracılığıyla dışarıdan müdahale olmaksızın gerçekleştirebilen sistemleri ifade etmek için kullanılır. Günümüzde karar verme teknolojilerinde yaşanan büyük gelişmelerle birçok araç hiçbir müdahale olmaksızın kendi kendine görevlerini yerine getirebilmektedir. Tarih boyunca sanayide olan gelişmeler insan hayatına yön vermektedir. Günümüzde meydana gelen bu değişikliklerin başını endüstri 4.0 olarak da bilinen makineleşme çekmektedir. Sanayi ve üretimde yaşanan bu gelişmenin en belirleyici ve yaygın unsurlarından biri olan otonom sistemlerin her geçen gün hızla geliştiği bilinmektedir. Günümüzde otonom sistemlerin

temelini otomotiv sektörü oluştursa da gelişen yapay zekâ (AI) ve malzeme teknolojisinin etkisiyle otonom sistemler başta havacılık ve savunma sanayi olmak üzere birçok alanda etkinliğini arttırmaya başlamıştır.

İnsansız Hava Araçları (İHA) ya da yaygın olarak kullanılan diğer adıyla “Drone”, Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu’nun (ICAO) tanımlamasına göre “Pilotsuz Hava Aracı” (UAV) ya da “Uzaktan Pilotlu Hava Aracı” (RPA) olarak tanımlanmıştır. Üzerinde fiziki olarak pilot bulundurmeyen, hava akımını ve üzerindeki motorlardan yararlanarak elde ettiği tahrik kuvvetini kullanarak uçabilen, yerden kumanda edilebilen veya otonom olarak yani belli bir uçuş planı üzerinden hareket edebilen bir hava aracı türüdür.



Şekil 2.8 Otonom İHA Filosu

Günümüzde İHA kategorisi içerisinde birçok çeşitte hava aracı bulunmaktadır. Bu hava araçlarının yapıları kullanım amacına ve yerine uygun olacak şekilde farklılık göstermektedir. Her ne kadar İHA sistemleri silahlı kuvvetler tarafından kullanılıyor olsa da insan hayatının söz konusu olduğu ya da ulaşımın veya erişimin zor olduğu yerlerde de yangın izleme, radyasyon ölçümü, ilaçlama ve kargo teslimi gibi sivil görevlerde de kullanımı giderek artmaktadır. Savaş ve askeri alanlarda kullanılan insansız hava araçları genellikle uçak formuna sahip iken sivil ve ticari alanlarda kullanılan insansız hava araçları helikopter ya da multicopter formuna sahiptir.

Multicopter sistemleri isminden de anlaşılacağı üzere çok motorlu insansız hava araçlarına verilen genel bir isim olarak tanımlanır. Üzerinde bulundurduğu motor sayısına göre tricopter, quadrocopter, hexacopter, octocopter (3,4,6,8) şeklinde isimlendirilirler. Çok rotorlu yapıları sayesinde dikey bir şekilde iniş-kalkış yapabilme, havada sabit

kalabilme ve üç eksen de kolaylıkla hareket edebilmeleri sayesinde izleme, arama kurtarma ve kargo tesliminde insansız hava araçları arasında ilk sıralarda yerlerini almaya başlamışlardır.

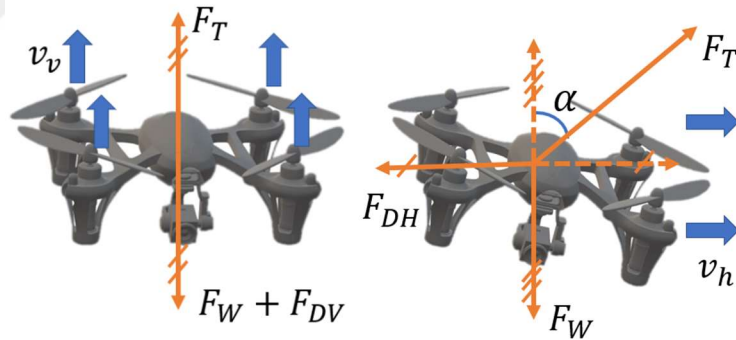
2.3 Enerji Depolama Biriminin Seçimi

Tezin bu bölümünde otonom İHA sistemlerinden ve bu sistemlere yön veren batarya teknolojileri ve batarya çeşitlerinin yanı sıra bu yapıların yerini alabilecek ultrakapasitörlerin yapısından bahsedilmiştir. Bataryaların ve ultrakapasitörlerin çalışma prensiplerinden bahsedilmiştir. Özellikle dünyanın yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneldiği ve sıfır karbon ayak izinin hedef alındığı günlerde elektrikli taşıma araçlarında kullanılan batarya sistemlerinin bileşenleri gibi çevreye ve insan sağlığına zararlı elementler içermemesi, güvenlik konusunda yüksek enerji yoğunluğuna sahip lityum iyon bataryalara göre çok daha güvenli yapıda olmaları, dolum süresinin çok kısa olması ve yaşam döngülerinin çok yüksek olması sebebiyle ultrakapasitörlerden bahsedilmiş ve kullanım alanlarının bu tarz yerlerde yaygınlaşması önerilmiştir.

Bu bölümde insansız hava araçlarından biri olan çok pervaneli İHA'ların ürettikleri kuvveti ile enerji tüketiminin matematiksel modeli incelenmiştir, ayrıca bu matematiksel model çerçevesinde ihtiyaç duyulan enerjinin enerji depo birimi olan ve İHA'larda sıklıkla kullanılan lityum iyon piller yerinde ultrakapasitörler ile karşılanması durumu incelenmiştir.

3.1 Pervaneli İHA Üzerine Etkiyen Kuvvetler ve Enerji Tüketimi

Pervaneli İHA dinamiği denklemleri temel olarak Şekil 3.1'de gösterildiği gibi İHA üzerine etki eden üç ayrı kuvvet tarafından tanımlanabilirler. Bu kuvvetler yerçekiminden kaynaklanan aşağı yönlü kuvvet, yatayda hava akışının bozulmasından kaynaklanan sürtünme kuvveti ve son olarak dikey yönde etki eden F_{DH} ve F_{DV} kuvvetleridir. Bu kuvvetler İHA'nın yükselişi, alçalışı, yatay yönde hareketleri ve manevra hareketleri için pervane motorları tarafından üretilmektedir.



Şekil 3.1 Pervaneli İnsansız Hava Aracı Üzerine Etki Eden Kuvvetler

Buradaki kuvvetler, İHA'nın yüksekliğini ve hızını korumak için ağırlık ve sürtünmeye dayalı kuvvetlere karşı çıkıyor. Şekil 1(a) ve Şekil 1(b), bir pervaneli İHA dikey olarak sabit v_v hızında hareket ettiğinde ve yatay olarak sırasıyla v_h sabit hızında uçtuğunda toplam kuvvetleri göstermektedir. Son olarak, F_w , F_{DV} ve F_{DH} kuvvetleri, F_T 'nin geri yükleme kuvveti ile dengelenir.

Yukarıda verilen F_w , F_{DV} ve F_{DH} kuvvetlerinin matematiksel formülasyonu sırasıyla (3.1), (3.2) ve (3.3)'te açıklanmıştır.

$$F_w = (m_d + m_p)g \quad (3.1)$$

$$F_{DV} = \frac{1}{2} \rho A_t C_d v_v^2 \quad (3.2)$$

$$F_{DH} = \frac{1}{2} \rho A_f C_d v_h^2 \quad (3.3)$$

burada, m_d ve m_p sırasıyla İHA'nın kütlesi ve İHA'nın yüküdür. g yerçekimi ivmesidir. A_f ve A_t , yatay ve dikey yönlerdeki kesit alanları, C_d bir sürüklenme katsayısı ve ρ hava yoğunluğudur.

$F_{T,v}$ ve $F_{T,h}$ 'nin diğer kuvvetleri sırasıyla (3.4) ve (3.5)'te tanımlanmıştır.

$$F_{T,v} = F_w + F_{DV} = (m_d + m_p)g + \frac{1}{2} \rho A_t C_d v_v^2 \quad (3.4)$$

$$F_{T,h} = \sqrt{F_w^2 + F_{DH}^2} = \sqrt{((m_d + m_p)g)^2 + \left(\frac{1}{2} \rho A_f C_d v_h^2\right)^2} \quad (3.5)$$

Ağırlık ve sürüklemeye karşı itme kuvveti, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi dönen bir pervaneden geçen indüklenmiş hava ile elde edilir. İtme kuvvetinin hesaplanması için formül (3.6)'da verilmiştir.

$$F_T = 2\rho A_p v_i^2 \quad (3.6)$$

burada A_p , pervanelerin disk alanıdır ve v_i , indüklenen hava akış hızıdır. Ayrıca güç tüketimi ile kontrol kuvveti arasındaki ilişki (3.7) ile ifade edilmektedir.

$$P_T = F_T v_i = \sqrt{\frac{(mg)^3}{2\pi\rho r^2}} \quad (3.7)$$

Tablo 3.1 Uçan Modda İHA İçin Güç Tüketimine Etki Eden Parametreler

Parametre	Değer
m	Değişken
ρ	1.225 kg/m ³
r	İHA pervane çapı (Değişken)
g	9.796 ms ⁻²

Tablo 3.1'de verilen ρ ve g değerleri bulunulan yere ve konuma göre değişiklik gösterebilmektedir ancak ortalama olarak bu değerler çoğu yere uygunluk sağlamaktadır.

“m” İHA'nın ve üzerindeki faydalı yükün toplam kütesini temsil etmektedir. Bu nedenle, teorik perspektiften, havada asılı mod çalışması için enerji tüketimi, sabit kütle için irtifa üzerinde sabit kalmalıdır.

Öte yandan, motor açısal hızı ve torkunun verimleri nedeniyle, gerçek motorlar tarafından tüketilen güç, dinamikler tarafından elde edilen güçten farklıdır. Bu bağlamda motorun açısal hızını ölçerek daha doğru gücü tahmin etmek mümkündür. Açısal hız ne kadar yüksek olursa, pervanelerden geçen hava miktarı o kadar fazla olur. Bu şekilde motorlar tarafından üretilen F_T , (3.8)'de verilen motor açısal hız cinsinden formüle edilebilir.

$$F_T = \frac{1}{2} N \rho A_p C_t (\omega r)^2 \quad (3.8)$$

burada N rotor sayısı, C_t itme katsayısı, ω rotorların açısal hızı ve r pervanelerin yarıçapıdır. İtme katsayısı C_t genellikle 0,01 ile 0,05 arasında alınır [13].

Bu nedenle, bir insansız hava aracında belirli bir uçuş rotası için gerekli itkiyi (3.1) - (3.5) ile hesaplayabiliriz. Dolayısıyla motorun ürettiği açısal hızı (3.7) ile bulabiliriz. Maksimum yük kapasitesi ve yatay hız limitleri açısal hız ile belirlenir.

İnsansız hava araçlarının tüketmiş olduğu enerji miktarı fiziksel formüllerin matematiksel uygulaması olarak hesaplanmakla birlikte aynı zamanda ölçümsel olarak alınan değerler ile de hesaplanabilmektedir bu durumda ise İHA'nın uçuş modları dikkate alınarak yapılabilmektedir [14]. Literatürde bu alanda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır ve bunlar içerisinde temel modları, rölanti, silahlı-rölanti, kalkış, havada asılı kalma, faydalı yük taşıyıcı, dikey yukarı uçma, yatay uçma ve dikey aşağı uçma olarak belirtilmiş bir çalışma detaylı olarak incelenmiş ve temel alınmıştır. Bu modlar için insansız hava aracının tükettiği enerji denklemleri Tablo 3.2 de detaylı olarak verilmiştir. t_1 ve t_2 sırasıyla boş modda yüklü ve silahlı modda harcanan zamanı göstermektedir. t_3 ve t_4 , havada ve yatay uçuş sırasında harcanan zamandır. V , İHA'nın hızıdır. İnsansız hava aracının uçuş yüksekliği ve iniş noktasının yüksekliği sırasıyla H_1 ve H_2 ile temsil edilir. İHA tarafından taşınan yük L 'dir. Son olarak D , İHA'nın yatay rotada kat ettiği mesafelerdir. İnsansız hava aracı operasyonunun enerji fonksiyonu, her bir enerji modu

denklemleri toplanarak verilebilir, bu nedenle gerekli toplam enerji denklemi (3.9) ile verilmektedir.

Tablo 3.2 İHA'ların Belirtilen Modlarda Enerji Tüketimi [14]

Çalışma modu	Enerji Denklemi
Boşta	$E_{IM} = 8.195 * t_1 - 0.087$
Silahlı	$E_{AM} = 29.027 * t_2 - 0.087$
Yükselme	$E_{TOM} = 0.432 * V^2 + 3.786 * V - 1.224$
Gezinme	$E_{HM} = (4.917 * H_1 + 275.204) * t_3$
Yatay Uçuş	$E_{FHM} = 308.709 * t_4 - 0.852$
Dikey Yükseliş	$E_{FVUM} = 315 * D - 211.261$
Dikey İniş	$E_{FVDM} = 68.956 * H_2 - 65.183$
Yük Taşıma	$E_{PM} = 0.311 * L + 1.735$

$$\begin{aligned}
 E(t_2, t_3, t_4, D, L, H_1, H_2, V) \\
 = E_{AM}(t_2) + E_{TOM}(V) + E_{HM}(t_3, H_1) + E_{FHM}(t_4) \\
 + E_{FVUM}(D) + E_{FVDM}(H_2) + E_{PM}(L)
 \end{aligned} \quad (3.9)$$

3.2 İnsansız Hava Araçlarında Ultrakapasitörlerin Kullanılması

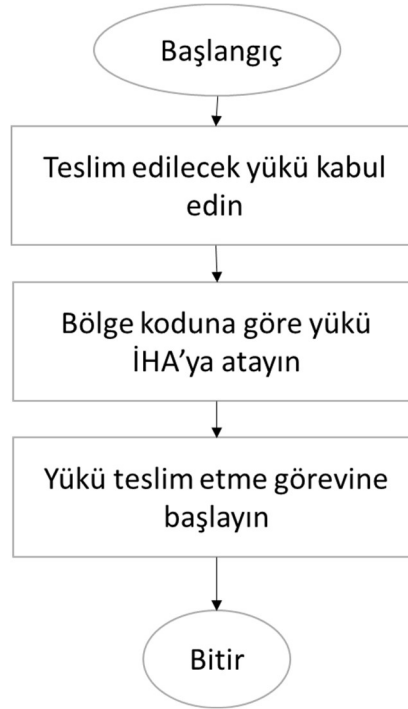
Son birkaç on yılda, insansız hava araçlarına son zamanlarda birçok pratik uygulamada başvurulmaktadır [38][39][40]. Bu eğilimin temel nedenleri, İHA'ların havada asılı kalma, dar yerlerden geçme, engebeli arazilerde dayanıklılık ve ürün teslimat hızı gibi özel yeteneklerine dayanmaktadır. Bu özellikler, özellikle ticari ve askeri alanlarda İHA'ların yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır [41].

İHA'lar birçok uygulamada kullanılmasına rağmen güç yönetim sisteminde bazı sorunlar yaşamaktadır [42]. Bu sorunların temelinde İHA'ların Lityum-iyon pil sistemleri yatmaktadır [43]. Lityum iyon yapıya sahip olan piller, son yıllarda yüksek enerji yoğunluğu ve nispeten düşük maliyetleri nedeniyle İHA'ların güç ünitesi olarak sıklıkla

Deponun iki boyutlu diyagramı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Depo kapalı bir ortamdır ve İHA filosu iki araç içermektedir. Raflar, dağıtım noktaları ve şeritler arasındaki mesafeler de Şekil 3.2'de detaylandırılmıştır. Yük taşıma işlemi, raflardaki depolama alanından teslimat noktalarına kadar gerçekleştirilir. Bu şekilde, önerilen prosedürle İHA'lara uygun görevler atanır.

Bu çalışmada, bina içi insansız hava araçlarının çalışması için alternatif bir konfigürasyon önerilmiştir. Enerji depolama birimi olarak lityum iyon piller yerine ultrakapasitörleri tercih ederek İHA'ların uçuş/şarj süresi oranını artırmak için yapısal bir değişiklik getiriyoruz. Bu nedenle, insansız hava araçlarının şarj süreleri standart lityum iyon pillerle kıyaslanamayacak kadar kısaldı. Ayrıca ultrakapasitörler, fiziksel yapılarının avantajından dolayı bir milyonun üzerinde şarj-deşarj döngüsüne sahiptirler [50].

Bu çalışmada, yüklerin kapalı bir depoda teslimi için uygulanabilir bir İHA işletim algoritması sunduk. Depo ortamında iki otonom insansız hava aracının rastgele teslimat taleplerini taşıması planlanıyor. Operasyon sırasında İHA'ların kapasitelerini aşmaması ve her İHA için farklı uçuş tutumları atayarak birbirleriyle çarpışmalarını garanti edilmektedir. Bu algorithmada insansız hava araçları sabit depolama alanlarına atanır. Her araç sadece kendi operasyon alanından sorumlu olup, teslimat talebi İHA eşleştirme alanında yapılmıştır. Depodaki kargo eşyaları İHA'lar arasında görevlendirilir. Her İHA bir teslimat noktası ile eşleştirilir ve İHA'lar ürünleri yalnızca belirlenen noktaya teslim eder. İnsansız hava taşıtları ile teslimat noktaları arasındaki eşleşmeler Şekil 3.2'de farklı renklerle gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi İHA'ların varış noktaları en yakın bölgelere karşılık gelmektedir. Bu nedenle bölgelerdeki renk kodları teslimat alanındaki en yakın noktaları ifade etmektedir. Bu nedenle, her İHA yalnızca belirli bir rotadan sorumludur. İlgili algoritma Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Ürün Teslimi için Akış Diyagramı

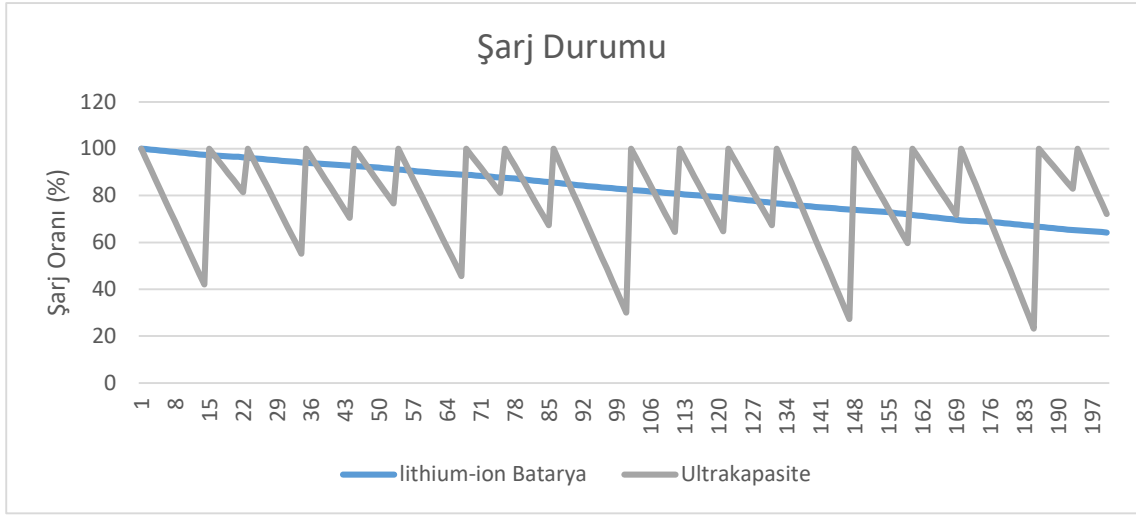
Önerilen yöntemi simüle etmek için Inter/Aero İHA kullanmayı tercih ettik [51]. Bu model, teslimat işlemleri için gerekli esnekliği ve kolay yük taşıyıcı yapısını sağlar. Kullanılması planlanan insansız hava aracının teknik özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Ayrıca Maxwell/BCAP3000 UC'ler daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip oldukları için tercih edilmiş ve piyasada hakim durumdadır. UC'ler için spesifik özellikler Tablo 3.4'te sunulmaktadır.

Tablo 3.3 Intel Aero Teknik Özellikleri

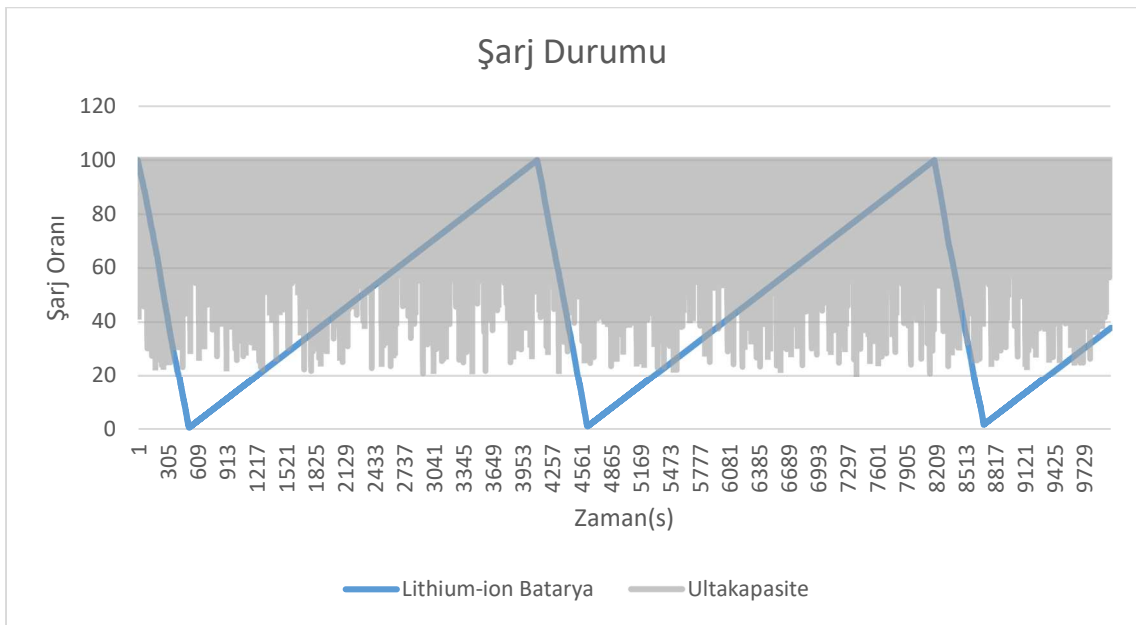
Karakteristik Özellikleri	Değerler
Ağırlık(Bataryasız)	865g
Genişlik	360mm
Yükseklik	222mm
Pervane Çapı	230mm

Tablo 3.4 Maxwell BCAP3000 Özellikleri

Karakteristik Özellikleri	Değerler
Kapasite	3000F
Gerilim	2,7V
Ağırlık	510g
Boyutlar (Uzunluk x Yükseklik)	138 x 60,4 mm



Şekil 3.4 Kısa Dönem Şarj Deşarj Durumu



Şekil 3.5 Uzun Dönem Şarj Deşarj Durumu

Şekil 3.4, bir İHA'ya atanan ilk 20 görev için UC ve pilin şarj durumunu gösterir. UC'nin enerji yoğunluğu pilden daha düşük olduğundan, UC'nin her uçuştan önce yeniden şarj edilmesi gerekir. Ayrıca, UC'nin yeniden şarj olması için nispeten çok kısa bir süreye ihtiyacı vardır, dolayısıyla bu gecikme süreleri çalışmayı önemli ölçüde etkilemez.

Öte yandan, Şekil 3.5, ilk 10000 saniye için teslimat taleplerini karşılamak için UC ve lityum iyon pilin şarj-deşarj eğilimlerini göstermektedir. Bu rakam, bataryaların şarj edilmesi için UC'lerden nispeten daha uzun sürelerle ihtiyaç duymaları nedeniyle kargo operasyonunda gecikmeye neden olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca, lityum iyon pillerin şarj/deşarj döngüleri 500 ile 1000 arasındadır. Bu nedenle, sıklıkla değiştirilmeleri gerekir ve bu durum endüstriyel dağıtım işlemleri için ekstra maliyet getirir.

Tablo 3.5 İHA'ların Taşıdığı Ürün Miktarı ve Tükettiği Enerji

Toplam Enerji Tüketimi	10099.27 Wh
Taşınan Ürün Sayısı	7200

Tablo 3.6 Her Bir İHA İçin Görev Sayısı ve Enerji Tüketimi

	Görev Sayısı	Toplam Enerji Tüketimi
Drone 1	3593	5060.52 Wh
Drone 2	3607	5038.75 Wh

Simülasyon çalışmaları için 7200 teslimat kaleminden oluşan rastgele bir liste oluşturulur. Her ögenin ağırlığı İHA'nın taşıma kapasitesi içerisinde bulunan değerler kümesinden rastgele atanır. Daha sonra İHA'ların tükettiği toplam enerji miktarı Tablo 3.5'te verilmiştir. Ayrıca, toplam görev sayısı ve her bir İHA'nın tükettiği toplam enerji miktarı Tablo 3.6'te gösterilmiştir. Bu tablodan insansız hava araçlarının görev atamaları arasında farklılık olduğu görülmektedir. Bu nedenle İHA'larda yaşlanma faktörünün

İHA'ların operasyonel ömrü üzerinde baskın bir faktör olacağı şeklinde yorumlanabilir. Bu nedenle, UC'lerin nispeten daha yüksek şarj-deşarj çevrim kapasitesi göz önüne alındığında, sınırlı bir kapalı alanda çalışan İHA'lar için enerji depolama sistemleri olarak kullanılmaya uygun bir seçenek olduğu göz önüne çıkmaktadır.

Şekil 3.6, zaman avantajı bakımından ultrakapasitörlerin lityum iyon pillere olan üstünlüğünün ana sonucunu göstermektedir. UC ve batarya ile donatılmış İHA'ların toplam teslim süresi karşılaştırılmıştır. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi, UC'li insansız hava aracı filosu, pille çalışan insansız hava aracı filosu için gereken sürenin yaklaşık %20'sini gerektirir. Enerji depolama sistemlerinde yapılan yapısal değişikliğin liyakatiyle, rastgele seçilen 7200 ögenin İHA tabanlı teslimat prosedürü için operasyonel süre önemli ölçüde azaltıldı.



Şekil 3.6 Toplam Teslimat Süresi

Bu çalışmada, otonom insansız hava araçları kullanılarak kapalı bir depoda teslimat hizmeti gerçekleştirmek için uygulanabilir bir yöntem sunulmaktadır. İHA'ların uçuş/şarj çevrim süresine vurgu yapılmak istendiğinden, İHA'lar ve faydalı yükler arasındaki eşleştirme prosedürü sınırlı bir alanda çalışacak şekilde belirtilmiştir. Simülasyon sonuçları, çalışma süresi ve şarj/deşarj döngülerinin sayısı dikkate alındığında UC'lerin standart lityum iyon pillerden daha uygun olduğunu göstermektedir. Bir sonraki bölümde daha büyük İHA filosu ile faydalı yüklerin eşleştirilmesi için daha uygun bir çözüm sunan algoritma incelenecektir.

3.3 Otonom Depo Taşımacılığı İçin Optimizasyon

Optimizasyon, kısıtlar göz önünde bulundurularak mevcut kaynakları kullanarak maliyet veya kapasite minimizasyonu/maksimizasyonu gibi belirli hedeflere ulaşma sürecidir. Yani kısaca optimizasyon mevcut olan kaynakları en verimli şekilde kullanarak beklenen veya istenen sonuca ulaşarak ortaya çıkan sorunları gidermek olarak ifade edilebilir. Kısıtlar, sistemin çalışma koşulları veya teknolojik kapasitesi tarafından kullanılır. Bu yazıda, faydalı yük ve İHA arasındaki en iyi eşleşmeye karar vermek için ulaşım problemi için enerji minimizasyon prosedürünü formüle edilmiştir.

Prosedürün formülasyonu birtakım değişkenleri içerir. İHA seti, kargo öğeleri, dağıtım kapıları ve varış noktaları sırasıyla K, P, M ve N olarak verilmiştir. Bu kümelerdeki her eleman karşılık gelen şekilde k, p, m ve n ile temsil edilir. Bu kümeler göz önünde bulundurularak optimizasyon problemi için amaç fonksiyonu (3.10)'da verilmiştir. $f = f(k, m, n, p, t_2, t_3, t_4, D, L, H_1, H_2, V)$ 'nin amaç fonksiyonu, p'nin belirli teslimat ürünü ile herhangi bir İHA k'nin enerji tüketimini başlangıçtan itibaren tutar m'nin noktası n'nin hedefine.

$$f = \text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} E(t_2, t_3, t_4, D, L, H_1, H_2, V) \quad (3.10)$$

Bu formülasyonda, belirli bir öğe, platforma yaklaşan teslimat ürününü ifade eder. Bu şekilde, mevcut listeden mümkün olan en iyi İHA ile eşleşmesi için bu öğeye optimizasyon uygulanmıştır. Optimizasyon formülasyonunun kısıtlaması (3.11) ve (3.12) ile verilmiştir. Kısıt (3.11) İHA ürün noktasından ayrılmadan önce yük üzerindeki kısıtlamayı gösterir. Burada $LC(k)$, İHA k için yük taşıma kapasitesi fonksiyonunu ifade eder. Kısıt (3.12), yükü m noktasından n noktasına şarj etmeden almak için yeterli şarj kapasitesine sahip uygun İHA'ları sağlar. $CC(k)$, İHA k'nin şarj kapasitesini temsil eder ve $s(k,n,m)$ İHA k'nin ilgili mesafe için gerekli şarj seviyesini verir. Bu kısıtlamalar, sistem bileşenlerinin teknolojik sınırlarının yanı sıra değişen koşulların İHA'ların kapasitelerine yansımaları da belirlerler. Kapasite parametrelerinin güncellenmesi ile eskime veya işletim değişikliği durumlarına uyarlanırlar. Bu nedenle, en uygun seçeneği aramak için taşıyıcı İHA seti (3.11) ve (3.12) azaltılır.

$$w(p) \leq LC(k) * d(k, m, n, p) \quad \forall k \in K \quad (3.11)$$

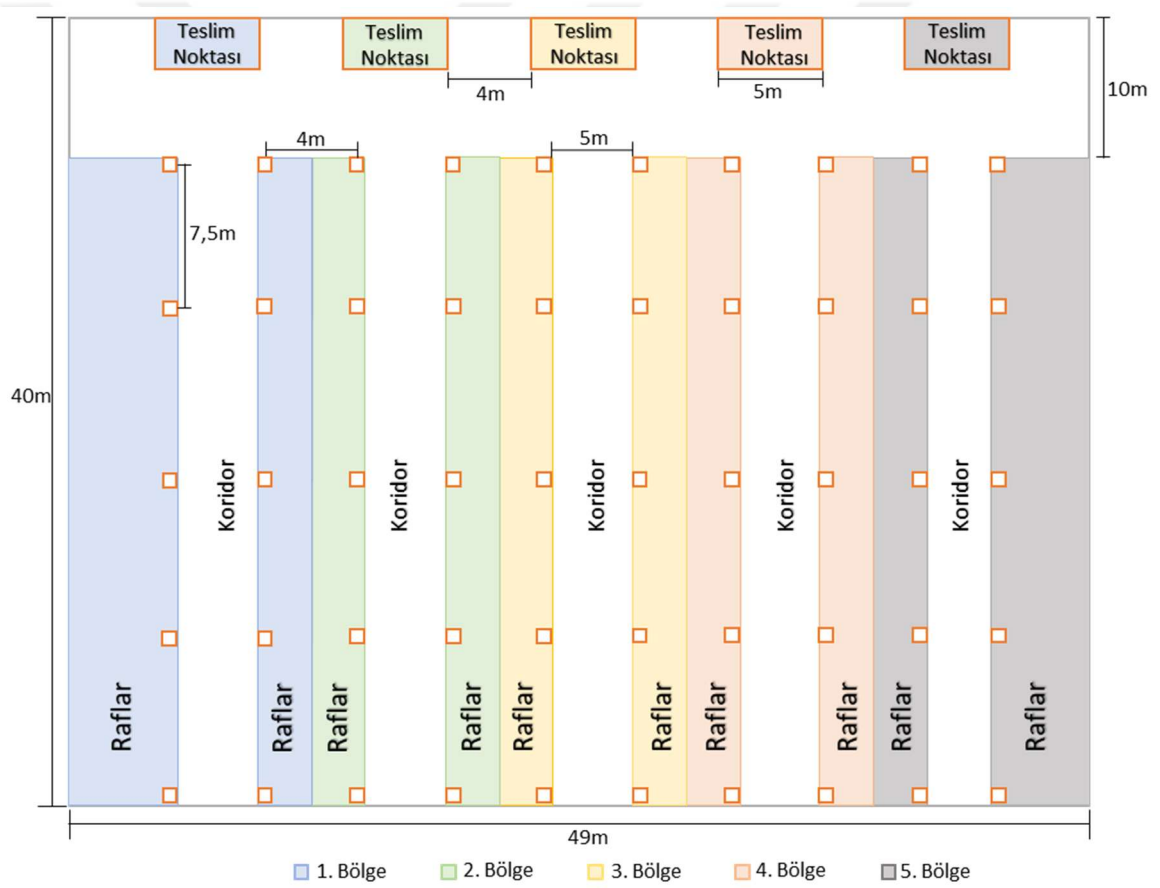
$$s(k, n, m) \leq CC(k) * d(k, m, n, p) \quad \forall k \in K \quad (3.12)$$

burada $w(p)$, p 'nin teslimat kaleminin ağırlığıdır. $d(k, m, n, p)$, İHA k p 'nin belirli ögesi için m noktasından n noktasına giderse ikili değişken 1'dir, aksi takdirde 0. Bu ikili değişken, uygun İHA'ların yalnızca optimizasyon prosedürü için dikkate alınmasını garanti eder. (3.10)-(3.12) İHA ve faydalı yük arasındaki uygun eşleşmeyi kullanarak belirtilen zamanda atanır. Daha sonra, tüm faydalı yüklerin belirlenen lokasyonlara taşınması tamamlanana kadar yedek İHA'lar ile bir sonraki slot için işlem tekrarlanır.



Yöntemler ve Örnek Çalışma

Bu bölümde, enerji minimizasyon problemi takip edilerek ürün paketleri ile yük taşıyıcı İHA'ların optimal eşleşmesi formüle edilmiştir. Deponun iki boyutlu şeması Şekil 4.1'de verilmiştir. Depo kapalıdır ve İHA filosu beş adet taşıt içermektedir. Raflar, dağıtım yerleri ve şeritler arasındaki mesafeler Şekil 4.1'de belirtilmiştir. Teslimat noktalarından raflardaki depolama alanına kadar taşıma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde İHA'lar kabul edilen prosedürle beş teslimat noktasına yüklenmiş ve varış noktalarına yönlendirilmiştir. Bu nedenle, sistemlerin çalışma performansı, teslimat kalemleri ve İHA'lar arasındaki eşleşmeye karar veren aşağıdaki prosedüre bağlıdır.



Şekil 4.1 Depo Şeması

İç mekân pervaneli insansız hava araçları, teslimat süresinde ve yüksek manevra kabiliyetinden dolayı avantajlı oldukları için teslimat operasyonları için artan bir popüleriteye sahiptir. Ayrıca bu hava araçlarının çalışmasındaki en büyük problem sahip oldukları bataryalardan dolayı uzun şarj süresidir. İHA'ların şarj süreleri uçuş süresinden

çok daha uzundur. Standart bir İHA'nın ortalama uçuş/şarj süresi 0,3'tür, öyle ki standart bir pervaneli İHA'nın uçuş süresi 20 dakika iken, bataryayı şarj etmek için gereken süre 60 dakikadır. Bu sorunu gidermek için hızlı şarj sistemleri, pil değiştirme konfigürasyonları ve kablosuz pil şarj üniteleri önerilmiştir [37][38]. Ancak bu yöntemler ya çok pahalıdır ya da İHA operasyonunun performansının düşmesine neden olur.

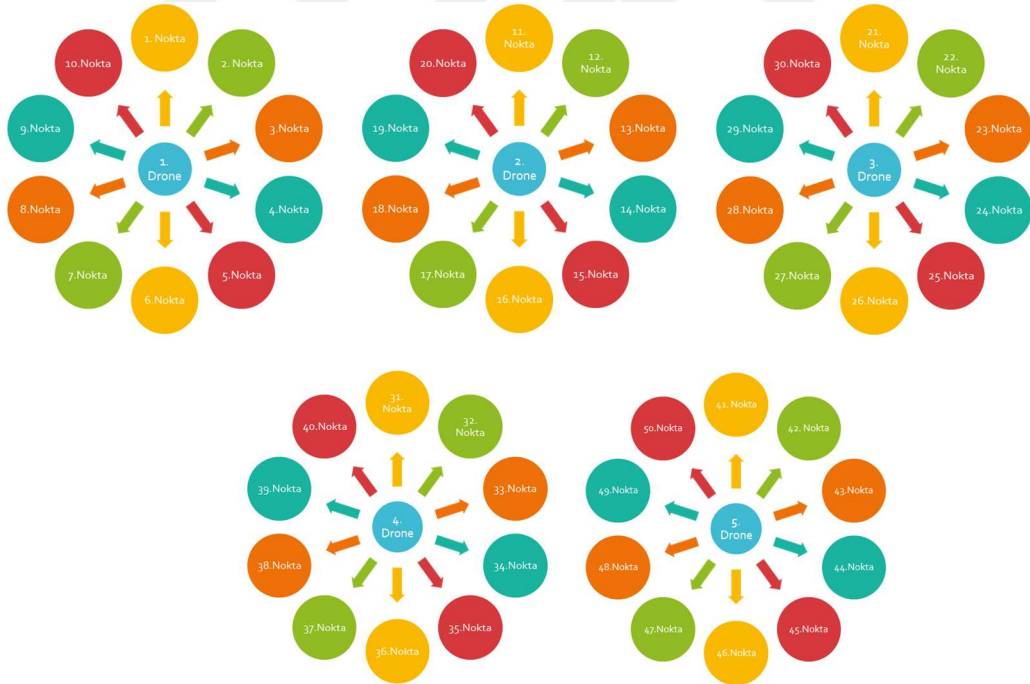
Bu çalışmada, bina içi İHA'ların çalışması için alternatif bir konfigürasyon önerilmiştir. Bir ulaşım sorunu için uçuş/şarj süresi oranını artırmak için, İHA'ların bazı çalışma modlarını ve İHA yörüngelerinin yapısal biçimini sunulmuştur. Bu oranı düşürmek için pil yerine bir önceki bölümde detaylı olarak incelenen UC'ler tercih edilmiştir. Bu nedenle, İHA'ların şarj olma süresi, standart lityum iyon pillerin şarj süresiyle kıyaslanamayacak kadar kısadır. Kalkış ve varış noktaları arasındaki daha kısa mesafe nispeten daha az elektrik gücü gerektirdiğinden, bu konfigürasyon daha uygun bir operasyon sağlar. Ayrıca, UC'ler, enerji depolama kapasitesini kaybetmeden bir milyonun üzerinde şarj-deşarj döngüsüne maruz kalabilir, bu durum ilerleyen dönemlerdeki bakım masrafları ve performans kayıplarının önüne geçmektedir.

Bu çalışmada, kapalı bir depoda depolanan ürünlerin taşınması problemi için yeni bir optimal formülasyon çerçevesi sunulmuştur. Şekil 4.1'de gösterilen depo ortamı için beş adet otonom İHA'nın rastgele gelen teslimat taleplerini taşıması planlanmaktadır. Talep edilen tüm bu kalemler için İHA'ların kısıtlamalar tarafından taşıma kapasitesi dahilinde olduğu ve İHA'ların farklı uçuş yüksekliklerine sahip olmaları nedeniyle havada birbirleriyle çarpışmayacakları garanti edilmektedir. Bu şekilde, öğeleri öngörülen depolama alanına teslim etmek için üç farklı yaklaşım önerilmiştir. Birinci yöntem, klasik bir yaklaşım sağlamaktadır. Bu süreçte İHA'lar sabit depolama alanlarına atanır. Her İHA sadece kendi operasyon bölgesinden sorumludur ve teslimat talebi sabit bölge-İHA eşleştirmesi ile gerçekleştirilmiştir. Yöntem-2&3'te, depodaki teslimat görevini gerçekleştirmek için optimizasyon prosedürleri sunulmuştur. Yöntem-2 için teslimat kalemleri tek tek ele alınmakta ve her bir kalem için uygun İHA'lar arasından en uygun eşleştirme optimal enerji tüketim modeli ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, Yöntem-3'te iki ayrı İHA seti ve faydalı yük öğeleri tanıtılmış ve her grubun öğeleri arasında mümkün olan en iyi eşleşme aranarak belirli bir optimal formülasyon sağlanmıştır. Simülasyon çalışmaları her bir sonucu karşılaştırmış ve önerilen yöntemlerin çalışma süresi ve enerji

tüketimi ile enerji depolama birimlerinin sağlığını koruma açısından uygulanabilir sonuçlara sahip olduğu gösterilmiştir.

4.1 Yöntem 1-Konvansiyonel Yöntem

Bu yöntemde her İHA bir teslimat noktası ile eşleştirilir ve İHA'lar sadece atanan noktadan yükü teslim eder. Depodaki kargo kalemleri İHA'lar arasında atanmış ve İHA'larla eşleştirilen noktalar belirlenmiştir. İHA ile teslimat noktaları arasındaki eşleşmeler Şekil 4.2'de farklı renklerle gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi İHA'ların varış noktaları en yakın bölgelere karşılık gelmektedir. Bu nedenle bloklardaki renk kodları, teslimat bölgesindeki en yakın noktaları ifade eder. Bu şekilde bölge-1'den bölge-5'e kadar sırasıyla mavi, yeşil, sarı, kırmızı ve siyah renklerle tanımlanır. Örneğin mavi renkli bloklar (bölge-1) sırasıyla en soldaki İHA'ya atanır ve sonraki bölgeler sırasıyla İHA'ların çalışması için eşleştirilir.



Şekil 4.2 Yöntem-1 için Ürün İHA Eşleşme

Tablo 4.1 Yöntem-1 İçin Simülasyon Sonuçları

Toplam Enerji Tüketimi	78.187 kWh
Taşınan Ürün Sayısı	7200

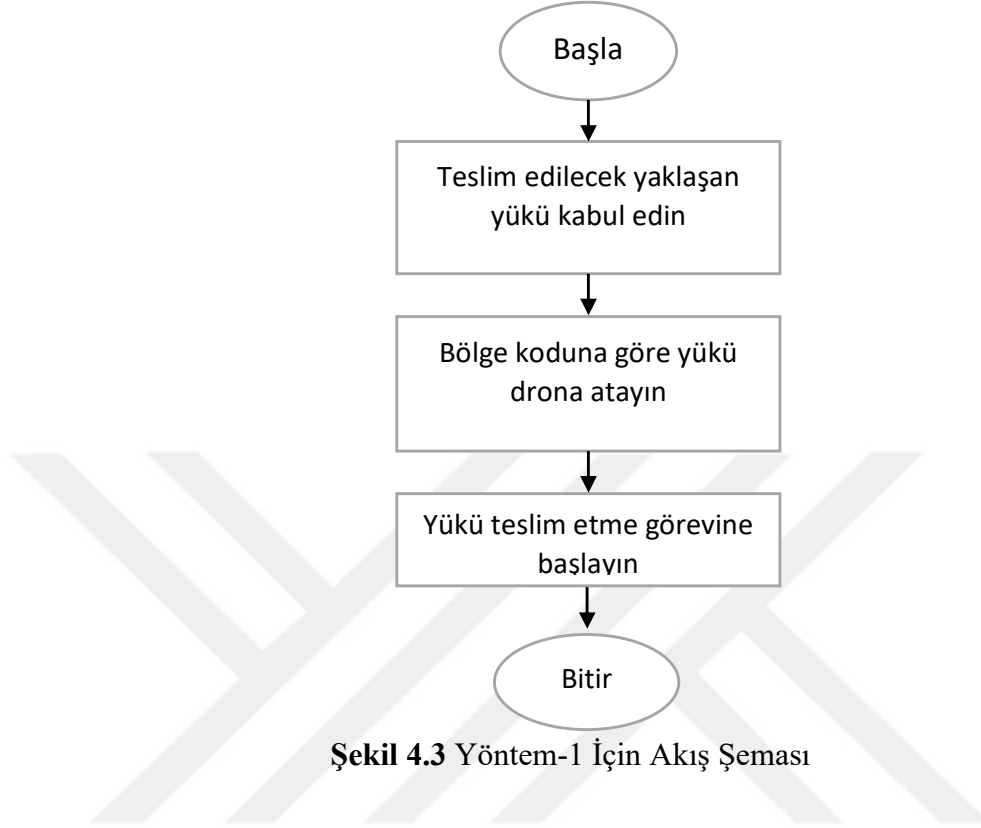
Tablo 4.2 Yöntem-1 İçin Her Bir İHA İçin Görev Sayısı ve Enerji Tüketimi

	Görev Sayısı	Toplam Enerji Tüketimi
Drone 1	1456	15.416 kWh
Drone 2	1462	15.780 kWh
Drone 3	1426	15.995 kWh
Drone 4	1469	16.090 kWh
Drone 5	1387	15.313 kWh

Bu yöntemde kullanılan algoritma Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Öncelikle talep edilen faydalı yük belirlenir. Daha sonra varış noktası belirlenir ve hedef bloğa atıfta bulunularak anında İHA ile istenen öge arasındaki eşleştirme yapılır. Bu yöntemde bir optimizasyon işlemi yapılmaz, bunun yerine depodaki blokların renk kodu yardımı ile işlem mantıklı bir şekilde gerçekleştirilir. Bu konfigürasyonda İHA'lar, teslimat kalemlerini hareket ettirmek için birbirlerine yardım etmezler. Her İHA, ulaşım talepleri için mutlaka belirtilen bölgeye atanır. Dolayısıyla bazı bölgelerin yoğun talepleri varsa, ilgili İHA'lar diğer İHA'lardan destek almadan görevleri yerine getiriyor. Sonuç olarak, bahsedilen durumda bu yapılandırma, görevin başarılmaması için zaman kaybına neden olabilir.

Simülasyon çalışmasında İHA'ların tükettiği toplam enerji miktarı, görev atama sayısı ve operasyon sayısı hesaplanmıştır. Bu süreçte 7200 teslimat kaleminden oluşan rastgele bir liste oluşturulur. Her ögenin ağırlığı rastgele atanır. Simülasyon çalışmasının ilgili sonuçları Tablo 4.1'te verilmiştir. Tablo 4.2, her bir İHA için toplam görev sayısı ve tükettikleri toplam enerji miktarını göstermektedir. Bu tablodan da görüldüğü gibi

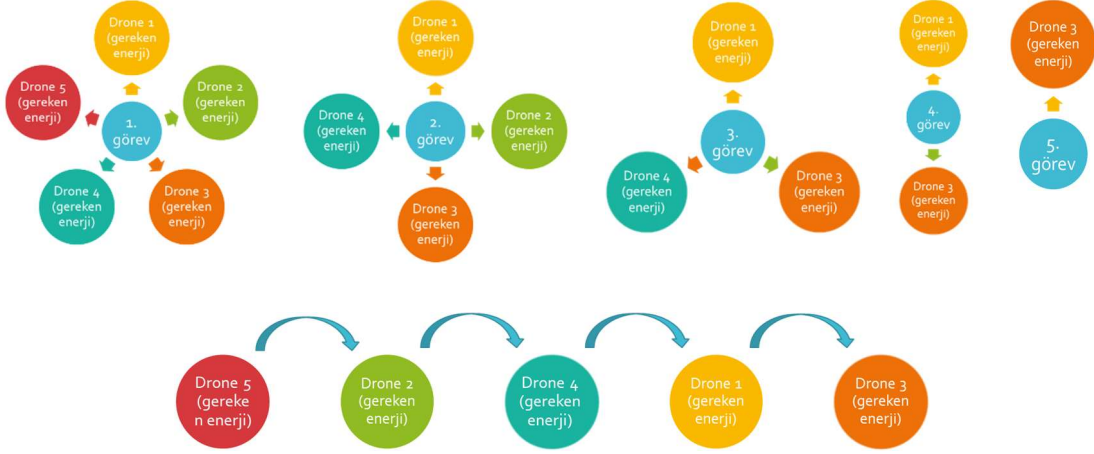
İHA'ların görev dağılımı eşit değildir. Dolayısıyla insansız hava araçları üzerindeki yaşlanma faktörünün operasyonel ömür boyunca farklılık göstereceği yorumu yapılabilir.



Şekil 4.3 Yöntem-1 İçin Akış Şeması

4.2 Yöntem-2

Bu yöntemde İHA'lar, deponun belirli operasyon bölgelerine atanmaz. İHA'lar ve varış noktaları arasındaki uyum, faydalı yükün taşınması sırasında enerji tüketiminin maliyeti ile belirlenmiştir. Bu işlem, setteki uygun İHA'lar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde ilk atamada tüm İHA'lar enerji maliyeti ve kısıtlamaları kontrol etmek için dağıtılır ve en uygun olanı yaklaşan faydalı yük ile eşleştirilmiştir. Daha sonra atanan İHA dolu olarak işaretlenmiş ve İHA setinden çıkarılmıştır. Hemen, yaklaşan yük, aynı optimal formülasyon tarafından atanmıştır. Tüm İHA'lar şarj olduğunda bu işlem sonlandırılmıştır. Bir sonraki adımda İHA'lar birlikte hareket etmeye başlar ve toplu görev, sonuncunun son teslimat noktasına geri gelmesiyle hemen sonlandırılır. Bu nedenle filo bir sonraki teslimat operasyonunu bekler.



Şekil 4.4 Yöntem 2 için Ürün İHA Eşleşmesi

Yöntem-2'nin optimizasyon çerçevesinde amaç fonksiyonu için denklem (3.10)'a başvurulmuştur. (3.10)'daki parametreler, sırasıyla, depo binasındaki hedef konumu ve yük ağırlığını sağlayan iki rastgele fonksiyon tarafından belirlenmiştir. Konumlara bağlı olarak D ve L parametreleri belirlenmiştir. t_3 ve t_4 , L ve depo şeması kullanılarak hız-mesafe formülü ile hesaplanmıştır. Geri kalan parametreler $H_1=H_2=5$ metre ve $V=1$ metre/saniye olarak alınmıştır. Ayrıca, temel kısıtlar (4.13)-(4.14) denklemleri ile verilmiştir. Bu kısıtlamalar ile yük taşıma ve şarj kapasiteleri yetersiz olan İHA'lar optimal çözüm listesinden çıkarılmaktadır. Ayrıca, $Db(k)$ ve $Pb(k)$ 'nin ikili değişkenler olduğu (4.15) ve (4.16) ile verilen bazı kısıtlamalar dahil edilmiştir. Bu değişkenler 0 veya 1 değerlerini alabilir. İHA ve kargo öğelerinin eşleştirme sürecinde benzersiz bir şekilde kullanılmasını sağlarlar. (3.10)-(4.14) tarafından toplanan optimizasyon çerçevesi, İHA filosunun bir sonraki görev atamasını beklemek için platformdaki başlangıç noktalarında yeniden konumlandırılmasından hemen sonra tekrarlanmıştır.

$$w(p) \leq LC(k) \quad \forall k \in K \quad (4.13)$$

$$s(k, n, m) \leq CC(k) \quad \forall k \in K \quad (4.14)$$

$$\sum_{k=1}^5 Db(k) = 1 \quad (4.15)$$

$$\sum_{p=1}^{7200} Pb(k) = 1 \quad (4.16)$$

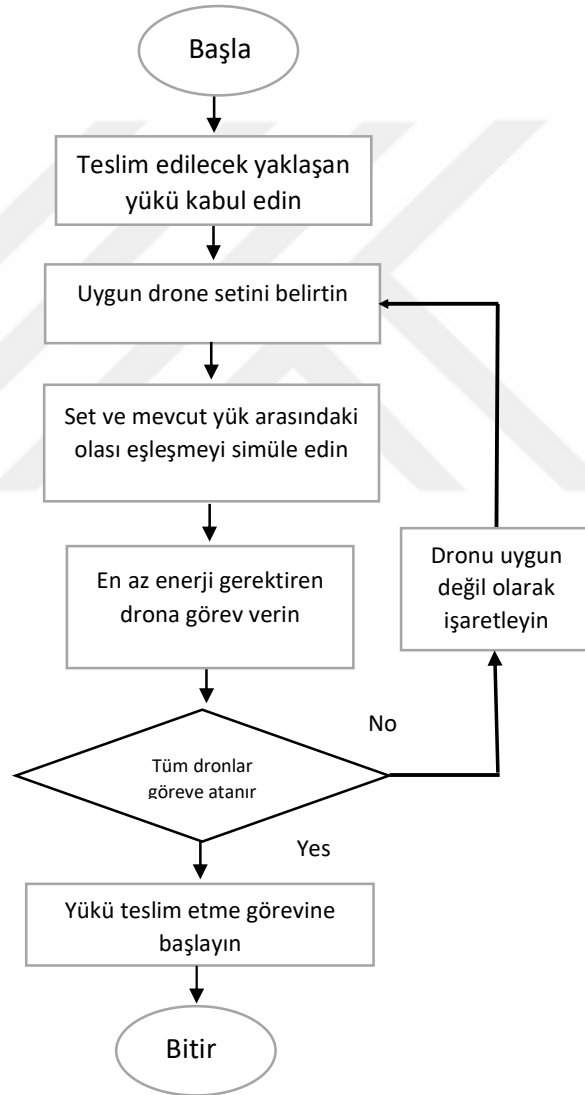
Yöntem-2'nin izlediği prosedür Algoritma-2'de verilmektedir. İlk adım olarak tüm İHA'lar başlangıç noktalarına konumlandırılır ve teslimat kalemleri belirlenir. Daha sonra sırasıyla (3.10)-(4.14)'de verilen maliyet ve kısıt fonksiyonları ile İHA ile eşyalar arasındaki olası tüm eşleşmeler simüle edilmiştir. Bu nedenle enerji ihtiyacı en düşük olan eşleştirme ilk görev olarak atanır ve bu İHA uygun olmayan işareti ile işaretlenir. Bu prosedür, tüm öğeler uygun İHA'lara bağlanana kadar tekrarlanır.

Bu yöntem, işlemde birinci yönteme göre daha az kısıtlama sağlamıştır. Bu konfigürasyonda İHA'ları belirtilen bölgelere atanmamaktadır. Bunun yerine İHA'lar, optimizasyon çerçevesi aracılığıyla karara göre herhangi bir bölgeye hedeflenebilir. Yöntem-2'nin simülasyon sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir. Teslimat kalemlerinin sayısı Yöntem-1 ile aynıdır ve toplam enerji tüketimi ilk duruma göre daha fazladır. Yöntem-2 daha az kısıtlanmış problem içerdiğinden bu sonuç beklenen bir durumdur. Ayrıca, Yöntem-1 konfigürasyonunda, depo beş bağımsız bölgeye ayrılmıştır ve her bölge teslimat hizmeti için sadece bir İHA sahiptir. Bu nedenle, herhangi bir dağıtım bölgesinde aşırı talep yoğunlaşması durumunda, sistem operasyonel verimlilikte çarpıcı bir düşüş yaşamaktadır. Toplam İHA operasyonu değişkeni göz önüne alındığında, Yöntem-2 önceki yönteme göre daha avantajlı sonuçlar vermektedir. İHA filosunun toplam operasyon sayıları arasındaki fark 1799'dur. Bu çok büyük bir sayıdır ve bu sonuç, Yöntem-2'nin operasyonu daha hızlı gerçekleştirdiğini ve önceki yönteme göre biraz daha fazla enerji gerektirdiğini göstermektedir.

Yöntem-1'deki duruma göre İHA'lara verilen görev atamaları karşılaştırıldığında, Yöntem-2, İHA'lara Tablo 4.3'te verildiği gibi eşit görev atamaları sağlamaktadır. Ayrıca Yöntem-1, Tablo 4.3'te verilen atamalarda farklılık göstermektedir, dolayısıyla İHA'ların enerji tüketim değeri de farklıdır. Enerji depolama sistemlerinin verimli çalışması için enerji depolama birimlerinin eskime durumunun benzerlik göstermesi amaçlanmaktadır. Ancak bu durumda bazı İHA'lar aşırı yüklenir ve erken yaşlanmaya maruz kalırlar. Budan dolayı, Yöntem-2, görev atama prosedüründe her bir İHA'nın eşdeğer forma sahip olduğunu garanti eder. Ayrıca, Yöntem-1'deki faydalı yük miktarı aynı olsa da İHA'ların boş zaman dilimleri, Yöntem-1'deki duruma göre nispeten daha kısadır. Sonuç olarak, bu konfigürasyon daha fazla şarj döngüsü gerektirir, ancak UC'ler yeniden şarj etmenin zararlı etkilerine karşı daha fazla toleransa sahiptir. Bu nedenle, bu yöntemde sınırlı zaman kısıtlaması durumunda daha uygun bir işlem vaat edilir.

Tablo 4.3 Yöntem-2 İçin Simülasyon Sonuçları

Toplam Enerji Tüketimi	84.823 kWh
Taşınan Ürün Sayısı	7200
İHA'ların Görev Atama Sayısı	1440



Şekil 4.5 Yöntem-2 İçin Akış Şeması

4.3 Yöntem-3

Bu yöntemde, faydalı yük listesinden beş adet teslimat kalemi seçilir ve İHA'lara birebir karşılık gelir. Eşleştirme, enerji tüketim maliyetleri göz önünde bulundurularak optimizasyon prosedürü ile gerçekleştirilir. Her bir seçenek için ürün setindeki elementler ve İHA filosu ele alınmış ve toplam enerji minimizasyonu yapılarak görev atama kararları verilmiştir. Ayrıca hiçbir İHA, kargo taşımacılığı için faaliyet gösterecek belirli bir bölge ile ilişkilendirilmemiştir. Bu nedenle, bu problem üç yöntem arasında en az kısıtlanmış formdur.

Yöntem-3'ün matematiksel formülasyonuna da (4.10) -(4.12) tarafından atıfta bulunmaktadır. Ancak bu durumda karar verme sürecinde tüm İHA filosu göz önünde bulundurulmuştur. Dolayısıyla maliyet fonksiyonu (4.17) ile verilmiştir. (4.17)'deki parametreler, önceki yöntemde verilenle aynı şekilde belirtilir.

$$g = \text{Min} \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^5 E(t_2, t_3, t_4, D, L, H_1, H_2, V) \quad (4.17)$$

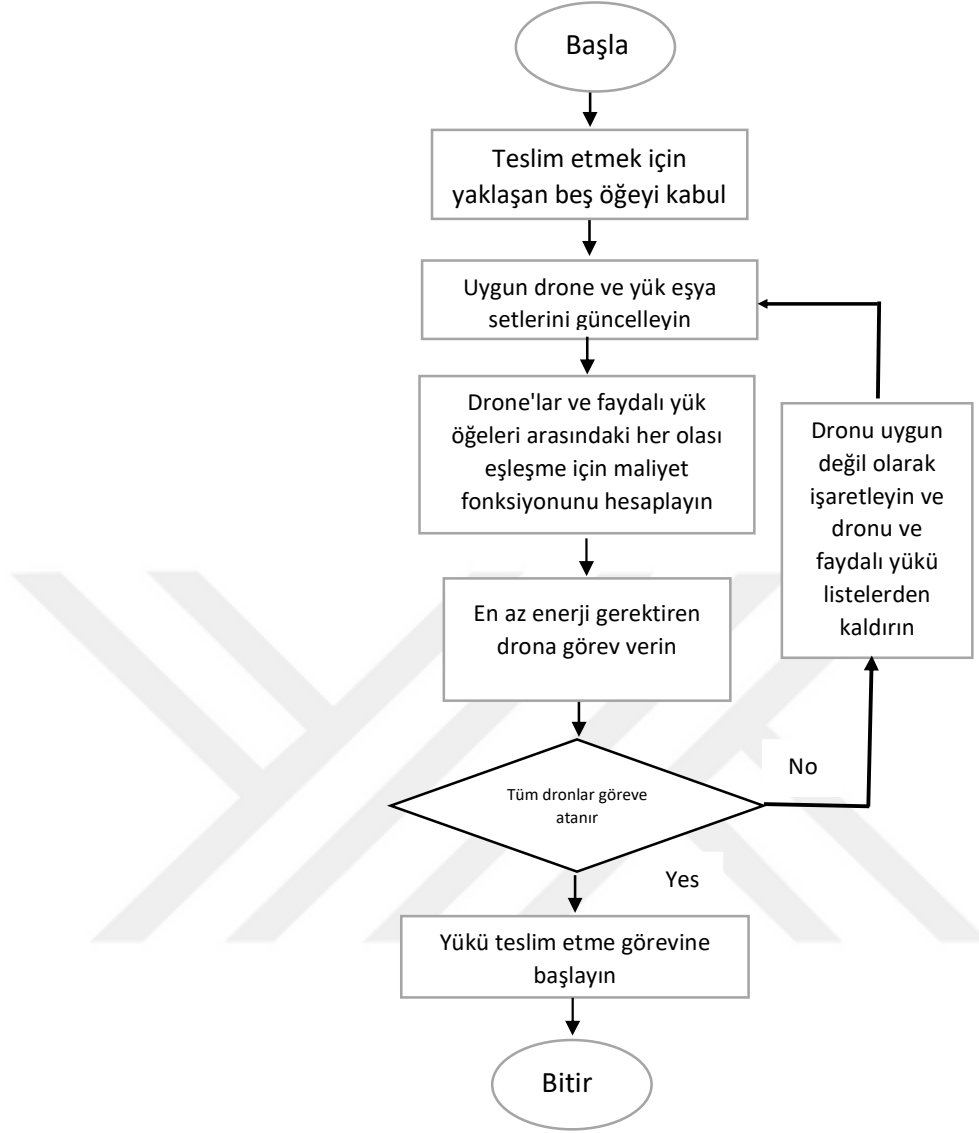
(4.17) denkleminde, $g = g(k, m, n, p, t_2, t_3, t_4, D, L, H_1, H_2, V)$, Yöntem-3 için teslimat maliyeti fonksiyonudur. Teslimat kalemleri, beş elemanlı alt kümeyle rastgele seçilir. Bu küme $S = (s(i); i = \{1, 2, \dots, 5\})$ ile temsil edilir. $d_2(i, k, m, n)$, k İHA'sı s(i) kümesinden düzenli olarak alınan i öğesi için m noktasından n noktaya gidiyorsa ikili değişken 1'dir, aksi halde 0. Daha sonra S seti ile İHA seti arasındaki olası tüm birebir eşleşmeler maliyet fonksiyonu ile birlikte ele alınmıştır. Sonuçlara atıfta bulunularak, uygun eşleşmeler karşılaştırılır ve en uygun olanı seçilir. Daha sonra, ilgili kargo kalemi ve İHA çifti tarafından görev ataması gerçekleştirilir. Bu akış şeması Şekil 4.7 ile verilmiştir. İlk olarak teslimat kalemleri rastgele beş eleman ile gruplandırılmıştır. Daha sonra (4.11), (4.12) ve (4.17) ile optimizasyon işlemi gerçekleştirilir. Bu nedenle, filodaki her bir İHA için, yük ile olası herhangi bir eşleşme için maliyet fonksiyonu hesaplanır. Daha sonra, İHA ve kargo kalemleri arasındaki en iyi eşleşme, maliyet fonksiyonlarının değerine göre belirlenir. Optimum eşleşme sağlandıktan sonra İHA filosu birlikte göreve başlar. Filo teslimat platformuna geri döndükten sonra bir sonraki işlem yinelenir. Bu prosedür, tüm kalemler depoda istenen konuma gelene kadar tekrarlanır.



Şekil 4.6 Yöntem 3 için Ürün İHA Eşleşmesi

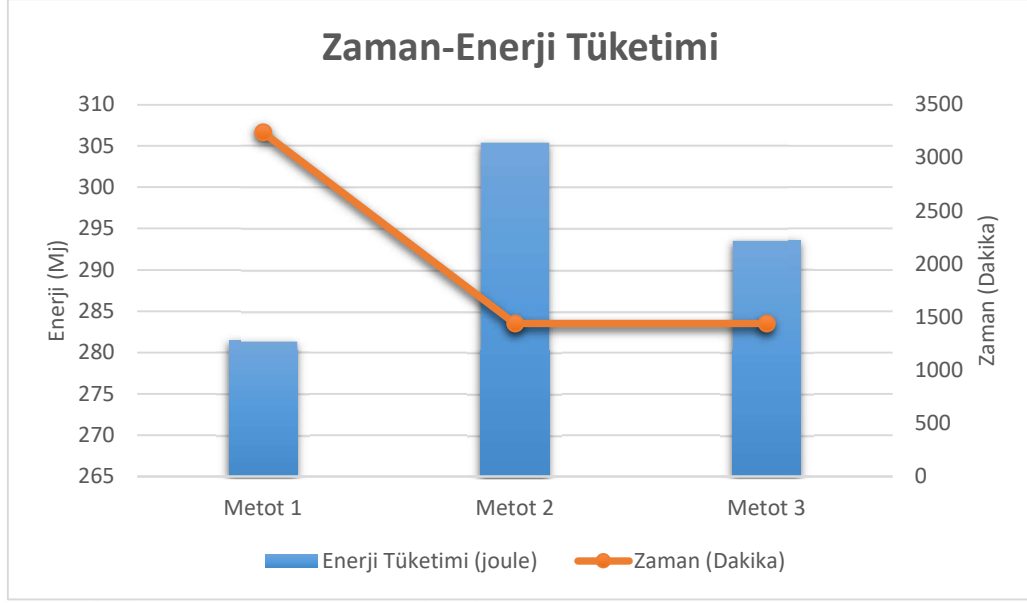
Tablo 4.4 Yöntem-3 İçin Simülasyon Sonuçları

Toplam Enerji Tüketimi	81.549 kWh
Taşınan Ürün Sayısı	7200
İHA'ların Görev Atama Sayısı	1440



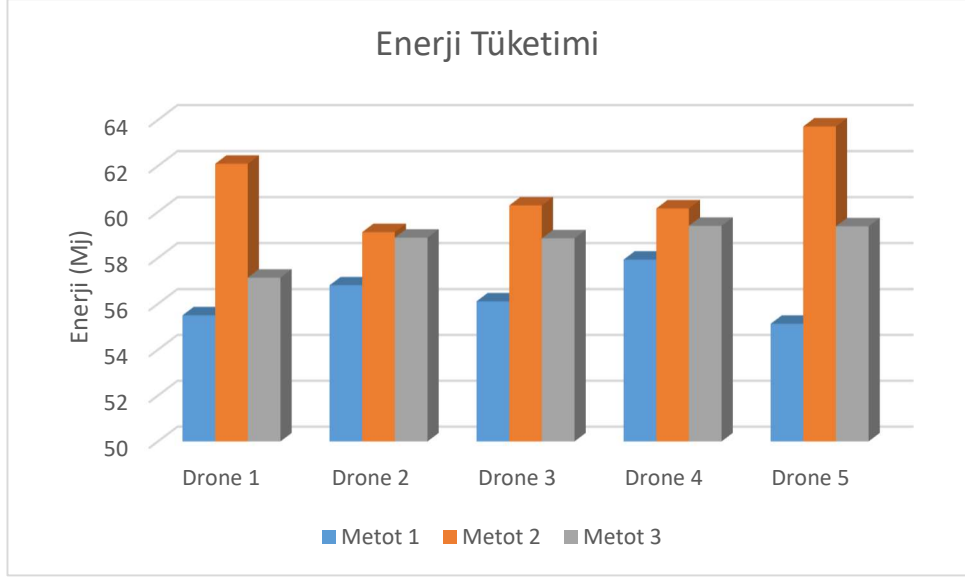
Şekil 4.7 Yöntem-3 İçin Akış Şeması

Tablo 4.4, Yöntem-3'te önerilen yaklaşımın simülasyon sonuçlarını özetlemektedir. Kargo sayısı ve İHA operasyonları sırasıyla Yöntem-2'de elde edilen sonuçlarla aynıdır. Ayrıca toplam enerji tüketimi Yöntem-2'de elde edilen değerden daha azdır. Yöntem-2'den en dikkat çekici fark, bu yöntemin İHA ve faydalı yük setleri arasındaki olası tüm eşleşmeleri dikkate almasıdır. Bu nedenle, kümeler arasında en düşük enerji gereksinimi eşleşmesini bulma potansiyeli daha fazladır. Toplam enerji maliyetleri karşılaştırıldığında bu sorun görülmektedir.

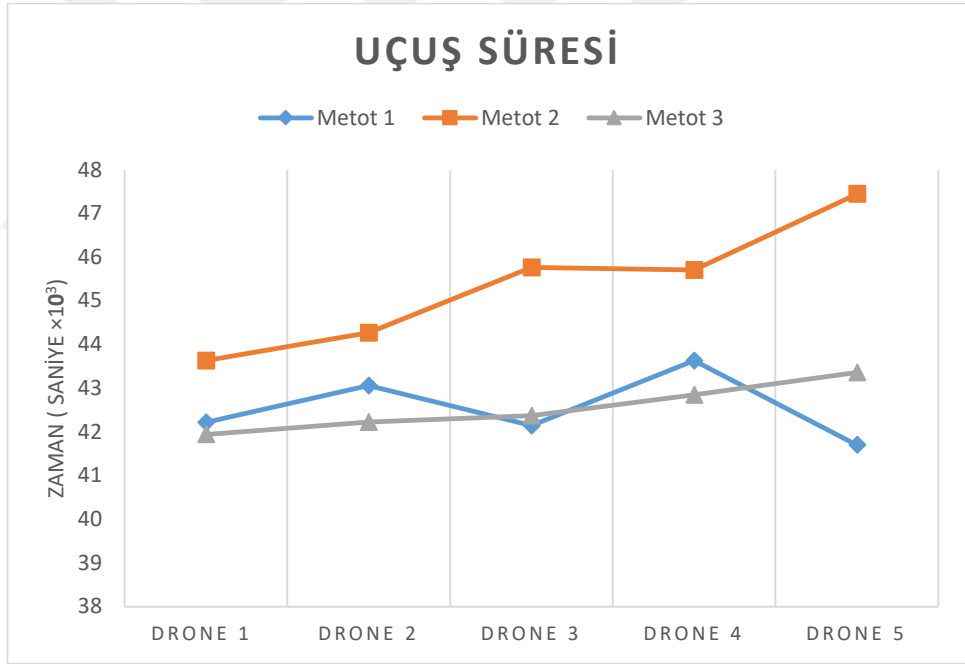


Şekil 4.8 Her Yöntem İçin Çalışma Süresi ve Enerji Tüketimi

Şekil 4.8, her bir yöntem için toplam enerji tüketimini ve çalışma süresini gösterir. Tüketilen enerji dikkate alındığında Yöntem-1 en iyi sonucu verir. Ayrıca, Yöntem-1, çalışma süresi için en kötü duruma sahiptir. Yöntem-2&3, operasyon süresini azaltmak için daha iyi sonuçlar sağlar. Yöntem-2, her optimizasyon yinemesinde yalnızca bir İHA dikkate alır. Öte yandan, Yöntem-3, beş İHA ve beş kargo ögesini dikkate almıştır, bu nedenle, İHA ve faydalı yük arasında en iyi eşleşmeyi seçmek için daha fazla seçeneğe sahiptir. Bu nedenle Yöntem-3, Yöntem-2'den daha iyi sonuç verir. Sonuç olarak, önerilen optimizasyon çerçevesinin enerji tüketiminin yanı sıra çalışma süresini de azaltma kabiliyetine sahip olduğu yorumlanabilir. Şekil 4.9, her bir İHA için ayrı ayrı enerji tüketimini göstermektedir. Her İHA için yaşlanma faktörü göz önüne alındığında, Yöntem-3 en iyi sonuçları verir. Şekilden de görüldüğü gibi yükleme, İHA'ların enerji tüketimi diğer yöntemlere göre daha fazla bir arada kalmaktadır. Dolayısıyla İHA'lar, şarj kapasitesi üzerindeki zararlı etkiler açısından benzer profillere sahip olacaktır. Son olarak, her bir İHA'nın uçuş operasyonları Şekil 4.10'da sunulmuştur. Sonuçlar, Yöntem-3'ün faydalarını göstermektedir. Uçuş operasyon profillerinde ortalama süreyi veya alanın ortalama karekökünü ölçen Yöntem-3, antrepolarda kargo teslim probleminde öne çıkan yöntem haline gelmektedir. Yöntem-2, Yöntem-1'den daha kötü performansa sahiptir, ancak Yöntem-2, toplam görevin toplam başarılarında daha iyi sonuç sağlar.



Şekil 4.9 Yöntem 1-3'te Her İHA İçin Enerji Tüketimi



Şekil 4.10 Yöntem 1-3'te Her İHA İçin Uçuş Operasyon Süresi

Bu tez çalışmasında, sivil ve askeri anlamda birçok farklı hizmet sektöründe gerek güvenlik gerekse hız açısından sağladığı avantajlar sayesinde popülerliği her geçen gün artan otonom insansız hava araçlarının sahip oldukları enerji depolama birimlerinin şarj olma süresini kısaltarak operasyon süresini iyileştirebilmek için enerji birimi olarak standart batarya sistemleri yerine ultrakapasitör kullanılması önerilmiştir.

Önerilen bu otonom insansız hava aracı teslimat sisteminin şarj süresi ultrakapasitörlerin sahip olduğu çok yüksek akım ile çok kısa sürede şarj olma özellikleri sayesinde standart batarya sistemleri kullanılan insansız hava araçlarından daha iyi hale gelmiştir ancak bu tarz hava araçlarında kullanılan bataryaların özellikle Lityum iyon olan pillerin sahip oldukları enerji yoğunluğu fazladır ve insansız hava araçlarının uçuş süresine çok etki etmektedir. Bu çalışmada önerilen yapısal değişiklik sonucunda insansız hava araçlarının sahip olduğu uçuş süresi standart pervaneli insansız hava araçlarından daha düşük olduğu için olan enerjiyi daha verimli kullanmak çok daha önemli hale gelmiştir. Üzerinde yapısal değişiklik yapılan bu otonom insansız hava araçları kullanılarak kapalı bir depo ortamında teslimat hizmetinin gerçekleştirilmesi için simülasyon ortamından yararlanılarak bir çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada öncelikli olarak, insansız hava aracının taşınması için rastgele olarak belirlenen yükler, belirlenen noktalara getirilmiştir ve işlemi gerçekleştiren insansız hava aracının bütün görevleri toplamda ne kadar sürede yaptığı ve harcadığı enerji ile aynı görevleri aynı şekilde yerine getirmesi istenen enerji depo birimi ultrakapasitörlerle değiştirilmiş insansız hava aracı ile yerine getirilerek toplamda geçen süre ve harcanan enerji karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, taşımacılık işlemlerinde kullanılan pervaneli insansız hava araçlarında neredeyse standart olarak kullanılan lityum iyon bataryaların endüstriyel uygulamalar gibi sürekli çalışma gerektiren durumlarda şarj için harcadığı süreler çok ciddi boyutlara ulaşarak iş ve zaman kaybını sebep olmaktadır. Enerji birimi olarak ultrakapasitör kullanımı bu durumun önüne geçerek oluşan iş gücü ve zaman kaybını önlemektedir. Ayrıca, endüstriyel tarzdaki çalışmalarda uzun süre için gözlem yapıldığında sahip oldukları çevrim sayıları ve düşük bakım maliyetlerinden dolayı bu tarz depo ortamlarında sürekli kullanım için çok uygun hale gelmektedir.

Ancak, yine ultrakapasitörlerin sahip oldukları düşük enerji yoğunluğu nedeniyle neredeyse her ürün taşıma işleminden sonra operasyon güvenliği için şarj olma zorunluğu doğmaktadır. Ultrakapasitörlerin sahip oldukları yüksek akımla hızlı şarj olabilme kabiliyetleri sayesinde bu çok büyük bir sorun teşkil etmemektedir ancak zaten az olan enerjiyi daha verimli kullanmak her zamankinden daha önemli hale geldiği için çalışmanın devamında kapalı bir depo ortamı için otonom insansız hava aracı filosu tarafından gerçekleştirilmesi beklenen teslimat işlemi için harcanan enerjiyi minimum seviyede tutmak için üç farklı yöntem sunulmuştur.

Önerilen ilk yöntemde, kullanılan otonom insansız hava taşıtları daha önceden kendisi için belirlenen sınırlı bir bölgede faaliyet göstererek sadece kendisi için belirlenen ürün noktalarından sorumludur ve bu yöntem bölge bazlı bir yaklaşım olduğu için basitleştirilmiş bir prosedür içerir.

Önerilen yöntem-2 ve 3 ilk yöntemden bu bağlamda farklılık içerir ve enerji tabanlı maliyet fonksiyonu tanıtarak optimizasyon yaklaşımı ile geliştirilmiştir.

Yöntem-2’de, talep edilen ürün için depo ortamında bulunan ve müsait olan insansız hava araçları filosu arasında mümkün olan en iyi eşleşmeyi aramak için tek gelen teslimat ögesini ele alınır. Ardından bu ürün için en uygun olan insansız hava aracıyla eşleşme sağlandıktan sonra diğer ürünlerle kalan hava araçları ile eşleştirilmeye devam edilir. Bu yöntem uygulanmasının ardından elde edilen simülasyon sonuçları incelendiğinde, enerji depolama ünitelerinde hem çalışma süresi hem de yaşlanma faktörü açısından Yöntem-2’nin Yöntem-1’den daha iyi olduğunu gözükmektedir.

Önerilen yöntemlerden sonuncusu olan Yöntem-3 de, insansız hava araçları tarafından taşınması istenene faydalı yükler ile araçlar arasındaki en uygun eşleşmeyi aramak için iki ayrı küme dikkate alınmaktadır. Taşıma işlemi için ortaya çıkabilecek tüm insansız hava araçları ile faydalı yükler arasındaki eşleşme ihtimalleri permütasyon işlemi yapılarak değerlendirilir ve optimal formülasyon ile simüle edilir ardından teslimat işlemi için en uygun olan eşleşme sıralaması uygulanır. Yöntem-3 diğer yöntemlere kıyasla uçuş operasyon süresi en iyi performansa sahiptir.

Yöntem-3 ile Yöntem-2 kıyaslandığında, Yöntem-3’ün toplam enerji talebinin Yöntem-2 ye kıyasla daha düşük olduğu gözükmektedir. Bu nedenler İnsansız hava aracı filolarının toplu hareket etmesi üzerine kurulan ve geniş otonom insansız hava aracı

setlerini dikkate alan optimizasyon çerçevesi, çalışma süresi, enerji tüketimi ve pillerin yaşlanma özellikleri açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

Endüstriyel üretimin her geçen gün hızlanarak arttığı günümüzde iş gücünün ve buna bağlı olarak oluşan maliyetleri düşük tutmanın önemi de her zamankinden daha önemli hale gelmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmanın sağlamış olduğu sonuçlar ışığında otonom insansız hava araçları tabanlı taşımacılığın dış mekân uygulamaları inceleyecektir.



- [1] "The Predator's Ancestors - UAVs in The Great War", warnepieces.blogspot.com. <http://warnepieces.blogspot.com/2012/07/the-predators-ancestors-uavs-in-great.html> (Erişim: 12/07/2022).
- [2] Praveenkumar U., Prabhakaran G., Design And Fabrication Of High Endurance Ruav With Rechargeable Solar Power Source, International Journal of Mechanical And Production Engineering, 2014, ISSN: 2320-2092, Volume- 2, Issue- 7.
- [3] "Design Of A Flight Controller And Peripherals For A Quadcopter" https://www.researchgate.net/figure/Oehmichen-No-2-Quadrotor_fig2_336642243 (Erişim: 12/06/2022).
- [4] D. Floreano and R. J. Wood, "Science technology and the future of small autonomous drones", Nature, vol. 521, no. 7553, pp. 460, 2015.
- [5] Zhu, H., Lan, Y., Wu, W., Hoffman, W.C., Huang, Y., Xue, X., Liang, J., Fritz, Brad. 2010. Development of a PWM precision spraying controller for unmanned aerial vehicles. Journal of Bionic Engineering, 7 (2010): 276–283.
- [6] C.-M. Tseng, C.-K. Chau, K. Elbassioni, and M. Khonji. (2017). "Autonomous recharging and flight mission planning for battery-operated autonomous drones." [Online]. Erişim: <https://arxiv.org/abs/1703.10049>
- [7] H. V. Abeywickrama, B. A. Jayawickrama, Y. He, and E. Dutkiewicz, "Algorithm for energy efficient inter-UAV collision avoidance," in Proc. 17th Int. Symp. Commun. Inf. Technol., Cairns, QLD, Australia, Sep. 2017, pp. 1-5.
- [8] J. L. Marins, T. M. Cabreira, K. S. Kappel and P. R. Ferreira, "A closed-form energy model for multi-rotors based on the dynamic of the movement", Brazilian Symp. on Computing System Engineering SBESC, vol. 2018, pp. 256-261, Nov. 2018.
- [9] D. Trihinas, M. Agathocleous and K. Avogian, "Composable Energy Modeling for ML-Driven Drone Applications," 2021 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), 2021, pp. 231-237, doi: 10.1109/IC2E52221.2021.00039.
- [10] D. K. Phung and P. Morin, "Modeling and energy evaluation of small convertible UAVs?", IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), vol. 2, pp. 212-219, 2013.
- [11] Y. Chen, D. Baek, A. Bocca, A. Macii, E. Macii and M. Poncino, "A case for a battery-aware model of drone energy consumption", INTELEC Int. Telecom. Energy Conf. (Proc.), vol. 2018, Oct. 2019.
- [12] S. Ahmed, A. Mohamed, K. Harras, M. Kholief, and S. Mesbah, "Energy efficient path planning techniques for UAV-based systems with space discretization," in Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. (WCNC), Apr. 2016, pp. 1-6.
- [13] N. K. Ure, G. Chowdhary, T. Toksoz, J. P. How, M. A. Vavrina, and J. Vian, "An automated battery management system to enable persistent missions with multiple aerial vehicles," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 20, no. 1, pp. 275-286, Feb. 2015.
- [14] H. V. Abeywickrama, B. A. Jayawickrama, Y. He and E. Dutkiewicz, "Comprehensive Energy Consumption Model for Unmanned Aerial Vehicles, Based

- on Empirical Studies of Battery Performance," in IEEE Access, vol. 6, pp. 58383-58394, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2875040.
- [15] M. Kloetzer, A. Burlacu, G. Enescu, S. Caraiman and C. Mahulea, "Optimal Indoor Goods Delivery Using Drones," *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 2019, pp. 1579-1582, doi: 10.1109/ETFA.2019.8869278.
- [16] J. C. Angarita Noriega, S. R. Prada and C. E. Moncada Guayazán, "Campus priority delivery system for the mail office of a university using an autonomous drone," *2020 IX International Congress of Mechatronics Engineering and Automation (CIIMA)*, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/CIIMA50553.2020.9290322.
- [17] X. Li, H. Huang and A. V. Savkin, "Autonomous Drone Shark Shield: A Novel Shark Repelling System for Protecting Swimmers and Surfers," *2020 6th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, 2020, pp. 455-458, doi: 10.1109/ICCAR49639.2020.9107984.
- [18] C. Rego, "Node-ejection chains for the vehicle routing problem: Sequential and parallel algorithms", *Parallel Computing*, vol 27, pp. 201-222, 2001.
- [19] Schiffer, M., Schneider, M. and Laporte, G. (2018) Designing sustainable mid-haul logistics networks with intra-route multi-resource facilities, *European Journal of Operational Research*, 265(2), 517-532. doi: 10.1016/j.ejor.2017.07.067
- [20] MirHassani, S.A. and Abolghasemi, N. (2011) A particle swarm optimization algorithm for open vehicle routing problem, *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11547-11551. doi:10.1016/j.eswa.2011.03.032
- [21] Erbao, C., Mingyong, L. and Hongming, Y. (2014) Open vehicle routing problem with demand uncertainty and its robust strategies, *Expert Systems with Applications*, 41(7), 35693575. doi:10.1016/j.eswa.2013.11.004
- [22] G. E. Blomgren, "The Development and Future of Lithium Ion Batteries", *J. Electrochem. Soc.*, 2017.
- [23] K. Khosravi, S. Vamegh E. and R. Dhaouadi, "Energy management and control of a standalone PV system using ultracapacitors," *2015 4th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS)*, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/EPECS.2015.7368511.
- [24] A. Burke, "Ultracapacitors: why how and where is the technology", *Journal of Power Sources*, vol. 91, no. 1, pp. 37-50, 2000.
- [25] M. Yang, H. Cho, S. Lee and W. Choi, "High-efficiency ultracapacitor charger using a soft-switching full-bridge DC-DC converter," *2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2015, pp. 2044-2049, doi: 10.1109/APEC.2015.7104630.
- [26] J. Shen and A. Khaligh, "A Supervisory Energy Management Control Strategy in a Battery/Ultracapacitor Hybrid Energy Storage System," in *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 1, no. 3, pp. 223-231, Oct. 2015, doi: 10.1109/TTE.2015.2464690.
- [27] "Different Types of Capacitors and their Uses", [studyelectrical.com](https://studyelectrical.com/2016/12/different-types-classification-of-capacitors.html). <https://studyelectrical.com/2016/12/different-types-classification-of-capacitors.html>(Erişim: 18/06/2022)

- [28] L.L. Zhang, X. Zhao Carbon-based materials as supercapacitor electrodes Chem. Soc. Rev., 38 (2009), pp. 2520-2531
- [29] D.L. Chapman LI. A contribution to the theory of electrocapillarity Lond. Dublin Philos. Mag. J. Sci., 25 (1913), pp. 475-481
- [30] Sheng-Lun Lin, Kuo-Lin Huang, I-Ching Wang, I-Cheng Chou, Yi-Ming Kuo, Chung-Hsien Hung & Chitsan Lin (2016) Characterization of spent nickel–metal hydride batteries and a preliminary economic evaluation of the recovery processes, Journal of the Air & Waste Management Association, 66:3, 296-306, DOI: 10.1080/10962247.2015.1131206
- [31] J.M. Tarascon, M. Armand, "Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries", Nature, 414 (6861) (2001), p. 359.
- [32] J. Speirs, et al., "The future of lithium availability for electric vehicle batteries", Renew. Sustain. Energy Rev., 35 (2014), p. 183
- [33] C. Grosjean, et al., "Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry", Renew. Sustain. Energy Rev., 16 (3) (2012), p. 1735
- [34] Deng, D., M. G. Kim, J. Y. Lee, and J. Cho. 2009. Green energy storage materials: Nanostructured TiO₂ and Sn-based anodes for lithium-ion batteries. Energ. Environ. Sci. 2:818–837
- [35] "Piller şarj edilip yeniden kullanılabilme özelliklerine göre ikiye ayrılırlar", atelim.com.<https://atelim.com/piller-sarj-edilip-yeniden-kullanilabilme-ozelliklerine-gore-ik.html>(Erişim: 18/06/2022).
- [36] J. Chen, C. W. Yu and W. Ouyang, "Efficient Wireless Charging Pad Deployment in Wireless Rechargeable Sensor Networks," in IEEE Access, vol. 8, pp. 39056-39077, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2975635.
- [37] S. Jain, Z. Ahmad, M. S. Alam and Y. Rafat, "Battery Swapping Technology," 2020 5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICRAIE51050.2020.9358366.
- [38] F. B. Sorbelli, F. Corò, S. K. Das and C. M. Pinotti, "Energy-Constrained Delivery of Goods With Drones Under Varying Wind Conditions," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 22, no. 9, pp. 6048-6060, Sept. 2021, doi: 10.1109/TITS.2020.3044420.
- [39] H. Shakhathreh et al., "Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 48572-48634, 2019.
- [40] F. Betti Sorbelli, C. M. Pinotti and V. Ravelomanana, "Range-free localization algorithm using a customary drone: Towards a realistic scenario", *Pervas. Mobile Comput.*, vol. 54, pp. 1-15, Mar. 2019.
- [41] F. Betti Sorbelli, S. K. Das, C. M. Pinotti and S. Silvestri, "Range based algorithms for precise localization of terrestrial objects using a drone", *Pervas. Mobile Comput.*, vol. 48, pp. 20-42, Aug. 2018.
- [42] S. Obayashi, Y. Kanekiyo and T. Shijo, "UAV/Drone Fast Wireless Charging FRP Frustum Port for 85-kHz 50-V 10-A Inductive Power Transfer," *2020 IEEE Wireless*

- Power Transfer Conference (WPTC)*, 2020, pp. 219-222, doi: 10.1109/WPTC48563.2020.9295562.
- [43] M. Shi, J. Hu, H. Han and X. Yuan, "Design of Battery Energy Storage System based on Ragone Curve," *2020 4th International Conference on HVDC (HVDC)*, 2020, pp. 37-40, doi: 10.1109/HVDC50696.2020.9292767.
- [44] J. Kim, Y. Choi, S. Jeon, J. Kang and H. Cha, "Optrone: Maximizing Performance and Energy Resources of Drone Batteries," in *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, vol. 39, no. 11, pp. 3931-3943, Nov. 2020, doi: 10.1109/TCAD.2020.3012790.
- [45] A. Garg and M. Das, "High Efficiency Three Phase Interleaved Buck Converter for Fast Charging of EV," *2021 1st International Conference on Power Electronics and Energy (ICPEE)*, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICPEE50452.2021.9358486.
- [46] M. K. Andreev, "An Overview of Supercapacitors as New Power Sources in Hybrid Energy Storage Systems for Electric Vehicles," *2020 XI National Conference with International Participation (ELECTRONICA)*, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELECTRONICA50406.2020.9305104.
- [47] M. N. Boukoberine, Z. Zhou, M. Benbouzid and T. Donato, "A Frequency Separation Rule-based Power Management Strategy for a Hybrid Fuel Cell-Powered Drone," *IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2020, pp. 4975-4980, doi: 10.1109/IECON43393.2020.9255118.
- [48] E. Kim, Y. Lee, L. He, K. G. Shin and J. Lee, "Power Guarantee for Electric Systems Using Real-Time Scheduling," in *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 31, no. 8, pp. 1783-1798, 1 Aug. 2020, doi: 10.1109/TPDS.2020.2977041.
- [49] M. K. Andreev, "An Overview of Supercapacitors as New Power Sources in Hybrid Energy Storage Systems for Electric Vehicles," *2020 XI National Conference with International Participation (ELECTRONICA)*, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELECTRONICA50406.2020.9305104.
- [50] F. Balsamo, C. Capasso, M. Fantauzzi, D. Lauria and O. Veneri, "Ultra-Capacitor Models for All Electric and Hybrid Ship Power Systems," *2019 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, 2019, pp. 527-533, doi: 10.1109/ICCEP.2019.8890139.
- [51] Intel Australia. (2017). *Specifications for the Intel Aero Ready to Fly Drone*. [Online]. Available: <https://www.intel.com.au/content/www/au/en/support/articles/000023272/drones/development-drones.html> (Erişim: 15.04.2022)

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

F. YANIK, A. R. BOYNUEĞRİ, and Y. EREN, “Delivery Operations In Warehouses By Ultracapacitor Powered Drones,” Rumeli 1ST International Scientific Research Conference On Sustainable Engineering And Technology (ISRCSET’22), İstanbul, May 2022, ISBN:978-60573381-12, pp. 219-229.

