İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARACI DİSİPLİNLERARASI TASARIM OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan KOYUNCU
(511031010)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Süleyman TOLUN

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Şerif KAVSAOĞLU

Prof.Dr. Erol ŞENOCAK

TEMMUZ 2006

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında, üniversite hayatımda olduğu gibi, bana yol gösteren ve ufkumu açan hocam sayın Prof. Dr. Süleyman TOLUN'a, eğitimimde emeği geçen ilk okuldan üniversiteye kadar tanıştığım tüm öğretmenlerime, tez çalışmamla ilgili görüşleri ve desteklerini esirgemeyen ROTAM ve VESTEL Savunma Sanayi çalışanlarına ve son olarak her zaman yanımda olup bana destek veren aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz, 2006 **Gökhan KOYUNCU**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **ii**
KISALTMALAR ..... **v**
TABLO LİSTESİ ..... **vi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**

1. GİRİŞ **1**

2. HAVA ARAÇLARINDA DİSİPLİNLER ARASI TASARIM OPTİMİZASYONU **3**
2.1 Optimizasyon 3
2.1.1 Tanımı 3
2.1.2 Problem formülasyonu 3
2.1.3 Yöntemler 4
2.1.4 Genetik Algoritma 5
2.2 Hava Aracı Tasarımı 16
2.2.1 Raymer metodu 16
2.2.2 Halı çizimleri, iterasyonlar, alış verişler 18
2.2.3 Sistem Yaklaşımı 19
2.3 Hava Araçları Tasarımında MDO 20
2.3.1 MDO 20
2.3.2 Genel Yaklaşım 20

3. İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI **25**
3.1 İnsansız Hava Araçları 25
3.1.1 Tanımı ve Tarihi 25
3.1.2 İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi 29
3.1.3 Türkiye'de Durum 32
3.2 Türkiye için taktik İHA isterleri 38
3.2.1 Arama Kurtarma ve Taktik İnsansız Hava Aracı 39
3.2.2 Görev Özellikleri 39
3.2.3 Uçak Performans Özellikleri 40
3.2.4 Faydalı Yük 40
3.3 Taktik İHA Tasarımı 41
3.3.1 Proje Tanımı 41
3.3.2 Operasyon Senaryoları 41
3.3.3 Tasarım 42

4. İHA TASARIMINA DTO UYGULANMASI **53**
4.1 Amaç 53
4.1.1 Tasarım iyileştirmesi 53
4.1.2 Tasarım değişkenleri 53
4.2 Optimizasyon 54
4.2.1 Optimizasyon metodu seçimi 55

4.2.2 Uygunluk Fonksiyonu 58

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 67

KAYNAKLAR 68

ÖZGEÇMİŞ.. 71

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ArGe : Araştırma Geliştirme
ArTGe : Araştırma Teknoloji Geliştirme
BGA : Basitleştirilmiş Genetik Algoritma
CAD : Computer Aided Design
DAPCA : Development and Procurement Costs of Aircraft
DGA : La délégation générale pour l'armement
DOD : Department of Defence
ES : Elit Seçimi
FAA : Federal Aviation Administration
GPS : Global Positioning System
İHA : İnsansız Hava Aracı
İMHA : İnsansız Muharip Hava Aracı
MALE : Middle Altitude Long Endurance
MEMS : Mikro Elektro Mekanik Sistemler
MDO : Multidiscipliner Design Optimization
NASA : National Aeronautics and Space Administration
TAI : Turkish Aersopace Industries
USYİ : Uzun Süre Yüksek İrtifa
YAKA: Yörünge Altı Keşif Aracı

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1 : İnsansız Hava Araçları Sınıflandırması.....27
Tablo 4.1 : Veri bankası bilgileri.....61

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Tasarım çevrimi 17
Şekil 2.2 : Uçak kavramsal tasarım süreci 18
Şekil 2.3 : Sistem geliştirme süreci 19
Şekil 2.4 : Tasarım akışı 22
Şekil 3.1 : İnsansız hava aracı boyutları 26
Şekil 3.2 : İnsansız hava araçları özellikleri 28
Şekil 3.3 : Amerikan savunması için insansız hava araçlarına ayrılan yıllık bütçe 30
Şekil 3.4 : İnsansız hava aracı üreten ülkeler 31
Şekil 3.5 : Otonomi gelişme trendi 32
Şekil 3.6 : Vizyon 2023 Savunma havacılık ve uzay sanayi paneli 34
Şekil 3.7 : Türkiye topografyası 39
Şekil 3.8 : Faydalı yük 41
Şekil 3.9 : Görev profili 42
Şekil 3.10 : Gövde yerleşimi 45
Şekil 3.11 : Ağırlık tahmini 46
Şekil 3.12 : İster analizi 47
Şekil 3.13 : Kanat geometrisi 48
Şekil 3.14 : Taşıma eğrisi 48
Şekil 3.15 : Tasarım çizimi 52
Şekil 4.1 : Kavramsal tasarım aşamaları 54
Şekil 4.2 : Optimizasyon akışı 55
Şekil 4.3 : Modüller ve görevleri 57
Şekil 4.4 : Modellerin ilişkileri 58
Şekil 4.5 : Görev profili 59
Şekil 4.6 : Gövde ve kanat bilgileri 60
Şekil 4.7 : Kuyruk bilgileri 60
Şekil 4.8 : Motor verileri 64

İNSANSIZ HAVA ARACI DİSİPLİNLERARASI TASARIM OPTİMİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye şartlarında kullanılabilecek bir insansız hava aracının tasarım optimizasyonu yapılmıştır. Çalışma kapsamında kavramsal tasarım evresi sonucunda ön tasarıma geçmeden önce dondurulan tasarım üzerinde kullanılması amacıyla bir optimizasyon kodu geliştirilmiştir. İnsansız hava araçlarının optimizasyonu için geliştirilen bu kod genetik algoritma kullanarak çalışmaktadır. Genetik algoritma yapısı uçak tasarımına uygun şekilde oluşturularak bir insansız hava aracı tasarımı yapılmıştır. Genetik algoritmanın ve seçilme kriterlerinin oluşturulması, evrim yönteminin belirlenmesi çalışmanın teorik bölümünü teşkil etmektedir. Çalışmada özgün karakter tasviri, özgün uygunluk fonksiyonu, özgün seçilme ve üreme kriteri ve özgün mutasyon kriteri kullanılmıştır. Seçilme kriterleri oluşturulurken uçak denklemleri kullanılmıştır. Uçak disiplinlerinden aerodinamik, itki, performans ve maliyet program dâhilinde etkileşimli biçimde çalışmaktadır.

UNMANNED AERIAL VEHICLE MULTIDISCIPLINARY DESIGN OPTIMIZATION

ABSTRACT

In this study an optimization of an unmanned aerial vehicle, which is operable in Turkish territory, is made. An optimization code is developed in order to apply for designs, which are frozen at conceptual stage and ready to continue with preliminary design. This code is developed for unmanned aerial vehicles and uses genetical algorithm. The stucture of the genetical algorithm is developed according to aircraft design and a sample unmanned aerial vehicle design has been made. Genetical algorithm, selection criteria, evolution method determination and design phases are teorichal parts of this study. In this study original genetical character, original fittness function, original selection criteria and original mutation criteria have been used. While determination of selection criteria aircraft equations are used. Those disciplines, aerodynamics, propulsion, performance and cost are used in the program and they are operated interactively.

1. GİRİŞ

İnsansız hava araçları önemini giderek arttırmakta ve daha çok alanda adı geçmektedir. Üzerlerine düşen ve yapması beklenen görevlerin başarısı en iyi performansı sunmasına bağlıdır. Bu bağlamda hava aracı tasarımında insansız hava araçlarının yeri giderek artmaktadır (Çetin, 1995) (Fahlstrom, 2005). İnsansız hava aracı konulu çalışmalarda, yeni tasarım yaklaşımları, gelişen analitik ve sayısal yöntemler, gelişen işlemci ve elektronik altyapı imkânları, artık kabul görmüş kompozit malzeme kullanımı çokça işlenmektedir. Bunlara ek olarak ve belki de en önemlisi tasarımda insana yönelik kısıtlamaların mevcut bulunmaması bu tasarımların çok yırtıcı bir şekilde ilerlemesine ve yakın zamanda hava araçları içerisinde azımsanmayacak sayılarda yer bulunmasına zemin hazırlamaktadır. Bu çalışmada da bir insansız hava aracı tasarımı ve tasarımın erken safhada optimizasyonu üzerinde durulmuştur.

Ülkemizde de insansız sistemlere ilgi giderek artmaktadır ve tezde bu konuya da değinilerek özellikle Türkiye şartlarında işletilebilecek askeri ve sivil görevlere uyarlanabilecek bir insansız hava aracının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarıma konu olan görev Ege sahillerinde ve dağlarında arama kurtarma yapacak, kamera taşıyan bir insansız hava aracı geliştirilmesidir. Tasarım isterleri iniş kalkış, intikal, dolanma, manevra yeteneklerine göre belirtilmiştir.

Tasarımın optimum noktada olmadan ön tasarıma aktarılmasının ileriki safhalarda sorunlar yarattığı düşünülerek son bir kez optimizasyon çalışmasından geçirilmesi önerilmektedir. Burada amaç müşteriye alternatifler sunarak daha iyi performansı sağlayacak uçağın pazarlanması veya tasarımı sıkıntıya sokan, fiyatını yükselten isterlerin indirilmesinin sağlanması değil sabitlenmiş bir görev için ortaya konan tasarımın gerçekten o görevi en iyi şekilde yerine getirecek tasarım olup olmadığının araştırılmasıdır.

Tasarımın isterleri sağlamasının testini yapmak amacıyla bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Burada tasarımın performans isterlerine uygunluk test edilmektedir.

Geriye kalan kısımda ise bu kriterleri sağlayan uçaklar arasından en ucuzu seçilmek suretiyle bir optimizasyon yapılmıştır. Tasarlanan amaç fonksiyonu modülerdir. Bu şekilde hesaba katılmamış diğer değişkenler veya etkiler programa yansıtılabilir veya modüllerden birinin yerine daha kapsamlı bir modül yerleştirilebilir.

Bu çalışmaya bir ön hazırlık olarak insansız hava araçları hakkında bir tanıtım yapılmıştır. Bu araçların gelişimi ile ülkemizde bu konuyla ilgili durum da eklenmiştir. Daha sonra optimizasyon felsefesi ve uçak tasarımıyla ilişkisi incelenmiş ve bir uygulamada en iyi performans alınacağı düşünülen genetik algoritmalar üzerinde durulmuştur.

Optimizasyon çalışması için bir kod yazılmıştır. C++ da yazılan bu kod ile tasarımın başlangıç değeri üzerinden parametreleri kontrol ederek istenen elitlik düzeyinde ve istenen mutasyon oranında arama yaparak mevcut tasarımdan daha optimum bir uçak olup olmadığını araştırmaktadır.

2. HAVA ARAÇLARINDA MULTİDİSİPLİNER TASARIM OPTİMİZASYONU

2.1 Optimizasyon

2.1.1 Tanımı

Optimizasyon genel anlamda bir kavram üzerinde çeşitlemelerle elde edilen bilginin işlenmesiyle gerçekleştirilen iyileştirme çalışmasıdır. Özellikle hesaplamalı bilimlerin dalı olarak "En iyi nedir?", "Mevcut çözüm tek midir?" gibi sorulara sayısal değerlerle ifade edilebilecek bir cevap arayan ve matematiksel optimizasyon başlığıyla anılan bilim alanıdır (Kroo, 1994). Mühendislik, mimari, ekonomi, matematik ve yaşamın diğer alanlarında ortaya çıkan optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik yöntemler geliştirilmiştir.

2.1.2 Problem formülasyonu

Bir optimizasyon probleminin gayesi değişken sınırlarının muhtemel kısıtlarını gözeterek bir niteliğin iyileştirilmesini sağlayan uygun parametre kombinasyonunun bulunmasıdır. İyileştirilecek niteliğe amaç fonksiyonu arayış sırasında değeri

$$\begin{aligned} &\text{MINIMIZE} && f(\tilde{x}) \\ &\text{SUBJECT TO :} && g_i(\tilde{x}) \le 0 \\ & && h_j(\tilde{x}) = 0 \\ & && x_k^L \le x_k \le x_k^U \end{aligned} \qquad \textbf{(2.1)}$$

değişebilen değişkenlere kontrol veya karar değişkenleri ve değişkenlerin alabilecekleri değerler ile ilgili sınırlamalara kısıt denir. Genel olarak optimizasyon problemleri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

Burada $f(\vec{x})$ amaç (objective) fonksiyonudur. Bu fonksiyon çeşitli h fonksiyonu eşitliklerini ve g fonksiyonu eşitsizlikleri sağlayacak şekilde minimize edilir (Fırat, 2000).

Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonları lineer veya nonlineer olabilirler. Tek değer ölçeği (measure of merit) minimize edilebileceği gibi birden fazla değer minimize edilebilir. Genelde amaç fonksiyonun formülasyonu probleme göre düzenlenir. Ceza fonksiyonu, fiziksel programlama gibi teknikler kullanılabilir (Raymer, 2002).

Gelişmiş optimizasyon yöntemlerinin büyük bir bölümünün uygulama alanı belirli türdeki problemlerle kısıtlıdır. Sonuç alınabilmesi için problemin özellikleriyle uyumlu yöntem seçimi önem taşır. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması amaç fonksiyonunun, kısıtların, kontrol değişkenlerinin matematiksel özelliklerine göre veya arama yöntemine göre gerçekleşebilir (Sobiesky, 1996).

2.1.3 Yöntemler

Kısıtlı uzayda yapılacak arama yöntemleri cebir tabanlı yöntemler, sıralamalı yöntemler ve rasgele yöntemler olarak incelenebilir. Cebirsel yöntemler doğrudan ve dolaylı yöntemler olarak iki grupta toplanır. Dolaylı yöntemler, hedef fonksiyonun gradyanını sıfıra eşitlemek suretiyle elde edilen ve genelde doğrusal olmayan denklem takımlarını çözerek yerel ekstremuma ulaşmaya çalışırken, doğrudan yöntemler fonksiyon üzerinde belirlenen noktadaki gradyana bağlı hareket ederek arama yapar. Yerel yaklaşımla kısıtlı ve fonksiyonun türevlenebilirliğinin gerekli olması sebebiyle yeterince gürbüz değildirler. Buna karşın yoğun ilgi gören ve sıklıkla kullanılan bu yöntemler aramanın yönüne rehberlik etmesi için fonksiyonun gradyanını kullandığı için "gradyan azaltma yöntemleri" olarak adlandırılır (Sobieszczanski, 1996). Sürekli fonksiyonların optimizasyonu için geliştirilmiş yöntemlerdir. Tek çukurlu fonksiyonlarda yüksek başarımlı olmasına rağmen çok

çukurlu fonksiyonlarda inilen ilk çukurun en derin çukur olmaması halinde en iyi çözüme ulaşılamamış olur.

Sıralamalı yöntemler, sonlu bir arama bölgesindeki veya ayrıklaştırılmış sonsuz arama uzayındaki elemanlardan her seferinde bir elemanı amaç fonksiyonunda deneyerek arama yapan yöntemlerdir. Basitliği sebebiyle çekici görünmekle birlikte arama uzayının genişliği arama maliyetini aşırı derecede arttırır.

Rasgele arama yöntemi geleneksel yöntemlerin tatminkâr başarımla çözemediği problemleri çözmede kullanılırlar. Problemlerin süreksizliği, bozuntulu veya çok çukurlu bir yapıda olması geleneksel yöntemlerin başarısız olmasına neden olurken rasgele arama yöntemleri buralarda alternatif olabilirler. Genelde tasarım problemleri de bu tip problemlerdir (Raymer, 2002).

Canlı toplulukları nesiller boyunca doğal seçilim süreci ve güçlülerin ayakta kalması prensiplerine göre evrim geçirmişlerdir. Doğadan esinlenerek tasarlanan ve uygulanan genetik algoritmalar evrim sürecinin hesaplamalı modellerinin esas alındığı bilgisayar tabanlı arama ve problem çözme yöntemleridir. Parametrelerin kendisi yerine parametrelerin oluşturduğu dizilişler üzerinden işlem yapar ve bu işlem çözüm adayı olarak kodlanmış birden fazla bireyle yürütülür. Parametreler ikilik düzende gösterimiyle, gerçek sayılarla veya sembolik olarak kodlanabilir. Geleneksel arama metodlarından farklı olarak yalnızca amaç fonksiyonunu değerlendiren genetik algoritma, türev veya benzeri yardımcı bilgilere ihtiyaç duymaz ve bu da büyük bir işlem yükünü ortadan kaldırır. Geleneksel genetik algoritma uygulamalarının çoğunluğu, fonksiyonların sayısal sayısal optimizasyonunda yoğunlaşmıştır. Süreksizlik içeren, çok tepeli, gürültülü verilerin ve fonksiyonların optimizasyonunda diğer yöntemlerden daha başarılı olan genetik algoritmalar, rastgele verilerin modellenmesi için oldukça uygundur. Genetik algoritmaların öğrenme yeteneğine sahip sistemlere ve bu sistemlerin yoğun olarak kullanıldığı yapay sinir ağlarına yönelik uygulamaları da mevcuttur.

2.1.4 Genetik Algoritma

Genetik Algoritmalar, arama ve optimizasyon problemlerinin çözümünde başarıyla kullanılan ve popülerliği her geçen gün artan adaptif yöntemlerdir. Esin kaynağı canlı organizmalardır. Canlı toplulukları nesiller boyunca, ilk defa Charles Darwin'in

"Türlerin Kökeni" (The Origin of Species) adlı kitabında açıkça kaleme aldığı şekilde, doğal seçilim süreci ve güçlülerin hayatta kalması prensiplerine göre gelişmişlerdir (Beasley, 1993). Genetik Algoritmalar ismi ilk defa J.D. Bagley tarafından 1967 tarihli doktora tezinde kullanılmıştır (Demirel, 1999). Evrim sürecini model alan Genetik Algoritma'nın temel prensipleri ise ilk defa J. Holland tarafından 1975 basımı "Doğal ve Yapay Sistemlerde Uyarlanma (Adaptation in Natural and Artificial Systems)" isimli kitapla ortaya konulmuştur (Tsoukalas, 1997). Temelleri açıkça ortada olan evrim sürecini taklit eden Genetik Algoritma, evrimde hangi biyolojik süreçlerin esas hangilerinin tali önemde veya önemsiz olduğu halen araştırma konusu olması sebebiyle gelişime açık bir sahadır. Bundan başka, farklı disiplinlerdeki uygulamalar farklı bakış açıları kazandırmak suretiyle de Genetik Algoritma'nın gelişimine katkı sağlamaktadırlar (Kozaj, 2002).

Genetik Algoritma, her biri, eldeki problemin muhtemel çözümünü temsil eden dizilişler olan bireyler topluluğu üzerinde işlem yapar. Bu dizilişlerin her biri, benzetişim gereği kromozom olarak anılır. Her bireye sağladığı çözümün başarı derecesine göre bir uygunluk değeri atanır. Uygunluk değeri yeterince yüksek olan bireylerin, önceden belirlenmiş bir stratejisi olan seçim işlemi sonunda çaprazlama işlemiyle çoğalması sağlanarak yeni nesiller elde edilir. Elde edilen her yeni nesilin içeriği, atalarının sahip olduğu uygunluk değeri arttırıcı özellikleri daha yüksek oranda barındırır. Böylelikle, uygun değerli parametreler nesil sayısı arttıkça toplulukta daha yaygın hale gelir. Eğer Genetik Algoritma iyi tasarlanmış ise topluluk uygun bir çözüme yakınsayacaktır. Genetik Algoritma'nın gücünün kaynağı, diğer yöntemlerle çözümde zorlanılabilecek problemlerin de dahil olduğu geniş bir uzayda başarıyla uygulama geliştirme imkanı sağlaması ve yöntemin gürbüzlüğü(robust)dür. Genetik Algoritma, global optimumun belirlenmesini garanti etmese de kabul edilebilir derecede iyi bir çözümü, yeterince hızlı bulabilir. Özel çözüm tekniklerinin geliştirilmiş olduğu durumlarda dahi Genetik Algoritma, daha etkin olarak sonucu bulmada veya hibrid kullanımla yöntemi iyileştirmede kullanılmaktadır (Beasley, 1993).

Temel İlkeler

Genetik Algoritma'nın çalıştırılabilmesi için tespit edilmesi gereken temel noktalar: kromozom gösterimi, seçim stratejisi, çoğalma operatörleri, ilk topluluğun

yaratılması, sonlandırma kriteri ve değerlendirme fonksiyonudur. Bu noktaların belirlenmesinde probleme uygunluğu gözetilmelidir (Holland, 1992).

Kromozom Gösterimi

Uygun gösterimden kasıt, muhtemel çözümün bir dizi parametre ile temsil edilebileceği ilkesinin gayri ihtiyari kabulüne uygun olarak parametre sayısının belirlenmesidir. Parametreler, gösteriminde belirli bir alfabenin kullanıldığı genler olarak kodlanırlar. Genler bir araya gelerek kromozomları oluştururlar. Genlerin kromozom üzerindeki yerleri lokus adıyla anılır. Alfabe sembollerden, iki tabanlı sayılar olan [0,1]'den, tamsayılardan, gerçel sayılardan, matrislerden oluşabilir. Genetik Algoritma'nın kullanılmaya başlandığı ilk zamanlarda, parametre değerleri için iki tabanlı gösterim daha uygun görülüp yaygın olarak kullanılmış olsa da gerçel değerli gösterim de mümkündür. Arama uzayının doğasıyla uyumlu gösterimler, daha iyi sonuçlar sağladığından daha verimlidir (Michalewicz, 1994). Bu bağlamda, fonksiyon optimizasyonunda, kromozomların temsili için alt ve üst sınırlar dahilinde gerçel sayıların kullanımı alışılageldik iki tabanlı gösterime kıyasla daha elverişlidir (Michalewicz, 1994). Yapılan çalışmada gerçel değerli gösterim kullanılmıştır. Gen bilimi terminolojisinde, belirli bir kromozomun gen içeriği, genotip olarak anılır. Genotip, bir organizmayı teşkil etmekte gerekli olan bilgiyi içerir. Teşkil edilmiş görüntü de fenotip olarak anılır. Aynı terimler Genetik Algoritma için geçerlidir. Örneğin, bir tasarı işinde, belirli bir tasarımı temsil eden parametreler genotipi oluştururken gerçekleştirilen tasarım fenotiptir. Kromozomun uygunluk değeri, fenotipin başarımına dayanır. Bu da uygunluk fonksiyonu kullanılmak suretiyle kromozomdan hesaplanabilir.

Uygunluk Fonksiyonu

Çözümü istenen her problem için bir uygunluk fonksiyonu belirlenmelidir. Uygunluk fonksiyonu, belirli bir kromozomun çözüme yakınlığının göstergesi olan uygunluk değerinin hesaplanmasında kullanılır (Beasley, 1993), (Busetti, 2002).

Olgunlaşmamış Yakınsama

İlk topluluk rastgele değerlerle yaratıldığından bireylerin uygunluk değerleri ve belirli bir lokusa ait genler arasında ciddi farklılık olacaktır. Topluluk yakınsadıkça

uygunluk değerlerinin varyansı azalır. Çözüme yakınlığının göstergesi olan uygunluk değerinin değişimine bağlı olarak karşılaşılabilecek sorunlar da vardır. İlki olgunlaşmamış (prematüre, erken) yakınsama ve ikincisi yavaş sonlanmadır (slow finishing) (Beasley, 1993), (Busetti, 2002).

Holland'ın şema teorisi, bireylere, uygunluk değeriyle orantılı çoğalma fırsatı tanınmasını önerir. Ancak topluluk nüfusunun sonlu olması zorunluluğu nedeniyle olgunlaşmamış yakınsama gerçekleşebilir. Genetik Algoritma'nın nüfusu sınırlı topluluklarda etkin çalışabilmesi için bireylerin kazanacağı çoğalma fırsatı sayısının ne çok fazla ne de çok az olacak şekilde denetlenmesi gerekir. Uygunluk değeri ölçeklenerek, erken nesillerde, aşırı uygunluk değerli bireylerin toplulukta hakimiyet kurması engellenir.

Yavaş sonlanma

Olgunlaşmamış yakınsamaya karşıt sorun yavaş sonlanmadır. Epey nesil geçmesine rağmen topluluk yaklaştığı halde global minimumu konumlandıramayabilir. Ortalama uygunluk değeri yeterince yüksek değerli olup en iyi bireyin uygunluk değerine yakınsamış olabilir. Olgunlaşmamış yakınsamayı önlemede kullanılan yöntemler bu soruna karşı da kullanılır (Beasley, 1993), (Busetti, 2002), (Öztürk, 2002). Kullanılan yöntemlerle topluluğun etkin uygunluk değerinin varyansı arttırılır.

Doğrusal Ölçekleme

i. kromozomun uygunluk değeri fi ile karşılık gelen hedef değeri oi arasındaki doğrusal ilişki tanımlanır. a ve b sabit değerleri tespit edilirken fi ve oi ortalamaları eşitlenmeye çalışılır (Man ve diğ., 1997), (Demirel, 1999).

Üssel Ölçekleme

A.M. Gillies'in önerdiği yöntemde, probleme bağlı değişkenlik arz eden ve olgunlaşmamış yakınsamayı önleyecek tarzda belirlenmesi gereken bir "k" üssü ölçeklemede kullanılır. Gillies, tanımı verilen yöntemi kullanırken k=1.005 almıştır (Man ve diğ., 1997), (Demirel, 1999).

Sigma Kesmesi

S. Forrest'in önerdiği, doğrusal ölçeklemede karşılaşılması muhtemel negatif uygunluk değerini önleyecek şekilde ölçekleme yapan yöntemdir. C, amaca uygun olarak seçilmiş sabit bir değer ve topluluğun uygunluk değerinin standart sapması olmak üzere tanımlanır. (Man, 1997), (Demirel, 1999).

Seçim

Genetik Algoritma'da çözüme giden yol, bireylerin uygunluk değerinin artışını sağlayan gen içeriğinin edinilmesinden geçer. Bu sebeple, yeni nesili oluşturacak bireylerin seçimi hayati önemdedir. Önerilen çeşitli temel yaklaşımlar ve çeşitlemeleri mevcuttur. Sıklıkla kullanılan stratejiler, kesme seçimi, rulet tekerleği ve stokastik örneklemedir.

Kesme Seçimi

"En Güçlüler Yaşar" prensibinden hareketle uygunluk değerine göre büyükten küçüğe sıralanan bireylerden belirlenen sayıda en yüksek değerli bireyler seçilir, diğerleri yok edilir.

Stokastik Evrensel Örnekleme

James Baker (1987) tarafından önerilen yöntemde rulet stratejisine benzer yaklaşımla, bireyler doğru üzerine yerleştirilir. Seçilecek birey sayısına eşit sayıda işaretçinin, doğru üzerine eşit aralıklarla yerleştirilmesiyle örnekleme yapılır. Örneğin, seçilecek birey sayısı Npointer=6 olduğunda, örnekleme periyodu 1/Npointer=0.167 olur ve ilk işaretçinin yeri [0,1/Npointer]

Aralığında olmak koşuluyla rastgele seçilir (Pohlheim, 1997).

Rulet Tekerleği Seçimi

Stokastik bir yöntemdir. Bireyler, uygunluk değerleriyle orantılı uzunluklarla, ardışık olarak bir doğru üzerine veya her bir diliminin alanı uygunluk değeriyle orantılı olacak şekilde rulet tekerleği üzerine yerleştirilirler. Üretilen rastgele sayının rastladığı aralığın sahibi birey seçilir. Önceden belirlenen birey sayısına ulaşılana dek işlem tekrarlanır (Pohlheim, 1997), (van Rooji, 1996).

Çoğalma

Uygunluk değerini gözeten seçim stratejisi sonucu seçilen kromozomların çaprazlanmasıyla yeni nesili oluşturan bireylerin üretildiği evre, çoğalmadır. Ebeveyn olarak iki kromozom seçildikten sonra gerçekleşen çaprazlama işlemi tek veya çok noktalı olabilir. Rastgele belirlenen noktadan ikiye ayrılan kromozomlardan baş ve kuyruk dizileri elde edilir.

Baş veya kuyruk dizilerinin değiş-tokuşu sonrasında birleştirilen diziler yeni nesilin iki ferdi olarak kromozom havuzuna kaydedilirler.

Mutasyon

Faydası tartışılmaya devam etmekle birklikte sıkça kullanılan bir diğer genetik operatör mutasyondur. Rastgele seçilen kromozomdaki bir veya birkaç geni rastgele değişikliğe uğratan mutasyon operatörünün nesil başına uygulanma oranının düşük olması tavsiye edilir. İki tabanlı gösterimde, genin alabileceği değer {0.1} ile kısıtlı olduğundan 0→1'e, 1→0'a dönüşür. Gerçel sayılı gösterimde ise, gendeki değişim, rastgele belirlenen bir sayıyla yerdeğişimine bağlı olabileceği gibi mevcut değere mutasyon adımı olarak anılan küçük ilavelerle de gerçekleşebilir.

Yakınsama

Genetik Algoritma'nın doğru gerçekleştirildiği uygulamalarda, kromozom topluluğundaki en iyi ve ortalama uygunluk değerleri, bireylerin, evrim sonucu gelişimiyle birbirine ve global optimuma yakınsar. Uygunluk kriterini sağlayan birey yakınsamıştır denir. Topluluk ortalamasının, en iyi bireyin uygunluk değerine yakınsadığı durumda topluluk yakınsamış olur. Topluluk ve kromozomun

yakınsamasından başka, genin yakınsaması da tanımlanmıştır. Bir nesildeki kromozomların belirli bir lokusu %95 oranında aynı gene sahipse gen yakınsamıştır denir (Beasley, 1993), (DeJong, 1980).

Tersten Sıralama ve Yeniden Düzenleme

Genlerin sıralanışı çok önemlidir. Sıralamayı değiştirerek arama uzayını genişleten bir operatör tersten sıralamadır. Bu operatör, bir kromozom üzerindeki genlerden rastgele belirlenmiş iki lokus arasında kalanları ters sırayla yerleştirir.

Çift Değerlilik ve Baskınlık

İleri hayat formlarında kromozomlar ikili sarmal düzendedir, genler iki şerit üzerine kodlanmıştır. Birbirinin alternatifi iki genin kodlandığı yapı, çift değerli (diploid) kromozom adıyla anılır. Bugüne kadar olan Genetik Algoritma çalışmaları tek şerit üzerine kodlanmış genlerle gerçekleştirilmiştir. Tek şeritli yapı haploid kromozom adıyla anılır. Çift değerliliğin sağlayabileceği faydalar olmasına karşı programlama ve işlem kolaylığı sağlamasından dolayı haploid yapı tercih edilmiştir. Zamana bağlı değişimin sözkonusu olabileceği ortamlarda farklı iki çözümü barındıran diploid kromozomlar avantajlıdır. Aynı parametreyi kodlayan genlerden biri baskın diğeri çekinik olacaktır ve ortamdaki değişimle genler de baskınlık/çekiniklik özelliğini değiştirebilecektir. Çift değerlilik, gende evrim sürecinden daha hızlı değişim sağlar.

Epistasis

Genler arası etkileşim epistasis adıyla anılır. Bir genin uygunluk değerine katkısı, diğer genlerin sahip olduğu değerlere bağlıdır. Epistasis çok fazla ise Genetik Algoritma verimli olmayacaktır. Çok düşük olduğunda ise diğer yöntemlerin başarımı Genetik Algoritma'ya göre yüksek olacaktır.

Aldanma

Evrim süreci işledikçe, global optimumu sağlayacak olan şemaların veya yapı taşlarının toplulukta görülme sıklığı artacaktır. Bu optimal şemalar, çaprazlama operatörüyle, nesiller geçtikçe biraraya toplanır ve global optimum sonucu sağlar. Global optimumu bulunmasına katkı sağlamayacak şemaların görülme sıklığının artışı ıraksamaya sebep olacaktır. Bu sonuç, aldanma olarak bilinir. Aldanma için epistasis gerekli fakat yeterli değildir.

Genetik Algoritmalar Nasıl Çalışır?

Yaratıcılarınca dahi tam olarak anlaşılamadığı halde, doğal seçim sürecine benzeşimle evrim geçirerek problem çözen bilgisayar programları Holland, (1992a) olan Genetik Algoritma'nın iyi çalışmasını garantileyebilmek amacıyla deneye dayalı kuralların bulunmasına dönük araştırmaların sonucu ulaşılmış ve kabul görmüş bir genel teori henüz yoktur (Beasley, 1993). Yine de başarılı uygulamalar geliştirilmesinde yardımcı olan ve Genetik Algoritma'nın başarısını kısmen izah

edebilen iki ekol vardır. Sırasıyla izah edilmiş olan bu iki yaklaşım Şema Teoremi ve Yapıtaşı Hipotezi'dir (Beasley, 1993). Şema teorisinin bir özelliği de Genetik Algoritma'nın sahip olduğu aleni ve üstü örtülü paralellik (koşutluk) özelliklerinden ikincisini açıklamasıdır. Aleni paralellik, çözüm sağlayacağı umulan birden fazla parametre kombinasyonunun işletilmesinden doğar (Houck, 1996).

Şema Teoremi

Genetik Algoritma'nın çalışmasını izaha yönelik ilk özenli çalışma J.Holland'ın Şema Teoremi'dir. İki tabanlı gösterimde {0,1,#} değerlerini alabilen genlerden oluşan belirli bir örüntüye şema denir. Bir kromozomun genleri, # değeri herhangi bir değere karşılık gelmek üzere, {0,1} değerlerine sahip bir şablonla birebir uyuşursa o şemaya sahip kabul edilir. Örneğin '1010' dizilişli kromozomun sahip olduğu bazı şemalar: '10##', '#0#0', '##1#', '101#'dir. Şemanın derecesi, #'den farklı olan değerlerin sayısına eşittir. Yukardaki şemalar için dereceler, sırasıyla, (2,2,1,3)'tür. Şemanın tanımlayıcı uzunluğu (defining length), en dıştaki #'den farklı değerlerin kapalı aralığında kalan gen sayısıdır ve örnek şemalar için değerler, yine sırasıyla olmak üzere, (2,3,1,3)'tür.

Şema teoremi, Genetik Algoritma'nın gücünü, şablonların işlenme şekli ile izah eder. Kromozom topluluğunun bireylerine bir sonraki nesli oluşturmak üzere çoğalma fırsatı verilir. Bu işleme çoğalma denemesi denir. Her bireyin kazanacağı fırsat sayısı, uygunluk değerinin yüksekliğiyle doğru orantılı olarak değişir. Böylelikle, uygunluk değeri yüksek bireyler sonraki nesile daha fazla gen aktarımında bulunurlar. Yüksek uygunluk değerinin kaynağı, sahip olduğu iyi bir şablonun varlığı kabul edilir ve yeni nesile aktarılan iyi şablonların çözüme ulaşma ihtimalini arttırdığı düşünülür (Zbigniew, 1996).

Holland, arama uzayını keşfetmenin en uygun yolunun, kromozomların sahip oldukları uygunluk değeriyle orantılı çoğalma denemesi fırsatı kazanmaları olduğunu göstermiştir. Bu yolla iyi şablonlar ardışık nesiller boyunca üssel artan deneme şansı yakalarlar. Ayrıca, yine Holland göstermiştir ki bir kromozom pek çok şablona sahip olduğu durumda, her bir nesilde etkin olarak işlenebilecek şablon sayısı, n topluluk nüfusu olmak üzere, n3 mertebesindedir. Üstü kapalı koşutluk (implicit parallelism)

olarak bilinen özellik, Genetik Algoritma'nın başarımının kısmi açıklamasıdır (Beasley, 1993).

Yapıtaşı Hipotezi

Goldberg'e göre, Genetik Algoritma'nın gücü, iyi yapıtaşları bulabilmesinden kaynaklanmaktadır. Yapıtaşları, kısa tanımlayıcı uzunluklu, birleştirildikleri takdirde başarımı artırma eğiliminde olan uyumlu dizilişlerdir. Başarılı kodlama, ilişkili genlerin kromozom üzerindeki konumlarının yakın olduğu halde genlerarası etkileşimin az olmasının sağlandığı durumda yapıtaşlarının oluşumunun teşvik edildiği kodlamadır. Tercih edilmeyen bir durum olmasına karşın epistasis yani, genler arasında etkileşim olur ve yukarda belirtilen başarılı kodlama koşulu kolaylıkla sağlanamaz.

Bir genin toplam uygunluk değerine katkısı diğer genlerden bağımsız olsaydı, problemin çözümü, sırasıyla her gen için tepe-tırmanma yönteminin uygulanmasıyla bulunabilirdi ki genelde mümkün olmayan bir çözüm yoludur.

Bu başlık altında incelenmekte olan iki önemli ve ilginç soru:

Genele yönelik başarılı kodlamayı sağlayabilecek kodlama tasarımı gerçekleştirilebilir mi? Evet ise nasıl?

Eğer mümkün değil ise, bu durumda Genetik Algoritma başarımını arttırabilecek değişiklikler mümkün müdür? Evet ise nedir? (Beasley, 1993).

Arama Uzayında Keşif ve Keşfin Kullanımı

Global maksimumun bulunması için etkin optimizasyon algoritmasının kullanması gereken iki teknik, arama uzayının yeni ve bilinmeyen bölgelerini araştırmak üzere yapılan keşif ve daha önce tetkik edilen noktalardan elde edilen bilginin daha iyi noktalar bulmak üzere kullanılmasıdır. İyi bir arama algoritması, çelişen iki gereklilik arasında bir denge noktası bulmalıdır.

Sadece rastgele arama keşif konusunda iyi olduğu halde keşfin kullanımı söz konusu değildir. Tepe-tırmanma yöntemi ise az keşif yapmasına karşı keşfin kullanımı konusunda başarılıdır. Bu iki yöntemin birleştirilerek kullanımı gayet verimli

olabilir. Ancak daha fazla keşif yapmaya karar vermeden önce mevcut keşfin kullanımına ne kadar süreyle devam edileceği konusunda dengenin bulunması kolay olmayabilir. Holland göstermiştir ki Genetik Algoritma, keşif ve keşif kullanımını aynı anda ve en uygun şekilde birleştirmektedir. Teoride doğru olmasına karşın, uygulamada kaynağı Holland'ın basitleştirici kabulleri olan kaçınılmaz sorunlar mevcuttur. Bu kabuller:

1- Topluluk nüfusu sonsuzdur.

2- Uygunluk fonksiyonu, çözümün işe yararlığı için doğru göstergedir.

3-Kromozomdaki genler arası etkileşim bariz değildir.

Birinci kabulün, uygulamada gerçekleştirilmesinin imkansızlığına bağlı olarak Genetik Algoritma stokastik hataya açık olacaktır. Test fonksiyonlarının nispeten kolayca sağladığı ikinci ve üçüncü kabullerin, gerçek problemlerde sağlanması daha güç olabilir. (Beasley, 1993).

Bilgi-Tabanlı Teknikler

Genetik Algoritma çalışmalarında gelenekselleşmiş operatörlerle beraber arama uzayına ait bilgi kullanan göreve özel tasarlanmış yeni operatörler de kullanılabilir. Göreve özel Genetik Algoritma'nın başarımı yükselir (Kozaj, 2002).

Probleme özel bilgi çaprazlama işleminde elverişli bir şekilde katıştırılabilir (Kozaj, 2002).

Arama uzayı bilgisi, uygunluk değeri belirgin derecede düşük, kısıtları ihlal eden kromozomların çoğalmasının engellenmesinde kullanılabilir. Böylece, başarımı düşük bireylerin işlemleriyle vakit kaybı önlenmiş olur (Kozaj, 2002).

Arama uzayı bilgisi, iyi noktalar etrafında keşfi yoğunlaştıracak şekilde yerel iyileştirme operatörlerinin tasarımı için kullanılabileceği gibi daha uygun noktalar civarında arama yapmak üzere kromozom topluluğunun ilk değer atamasında da kullanılabilir (Kozaj, 2002).

Kullanılabilirlik

Geleneksel Genetik Algoritma uygulamalarının çoğunluğu, fonksiyonların sayısal optimizasyonunda yoğunlaşmıştır. Süreksizlik içeren, çok-tepeli, gürültülü verilerin ve fonksiyonların optimizasyonunda diğer yöntemlerden daha başarılı olduğu gösterilmiş olan Genetik Algoritma, rastgele verilerin modellenmesi için çok uygundur. (Busetti, 2002).

Öğrenme yeteneğine sahip sistemlere yönelik uygulamaları da olan Genetik Algoritma'nın, ekonomik modelleme ve piyasa işlemleri gibi belirli bir durumu analiz ederken kural tabanlı gelişim göstermesi sağlanabilir (Kozaj, 2002).

Karşılaşılabilecek Genetik Algoritma Türleri

Literatürde çeşitli ön isimlerle anılan genetik algoritmalar vardır. Bunlar hakkında detaya girilmeksizin bilgi verilmiştir.

Basit Genetik Algoritma

İşleyişi uygun olan ve bir neslin çoğalarak yeni nesli oluşturduğu, örtüşmeyen toplulukların varlığına dayalı yaklaşımdır (Öztürk, 2002).

Kararlı Durum Genetik Algoritması

Örtüşen topluluklar kullanılır ve nesildeki yok edilecek birey sayısının kullanıcı tarafından belirlenmesine olanak sağlanır (Öztürk, 2002).

Deme Genetik Algoritması

Kararlı durum genetik algoritmasını kullanarak birkaç topluluğun paralel evrimiyle sonuç arar. Yeni neslin oluşturulması aşamasında bazı bireyler topluluklar arasında göç ettirilir (Öztürk, 2002).

Düzensiz Genetik Algoritmalar

Goldberg ve arkadaşları tarafından geliştirilen düzensiz genetik algoritmaların yaklaşımı, uygunluk değeri yeterince yüksek yapı taşlarının bulunup birleştirilerek daha yüksek uygunluk değerli bireylerin oluşturulmasıdır (Öztürk, 2002).

Üretici Genetik Algoritma

BGA, Genetik Algoritma ile ES arasında bir konumdadır. BGA'da kullanılan seçim stratejisi kesme seçimidir (Belanche, 1999). Bir nesildeki, miktarı sayı veya yüzde oran olarak atanmış en iyi uygunluk değerli bireylerin yaşamasına izin verilir ve diğerleri yok edilir. Genetik Algoritma teorisi ve yaklaşım arasındaki bağlantının yanı sıra seçim, yeniden düzenlenme ve mutasyon operatörlerinin incelemeleri de literatürde bulunabilir (Belanche, 1999).

2.2 Hava Aracı Tasarımı

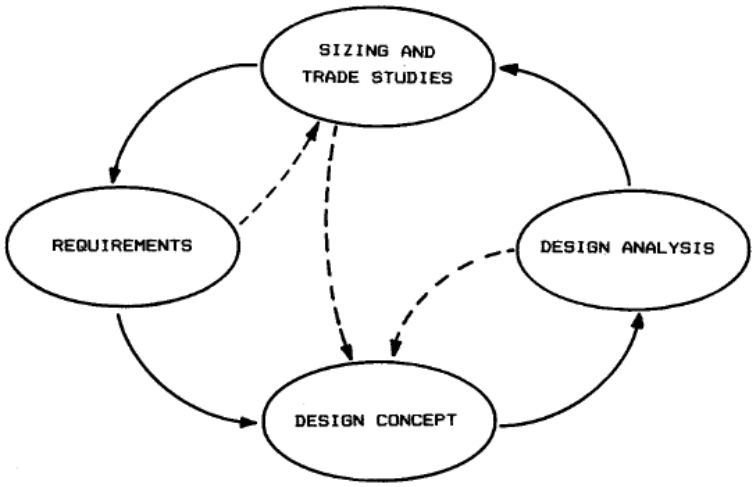
Uçak Tasarımı sanat ve bilimin kesiştiği bir noktadadır. Bu bağlamda öğrenilmesi ve uygulanması zor bir konudur (Young, 1998). Uçak tasarımı müşterinin belirttiği isterlere uygun, yaratıcılığı ve yeni fikirleri tetikleyen, kağıt üzerinde uçan bir makine yaratmak için yapılan bir mühendislik sürecidir.

Hava aracı tasarımı uçak mühendisliğinin müstakil bir disiplinidir. Aerodinamik, yapı, kontrol, itki gibi disiplinerden farklıdır. Bir uçak tasarımcısı bu disiplinlere ve bunlar dışındaki bazı disiplinlere hakim olmalıdır fakat bu çalışmalara mümkün olduğunca az zaman ayırmalıdır. Tasarımcı vaktini tasarlamaya ayırır ve ürünün geometrik şeklini yaratır.

Tasarım başlangıçta eskiz halindedir. Tasarımcının ürünü bir çizimdir ve vaktini tasarım tablası veya bir çizim programı başında geçirir. Buna rağmen çalışmasının büyük bölümü düşünseldir.

2.2.1 Raymer metodu

Raymer'e göre tasarım döngüsel bir süreçtir. Tasarımcı yeni bir konsept ile başladığına inanır, boyutlandırmacı ağarlık tahmini yapıldığında başladığını düşünür, müşteri ise isterleri ortaya koyduğu zaman tasarımın başladığına inanır. Bu süreç şekil 2.1'de görüldüğü gibi tamamen döngüseldir ve herkes kendi açısından göreceli olarak haklıdır (Raymer, 1996).



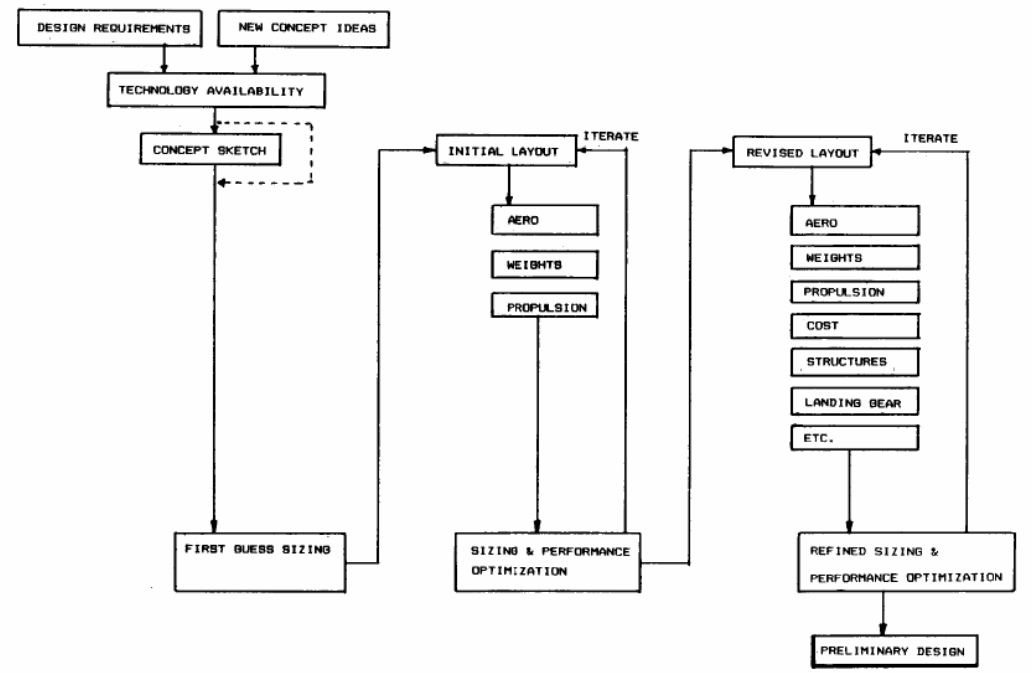
Şekil 2.1: Tasarım çevrimi

Uçak tasarımı üç ana evreden oluşur. Kavramsal tasarım bunlardan ilkidir. Konfigürasyon ile ilgili kararların şekillendiği, boyut, ağırlık ve performans ile ilgili soruların cevaplandığı kısımdır. Öncelikle cevaplanması gereken maliyet açısından uygun bir uçak isterleri yerine getirebilecek midir sorusudur. Bunun mümkün olmadığı durumlarda müşterinin isterlerini yumuşatması beklenir. Yeni fikirlerin ve problemlerin ortaya çıktığı bu süreçte tasarım giderek daha detaylı şekilde incelenir. Her analiz ve boyutlandırma adımında yeni ağırlık, yakıt ağırlığı, kanat boyutu, motor boyutu ve diğer değişiklikler hesaplanır.

Ön tasarım ana değişikliklerin son bulduğu noktada başlar. Genel kavramlarda pek değişiklik olmasa da küçük değişikliklerin yapıldığı aşamadır. Bir noktadan sonra ise artık tüm değişiklikler sonlandırılır ve tasarım dondurulur. Ön tasarım sırasında yapısal, iniş sistemi, kontrol sistemi gibi sistemler tasarlanır ve uçak üzerindeki etkileri hesaplanır. Aerodinamik, itki, yapısal, kontrol gibi alanlarda gerekli testler yapılır. Uçağın yüzeyinin matematiksel modeli çıkartılır. Ön tasarım sonunda tasarımın ve nasıl ortaya koyacağının çok iyi şekilde ifade edilmiş olması gerekmektedir.

Süreç devam ettiğinde ayrıntılı tasarım evresine girilir. Tasarımdan gelen parçaların nasıl üretileceği ve üretilecek parçaların kendileri tasarlanır. Uçağın parçaları alt parçalara ayrılır ve bu parçaların tasarım ve analizleri yapılır. Ayrıntılı tasarımın diğer bir önemli parçası üretim ile ilgili tasarımın yapılmasıdır. Parçaların nasıl

üretileceği, nasıl birleştirileceği bu noktada tasarlanır. Üretim uzmanlarının bu süreci basitleştirme istekleri ek ağırlıklara sebep olmakta ve genelde uçağın hafifliği ile çatışmaktadır.



Şekil 2.2: Uçak kavramsal tasarım süreci

Şekilde 2.2'de kavramsal tasarım süreci içerisindeki adımlar gösterilmiştir. Sistem tasarımı başarısının yapılan tahminlerin geçerliliğine, yapılacak iterasyonların kalitesine ve sayısına bağlı olduğu görülmektedir (Raymer, 1996).

2.2.2 Halı çizimleri, iterasyonlar, alış verişler

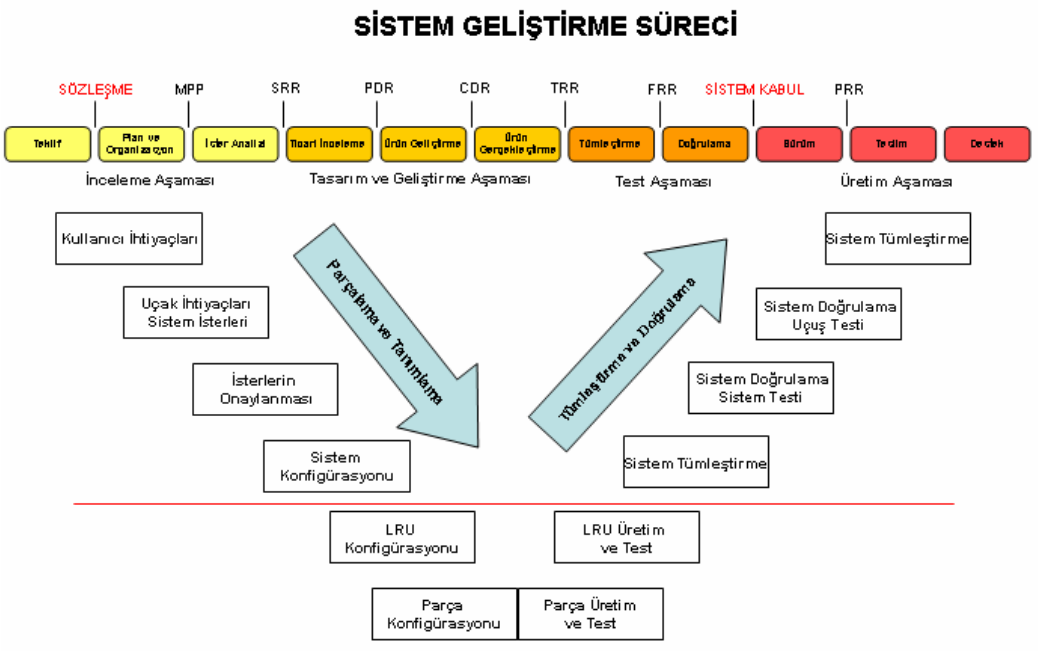
Tasarımın çeşitli safhalarında iterasyonlar, halı çizimleri, ve alış verişler yapılmaktadır. Halı çizimlerinin ve alış verişlerin amacı müşteri isterleri üzerinde bir çalışma yaparak performansın fiyat ile nasıl değiştiğini basitçe göstermektir. Bu çalışma sonucunda müşteri biraz daha ucuz bir uçak yapılabilmesi için bazı isterleri gevşetebileceği gibi fiyat artışına rağmen istenebilecek fazladan performans özelliklerin de uçakta bulunmasını talep edebilir. İterasyonlar ise müşteri ile anlaşılan isterlere ulaşmak için yapılırlar. Birçok değişkenin bulunması, bunların birbirlerine bağlı olması sürekli iterasyonları gerektirmektedir. Bilgisayar teknolojilerinin

gelişmesi ile bu iterasyonların kıymetleri artmış ve gereken sayılara ulşmaya başlamıştır (Anderson, 1999).

Halı çizimleri, iterasyonlar ve halı çizimleri temelde birer optimizasyon uygulamasıdır. Uçak tasarımı içerdiği çeşitli disiplinler, bunlar ile yapılması gerekli en ucuz, en hafif uçak ihtiyacı dikkate alındığında tipik bir optimizasyon problemidir ve bu yaklaşım olmadan iyi bir uçak üretmek zor bir işlemdir.

2.2.3 Sistem Yaklaşımı

Uçak karmaşık bir sistem olarak ele alınabilir. Bu durumda uçak sisteminin çeşitli alt sistemlerinden, bu alt sistemlerin parçalarından söz etmek mümkündür. Uçağın gerçekleştirmesi gereken amaçları doğrultusunda birer alt sistemi olması gerekir, örnek olarak yolcuların konforunun sağlanması için iklimlendirme sistemi, havada seyrüsefer yapabilmesi için otomatik uçuş sistemi verilebilir. Uçak tasarlanırken ana amaç müşteri isteklerini en ucuz şekilde karşılamaktır. Bu amaç doğrultusunda yapılan sistem tasarımı aynı zamanda alt sistemlerin de isterlerini oluşturur. Alt sistemler kendilerine çizilen tasarım alanının dışarısına çıkmamalıdırlar. Bunu sağlamak amacıyla sistem yaklaşımı ve sistem yaklaşımında uygulamak üzere şekil 2.3'deki V diyagramı geliştirilmiştir.



Şekil 2.3: Sistem geliştirme süreci

Buna göre sistem alt sistemlere ayrılır, alt sistemler komponentlere ayrılır ve en küçük parçaya kadar tasarım tamamlanır bu noktadan itibaren parçalar birleştirilmek suretiyle alt paçalar ve komponentleri, komponentler alt sistemleri, alt sistemler ise sistemleri oluşturur. Her bir aşamadan diğerine geçiş esnasında bir kontrol noktası bulunmaktadır. Burada tasarımın kriteleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Genelde tasarım adımlarının ileri bölümlerinde alt sistemler ve komponentler tasarlandıktan sonra optimize edilirler. Bu optimizasyon kendi vizyonları çerçevesinde olduğundan sistemin optimizasyonuna yönelik değildir. Bu durumda sistem optimizasyonu yapılmak istendiğinde bunun mümkün olan en erken safhada yapılması gerektiği açıktır. Dolayısıyla her alt parça, komponent ve alt sistem optimize edilse bile bu toplamda uçağın optimizasyonunun yapıldığı anlamına gelmez.

2.3 Hava Araçları Tasarımında MDO

2.3.1 MDO

Çok disiplinli tasarım optimizasyonu tasarımda birbiri ile etkileşim içerisinde olan birden fazla disiplinin entegrasyonunu sağlayarak optimum tasarımı mümkün kılan bir yöntemdir. Hava aracı tasarımı doğası gereği birçok disiplini içerir. Aerodinamik, performans, stabilite ve kontrol, itki konuları tasarımı en çok etkileyen disiplinlerdir ve tasarım adımlarını basitleştirmek için diğer disiplinler dışarıda bırakıldığında bile problemin karmaşıklığını sağlarlar (Raymer, 2002).

2.3.2 Genel Yaklaşım

Uçak tasarımcıları her zaman için en iyi uçak tasarımına ulaşmayı istemiş ve bunun için arzu ile yeni alet edevat ve metodlara yakınlık göstermiştir. Wright Kardeşlerin başarılarının altında yatan nedenlerden birisinin de kanat açıklığı ve veter kamburluğu üzerine yaptıkları çeşitli parametrik rüzgar tüneli deneyleri olduğu bilinmektedir ve bu optimizasyonun erken bir formu olarak kabul edilmektedir. Daha sonraları uçak tasarımcıları halı çizimlerini nasıl yapabileceklerini ve iki değişkenli optimizasyonu nasıl gerçekleştireceklerini keşfettiler. Bu halı çizimlerinin çeşitli parametreler için kombinasyonlarını deneyerek tasarımlarını iyileştirdiler. Bilgisayar teknolojisi kullanımı makul düzeye geldikten sonra ise bu araçları optimizasyonlar için kullanmaya başladılar. Günümüzde gelişmiş teknikler üzerinde üniversiteler ve

araştırma enstitülerinde çalışmalar sürmektedir. Bu metodların olgunlaştığına inanıldığı noktada tasarımcıların bu metodları fiilen projelerinde kullanması beklenmektedir.

Gelişmiş tekniklerin genel ismi "Multidisciplinary Optimizasyon" olarak geçmektedir. Bunlar genelde hava aracını bir sistem olarak optimize etmeye uygundurlar. Önde gelen MDO tasarımcılarının kabul ettiği bir tanımlamaya göre; MDO birden fazla etkileşimli fiziksel fenomenden etkilenen karmaşık mühendislik tasarım problemlerini çözmeye yarayan bir tasarım metodudur. MDO bir çok disiplinden etkilenen çeşitli tasarım değişkenlerinin optimizasyonuna imkan verir. Uçak sistemlerine uygulandığında düşük satın alma ve işletme maliyeti ve daha iyi performans sağlar (Raymer, 2002).

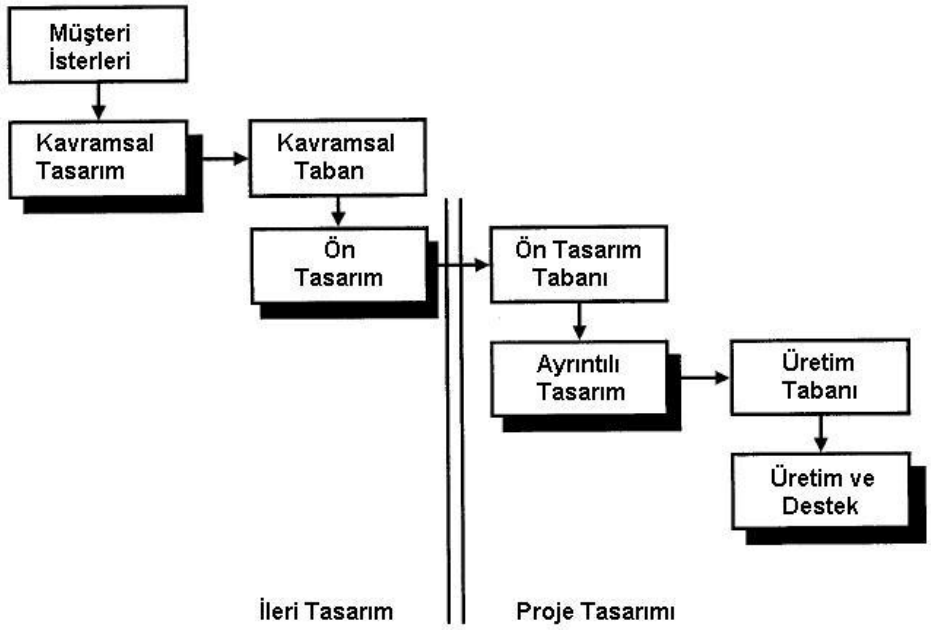
Geliştirilen birçok MDO metodu mevcuttur ve çeşitli uygulamalar için uygunlukları hararetli bir tartışma konusudur. Genel formda dahi olsa değişik araştırmacılar değişik metodların kombinasyonlarını kullanmayı tercih etmektedirler. Bu da mevcut literatürde problemlerin çözümleri için hangi MDO'nun kullanılacağı konusunda bir genelleme yapmayı zorlaştırmaktadır. Uygulamadan da görülebileceği gibi uygun MDO seçimi uygulamadan uygulamaya değişmektedir.

MDO metotları birkaç kategoriye ayrılır. Bunlardan birçoğu klasik matematiksel optimizasyon metotlarıdır ve fiziksel olayların denklemleri üzerinde bir amaç fonksiyonu belirlemeye ve başlangıç noktası ile türevinden yeni ve daha düşük amaç fonksiyonlu bir noktaya gitme prensibi ile çalışır. Diğer metotlar seçilen noktaların kabul edilebilirlik değerlerini karşılaştırarak çalışır ve noktaları bulmak üzerine odaklanmışlardır.

Çalışmada türev ve benzeri şeyler içermemesi dolayısıyla "sıfırıncı mertebeden" de denilen bu son MDO metotları üzerinde durulmuştur. Bu metotlar mevcut yazılımlar üzerinde optimizasyon yapmaya izin verebilmekte ve analizlerde yüksek çeşitlilik sağlamaktadır. Çalışmada tasarımın en erken safhalarından olan kavramsal tasarım üzerinde durulmuştur.

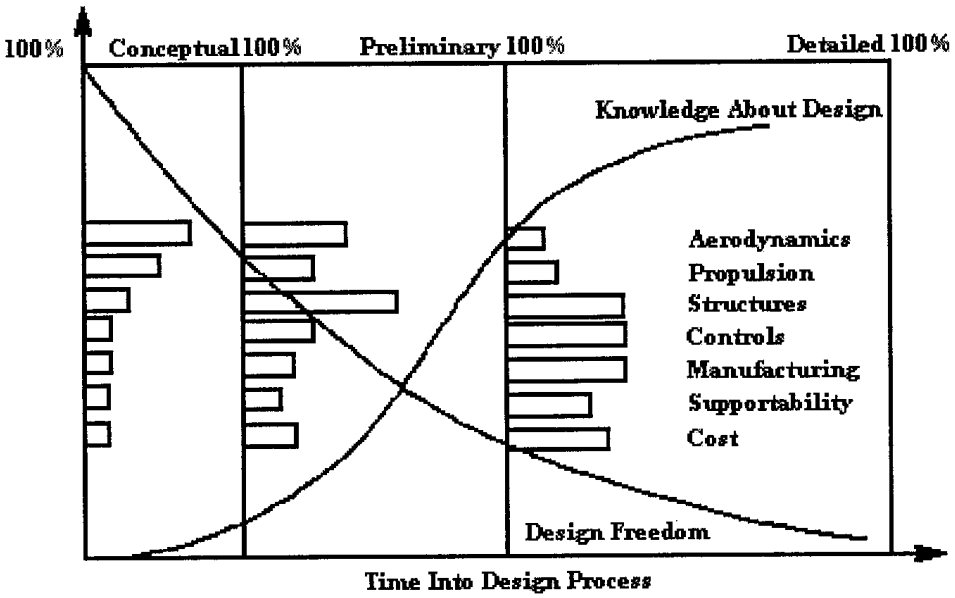
Uçak tasarımı için MDO kullanımında dikkat edilmesi gerekli diğer bir husus tasarım değişkenlerinin, sınırların ve ölçme kriterlerinin belirlenmesidir (Raymer, 2002). Literatürde anahtar parametrelerin seçiminde herkesin kullandığı bir yol ve gelenek

mevcut değildir. Genelde tasarımcının inisiyatifine kalan bu karar sonuçları etkileyebilmektedir. Bu çalışmada kriterler tamamen geometrik özellikler olarak seçilerek sonuçlara en az etkiyi yapmak amaçlanmıştır. Basit yaklaşımların dışındaki karmaşık ilişkiler tasarıma etki edebilmektedirler fakat bunların tasarımın ileriki aşamalarında ve ileriki optimizasyonlarda ele alınması daha uygun görünmektedir.



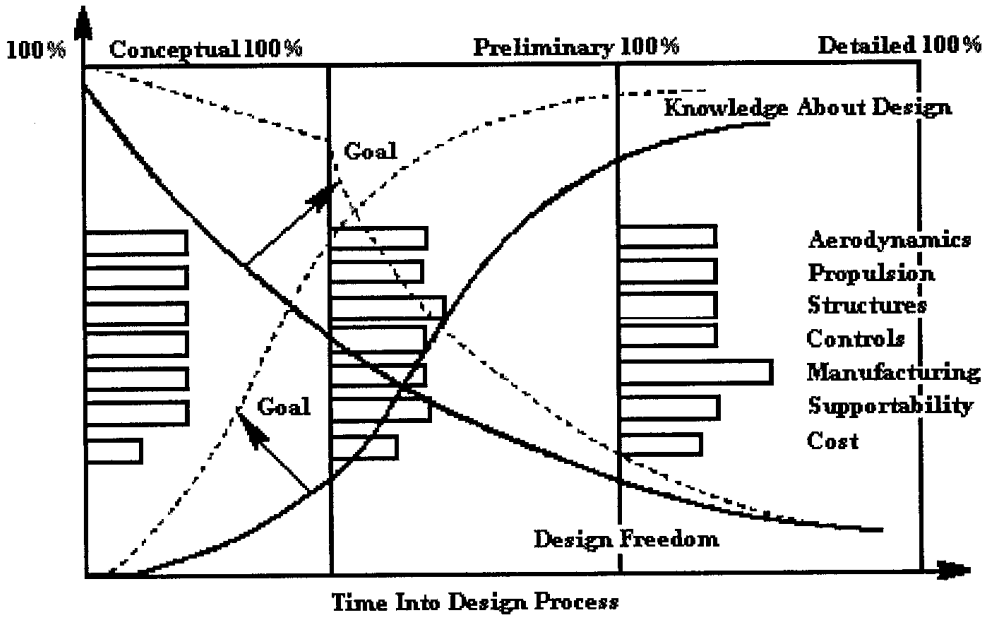
Şekil 2.4: Tasarım akışı

Tasarım geliştirme yukarıdaki şekil 2.4'te görüldüğü gibi kavramsal, ön ve detaylı tasarım olarak safhalara ayrılmaktadır. İsterlerin belirlenmesi ile kavramsal tasarım çalışmaları başlatılır. Birçok basit kavram ve bunların parametrelerinin değişik değerleri incelenir. Ön tasarım için bun değişik kavramlardan birisi seçilir. Ön tasarım kavramsal tasarıma göre daha karmaşık ve gelişmiş analizleri içerir ve daha derinlemesine bir çalışmayı tanımlar. Ayrıntılı tasarım alt sistemlerin ve komponentlerin tasarımını, üretim ve entegrasyon tasarımını içerir. Bu aşamalardan geçerken değişik disiplinlerin katkıları ve tasarımın serbestliği ile tasarım hakkında oluşturulan bilgi şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Tasarım bilgisi ve tasarım serbestliği

Tasarım serbestliği tasarım bilgisinin artmasına ters oranda azalmaktadır. Tasarım kriterlerinin erken belirlenmesi bazı analizleri yapabilmeye olanak sağlarken tasarımın iyileştirilmesi için gerekli serbest değişkenlerin sınırlarını daraltır. Multidisipliner optimizasyon ile serbestlik ve bilgi eğrilerinin ikisinde birden artış yapılması hedeflenir. Etkili bir multidisipliner optimizasyon tüm ilgili disiplinlerin katkısını dengelerken incelenen alternatifleri arttırır, toplam geliştirme sürecini de şekil 2.6'teki gibi kısaltır.



Şekil 2.6: Tasarım bilgisi ve tasarım serbestliği 2

3. İnsansız Hava Aracı Tasarımı

3.1 İnsansız Hava Araçları

3.1.1 Tanımı ve Tarihi

İnsansız Hava Araçları; insan operatör taşımayan, motorlu hava araçlarıdır. Taşıma kuvvetini sağlamak için aerodinamik kuvvetleri kullanırlar. Uzaktaki bir pilot tarafından kumanda edilebileceği gibi kendisi de uçabilir sistemlerdir. İnsansız Hava Araçları tek kullanımlık ya da tekrar kullanılabilir olabilir, öldürücü olan ya da olmayan paralı yükler taşıyabilirler. Balistik veya yarı balistik araçlar, seyir füzeleri ve top mermileri insansız hava aracı tanımına girmezler (Newcome, 2004).

İnsansız Hava Araçlarının gelişimi ivmelenerek sürmektedir. Uzaktan kumanda edilen tek bir araçtan oluşan sistemler yerini verilen görevi yerine getirmek için gerekli kararları kendisi alan ve birbirleriyle iletişim kuran çok sayıda İnsansız Araçtan oluşabilen sistemlere bırakmaktadır.

Afganistan'daki operasyonlarda, Amerikan Hava Kuvvetleri'ne ait RQ-1 Predator uçağı, gözetleme görevlerinin yanı sıra havadan karaya füze yollama görevini de yerine getirmiştir ve çok görevlilik tanımını alarak ismi MQ-1 Predator olarak değiştirilmiştir.

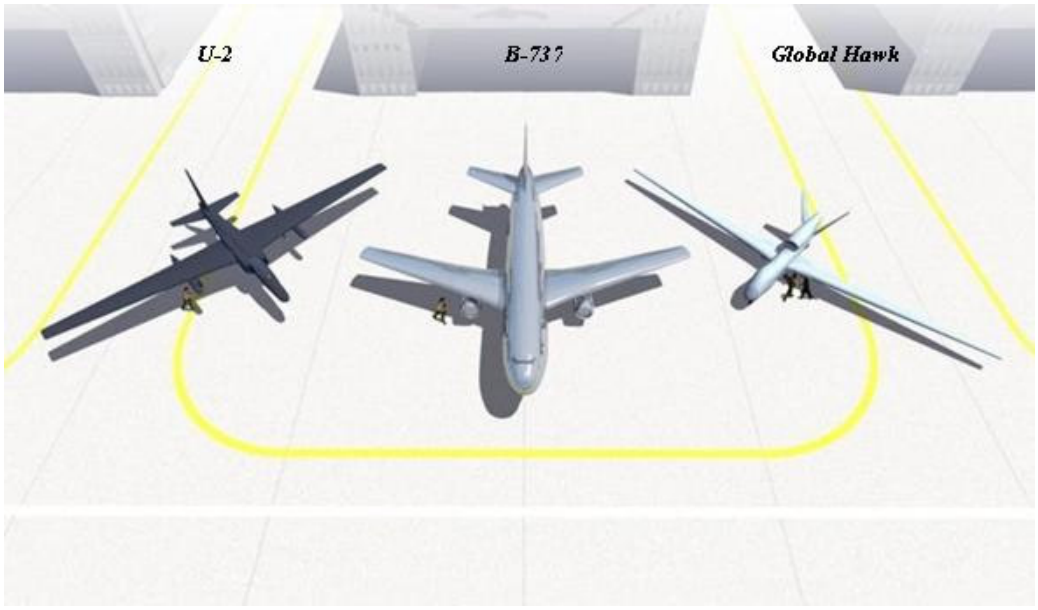
Genel bir deyişe göre İnsansız Hava Araçları kirli, tekdüze ve tehlikeli görevler için avantajlıdırlar. Kirli, nükleer patlama ardından atmosferden örnek toplamak gibi görevleri tanımlar. Tekdüze ise 30 saati bulan uçuşlar için, yakıt ikmal uçakları için kullanılan bir tanımdır. Tehlikeli görevler ise düşman hattını geçerek, iç bölgelere

gidip gelmeyi gerektiren görevlerdir. Bu görevleri İnsansız Hava Araçları için önemli bir yaşama alanı yaratmaktadır.

Bir İnsansız Hava Aracının benzer görevi gerçekleştirecek pilotlu bir uçağa kıyasla pek çok avantajı vardır. Bunların başında insan canı taşımamanın getirdiği risk alabilme kabiliyeti gelir. Ayrıca, bu araçlar insanın bedensel ve psikolojik kısıtlarından bağımsızdır.

Böylece uzun süreli (24 saatten uzun), yüksek ivmeli manevralar altında aralıksız görev yapabilir. Yakın gelecekte hava üstünlüğünü sağlamada İnsansız Hava Araçları ön plana çıkacağı öngörülmektedir. Amerikan Hava Kuvvetleri 2020 yılına kadar dökümündeki uçakların yüzde 40'ının insansız olmasını planlamaktadır.

İnsansız hava araçları elden atılan bir kiloluk modellerden taktik uçaklara, yüksek irtifa yüksek takat uçaklardan mars uçağına kadar çeşitlilik göstermektedir. Örnek olarak kanat açıklığı bir yolcu uçağı ile karşılaştırılabilecek Global Hawk şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1: İnsansız hava aracı boyutları

İnsansız Hava Araçları gösterdikleri performansa ve kullanılış tarzına göre bazı temel gruplara ayrılmışlardır. İnsansız hava araçlarının sınıflandırılmasında bir standart yoktur ve çeşitli sınıflandırmalar mevcuttur. Temelde insansız hava araçları;

Boyutlarına göre (genelde ağırlık) ve Öz görevlerine göre (menzil, takat) sınıflandırılırlar.

Amerika Birleşik Devleti Savunma Dairesi 1990'larda insansız hava araçları aşağıdaki gibi menzile göre üç altsınıfa ayırmıştır:

Yakın (Close): 50 km'ye kadar; Kısa (Short): 200 km'ye kadar ve Takat (Endurance): 200 km'den fazla.

Fakat gelişen ürünler ile yakın ve kısa altsınıfları arasındaki ayrım azalmış ve bu iki altsınıf, "taktik (tactical)" altsınıfı olarak birleştirilmiştir. Ayrıca deniz için özel "güverte (Shipboard)" altsınıfı da oluşturulmuştur.

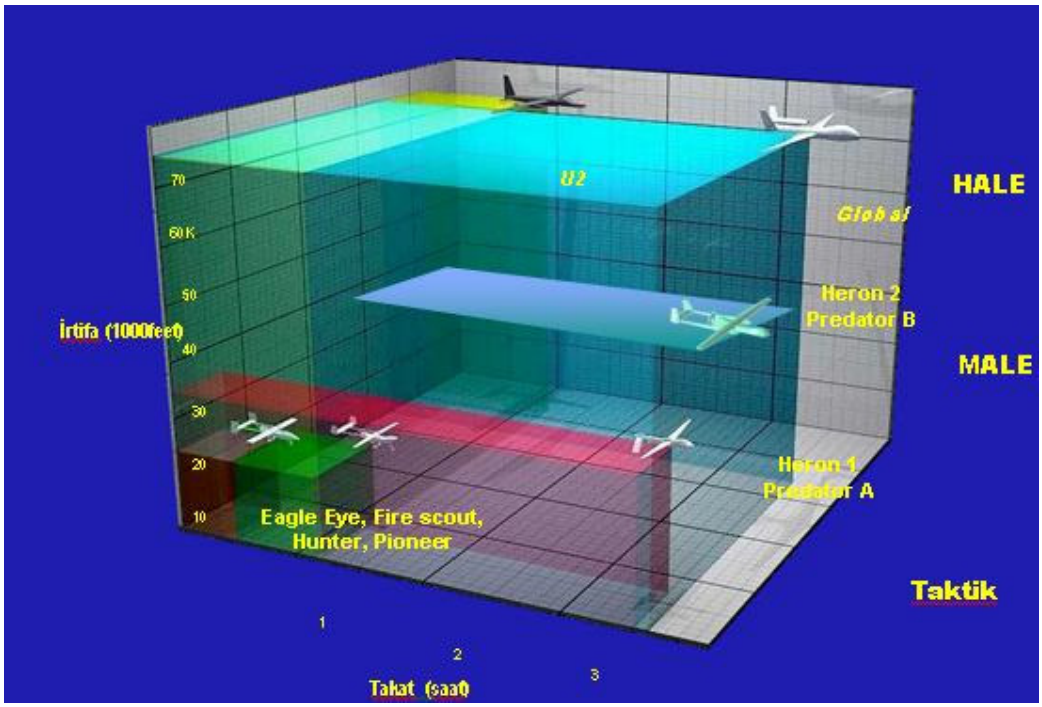
Bundan başka alt sınıflandırmalar da mevcuttur. Döner kanatlılar da ayrı bir sınıf olarak anılabilir. Tablo 3.1'de alternatif bir sınıflandırma verilmiştir.

Tablo 3.1: İnsansız Hava Araçları Sınıflandırması

		Menzil	**İrtifa**	**Takat**	**Kalkış Ağırlığı**
İnsansız Hava Aracı Kategorileri		(km)	(m)	(h)	(kg)
Mikro	M	<10	250	1	<5
Minyatür	Mini	<10	150 300	>2	>30 150
Yakın Menzil	CR	10 30	3000	2 4	150
Kısa Menzil	SR	30 70	3000	3 6	200
Orta Menzil	MR	70 200	5000	6 10	1250
Orta Menzil Takat	MRE	>500	8000	10 18	1250
Düşük İrtifa Derin Müdahale	LADP	>250	50 9000	0,5 1	350
Düşük İrtifa Yüksek Takat	LALE	>500	3000	>24	<30
Orta İrtifa Yüksek Takat	MALE	>500	14000	24 48	1500
Yüksek İrtifa Yüksek Takat	HALE	>2000	20000	24 48	4500 12000

Göreve göre belirlenen bir altsınıf ise "tepe aşırı (beyond hill) araçlarıdır. Bunlar, küçük askeri birliklerin yakındaki bir engelin ardındaki düşman birliklerinin konumları vb. gibi görsel verileri elde etmeleri için kullanılan İHA'lardır. Görevin özelliğinden dolayı, bu araçların kamera benzeri bir paralı yük taşımaları, bir yada birkaç piyade tarafından taşınabilecek boyutta olmaları ve elle fırlatılarak kalkış yapabilmeleri tercih edilir.

Yukarıda verilenlerden farklı İHA sınıflandırmaları da bulunabilir. Şekil 3.2'de görevlere göre sınıflama görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 3.2: İnsansız hava araçları özellikleri

İnsansız hava araçları çeşitleri geniş bir yelpazede mevcut bulunmasına rağmen genelde benzer alt sistemlerden oluşurlar. Bunlar hava aracı, görev planlama ve kontrol istasyonu, faydalı yük, veri bağlantısı, fırlatma ve geri alma alt sistemleridir.

Hava araçları sistemin havadaki parçasıdır. Genel olarak bir hava yapısı, itki birimi, uçuş kontrol sistemleri ve elektrik sistemlerinden oluşur. Veri bağlantısının bir parçası da uçakta bulunur. Faydalı yük de hava aracı tarafından taşınmaktadır ve hava aracı belirli bir görevi icra etmek üzere tasarlanmaktadır. Hava aracı sabit kanatlı olabileceği gibi döner kanatlı, havadan hafif veya çırpan kanatlı olabilir.

İnsansız hava aracı fikri Tesla'nın 1898 yılında yayınladığı makale ile ortaya çıkmıştır. Daha sonra motorlu uçuşlar gerçekleştirilmiş ve uçaklar birinci dünya savaşında kullanılmıştır. Aynı zaman dilimi içerisinde insansız sistemlerin gelişmesinin önünde temel olarak üç engel bulunmaktaydı. Otomatik stabilizasyon, uzaktan kontrol ve kendi kendine sevk ve idare üç önemli ve aşılamamış teknolojidir. Ciroskopların geliştirilmesi ile ilk denemeler başarıya ulaşmıştır. 1950'lerde ilk defa keşif ve gözlem görevlerine katılacak kadar ilerleyen insansız hava araçları ile ilgili çalışmalar Amerika Birleşik Devletleri'nde 1960'a kadar sürdürülmüş, 1400den fazla küçük taktik gözlemleme uçağı geliştirilmiş fakat tüm bu çalışmalar bütçe nedeniyle giderek azalmıştır. Vietnam savaşında gösterdikleri başarılarına rağmen savaş sonunda bu sistemler tekrar ilgi kaybetmişlerdir. İsrail tarafından geliştirilen insansız hava araçlarının 1982'de Lübnan savaşında Suriye hava savunmasında oynadıkları rol bir dönüm noktası olmuştur. Daha sonra bu konuya gösterilen ilgi giderek artmıştır.

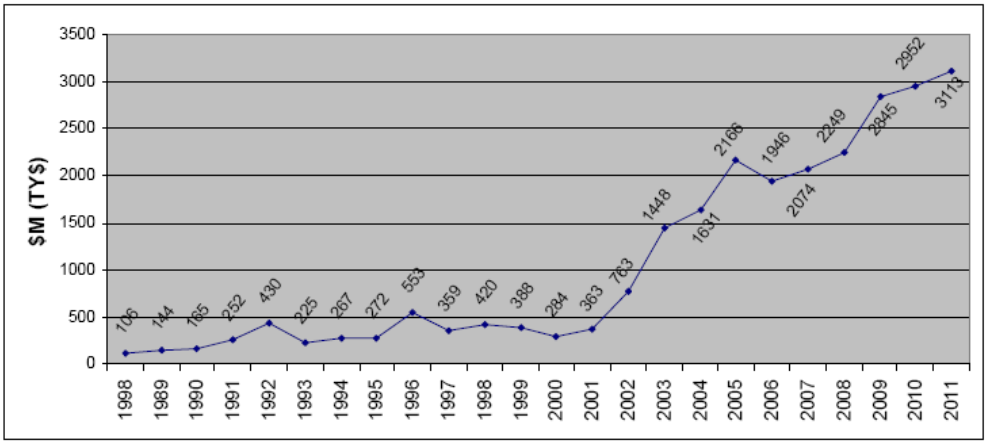
3.1.2 İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi

İnsansız hava araçları askeri görevlerde kullanılmaktadır. Esasen bu sistemler askeri görevlerin dışarısında sivil uygulamalar için de uygunluk arz etmektedir. Sahil güvenlik, arama kurtarma desteği, orman yangını ile mücadele, iç güvenlik desteği, boru hattı gözleme, trafik kontrol gibi sivil görevler insansız hava araçlarının başarabileceği görevlerdir. Fakat bu uçakların sivil hava sahasında uçuşlarına müsaade edilmemektedir. Bu sistemlerin sivil hava sahasına girmesi için etraflarındaki olaylardan haberdar olmaları beklenmektedir. Bunun gerçekleştirilmesi için hisset ve kaçın başlığı artında sistemlerin geliştirilmesi beklenmektedir. Bu teknoloji geliştirildiğinde hazır olabilmek adına Amerika Birleşik Devletlerinde FAA, Avrupa'da DGA gibi ülkesel ve bölgesel çalışmalar ile yönetmelikler hazırlamaktadırlar ve Eurocontrol 2020 yılına kadar sivil havayollarında insansız kargo uçakları beklenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Mevcut askeri operasyonlar incelendiğinde küresel terörle mücadele çerçevesinde yapılan operasyonlarda insansız hava araçlarının kullanımı yerleşmekte, sorti sayıları, uçuş saatleri, üstlendiği roller giderek artmaktadır. Hâlihazırda 20'ye yakın çeşit insansız hava aracı 100.000 saat üzerinde operasyon destek uçuşu yapmıştır. İlk önceleri gözetleme görevleri yapan insansız hava araçları giderek saldırı içerikli

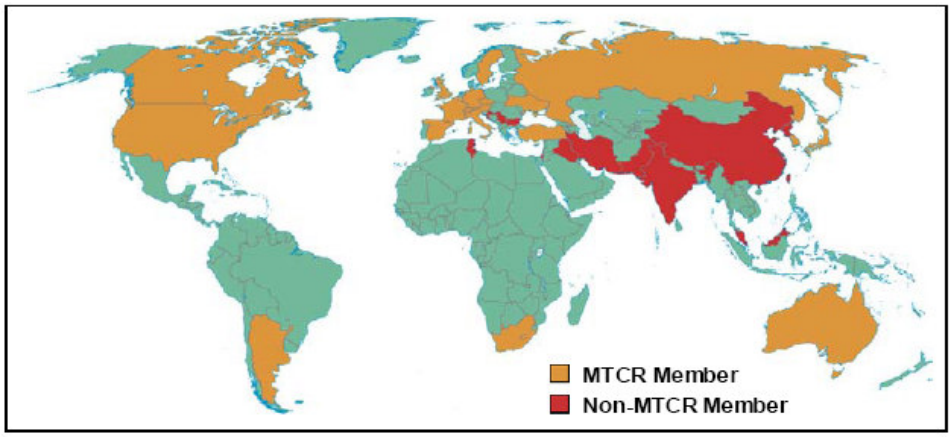
diğer görevleri de kapsayacak şekilde genişlemektedir. Bu araçlar geniş bir hizmet aralığında çalışabilmekte ve buna bağlı olarak kullanımlarının artacağı düşünülmektedir. Birkaç bin dolardan onlarca milyon dolara, yarım kilodan 20 tona kadar değişen özellikteki bu uçaklar askeri operasyonların vazgeçilmez parçaları olmaya başlamıştır.

Özellikle ABD bu konuya yüksek bütçeler ayırmaktadır. Şekil 3.3'te ABD'nin DOD'inin 1998 yılından itibaren insansız hava araçlarına ayırdığı bütçe ve 2011 yılına kadar ayırmayı öngördüğü bütçe görülmektedir. DOD'un ayırdığı bütçenin 2000 2004 yılları arasında önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Benzer oranda bir artışın da 2006 2011 yılları arasında öngörülmesi bu alandaki hareketliliğin bir göstergesidir.



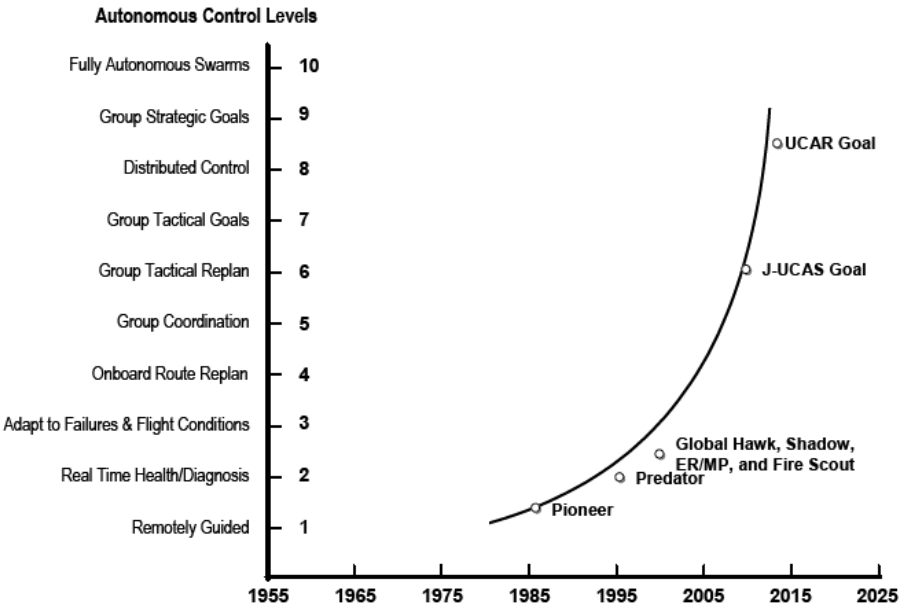
Şekil 3.3: Amerikan savunması için insansız hava araçlarına ayrılan yıllık bütçe

ABD dışındaki ülkeler insansız hava araçlarını aynı aktiflikte kullanmamaktadır. Birçok ülkenin insansız hava aracı alımı yapmadığı ve bu konuya ayırdığı çok fazla kaynak olmadığı bilinmekle beraber şekil 3.4'te bu konudaki araştırma ve geliştirme faaliyetlerine birçok ülkenin kaynak ayırdığı görülmektedir. Bu da her ne kadar oturmamış bir pazar olsa da insansız hava araçlarının teknolojik olarak vazgeçilmez bir alan olduğunu ve her ne kadar günümüzde kullanılamasa da yakın gelecekte kullanımının hayata geçeceği konusunda fikir vermektedir.



Şekil 3.4: İnsansız hava aracı üreten ülkeler

İnsansız hava aracı teknolojileri birçok havacılık sisteminin arkasındaki itici güç olmuştur. Otopilotlar, ataletsel navigasyon sistemleri, veri linkleri gibi sistemler insansız hava araçlarının ihtiyaçlarını karşılamak üzere ortaya çıkmıştır veya ortaya çıkışları hızlanmıştır. Bunlardan belki de en önemlisi otopilot teknolojisidir. 1950'lerden itibaren üzerinde çalışılan bir konu olmasın rağmen ilk otonom operasyon 1989'da yapılmıştır. İlk kez otonom kalkış, otonom uçuş ve otonom iniş gerçekleştirilmiş olmasına rağmen bu çalışmalar yakın zamana kadar sınırlı uygulama bulmuştur. Biyoloji bilimleri ve mikroişlemci kabiliyetlerinin son yıllarda geldiği seviyeler ile otopilot boyutları inanılamayacak derecede düşerken kabiliyetleri de bir o kadar artmıştır. Otonomluk seviyeleri olarak adlandırılan ve otopilotlardan uçak beyinlerine doğru gerçekleşmesi beklenen evrim ise şekil 3.5'te açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.5: Otonomi gelişme trendi

3.1.3 Türkiye'de Durum

İnsansız sistemlerde Türkiye'nin Vizyonu; insansız sistemlerin özgün tasarımı ve üretimini gerçekleştirerek, ulusal ihtiyaçları karşılamak ve küresel ölçekte rekabet edebilmek olarak belirlenmiştir. Buradaki stratejik amaçlarla aşağıdaki maddelerle açıklanmaktadır (Ziylan, 2005).

a. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ihtiyacı olan insansız kara, deniz ve hava platform ve sistemlerini, askeri ve sivil çift kullanım hedefini gözeterek, özgün olarak tasarlamak, gerekli kritik teknolojilerini geliştirmek, üretim, bakım/onarım, kullanım yeteneklerine sahip olmak.

b. İnsansız kara, deniz ve havacılık alanında büyük alt yapı sistemlerini bir koordinasyon altında, dağınıklık, tekrar ve programdan sapmaya fırsat vermeyecek şekilde kurmak işletmek.

c. Platform tasarımında yüksek hız, çevik manevra, ağır yük – uzun süre yeteneklerine ilişkin aerodinamik, aerotermodinamik, stealth, itki, yakıt, malzeme alanlarında yeterli teknolojik yetenekleri kazanmak.

d. Platformların ve görevlerinin gereği olan manevra, seyir ve askeri harekata ilişkin kontrol, iletişim, algılama teknolojilerinde yeterli düzeye gelmek.

e. Kullanıcı – Sanayi – Üniversite işbirliğini en üst düzeye çıkarmak ve bu unsurların birbirlerini tamamlayan yapıda ve uyum içinde amaca yönelik olarak çalışmasını temin etmek.

Bu stratejik amaçlara ulaşmak için koyulan hedefler aşağıdaki gibidir.

2005 – 2010 Dönemi Hedefleri

a. İnsansız sistem teknolojileri alanında ulusal bilgi ve iş birliği ağının oluşturulması

b. Süreçler, işlemler ve malzemelerle ilgili standartların tanımlanması ve oluşturulması.

c. İnsansız sistemlere ilişkin teknolojilerin ve bileşenlerin geliştirilmesi; en az iki prototip üzerinde test ve değerlendirme çalışmalarının gerçekleştirilerek performans hedeflerinin doğrulanması.

d. Enerji, güç, itki, yakıt, yapısal tasarım, stabilizasyon, malzeme, paketleme gibi alanlarda, performans, emniyet, güvenilirlik problemlerinin çözümü.

e. Geliştirilen teknoloji ve bileşenlerin mini ve midi insansız hava araçları ile denenmesi.

2011 – 2015 Dönemi Hedefleri

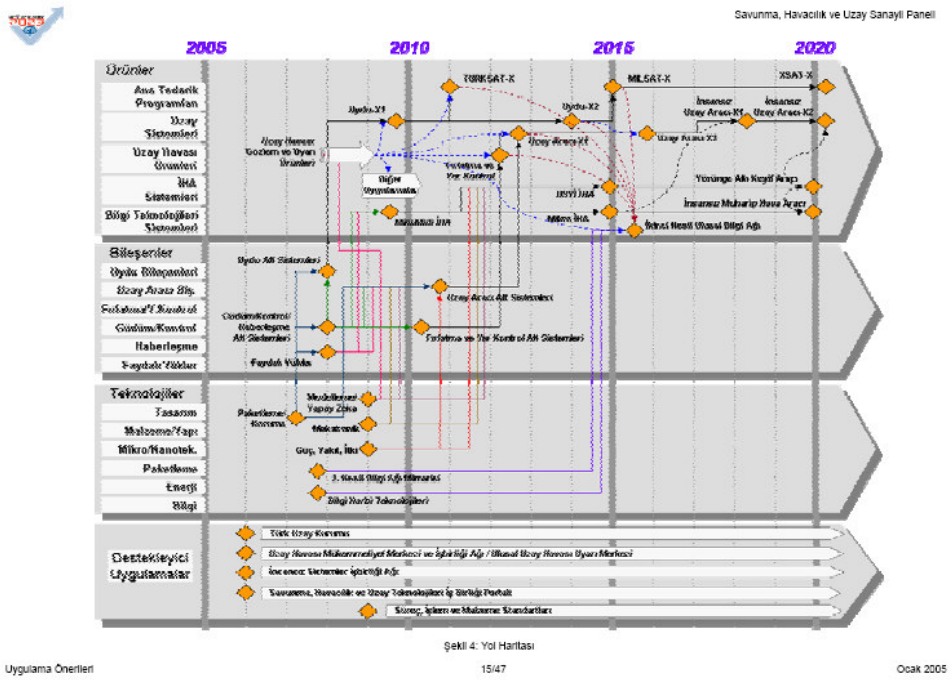
İkinci nesil insansız sistem projelerinin gerçekleştirilmesi

2016 – 2023 Dönemi Hedefleri

Üçüncü nesil insansız sistem projelerinin gerçekleştirilmesi

Ana Program Önerisi

Program Adı, Tanımı ve Kapsamı



Şekil 3.6: Vizyon 2023 Savunma havacılık ve uzay sanayi paneli

Mevcut alt yapı ve ihtiyaçlar da dikkate alınarak, insansız sistemlere ilişkin sistem, alt sistem, bileşen ve teknoloji geliştirme hedeflerinin gerçekleştirilmesinde sürükleyici alan olarak İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri belirlenmiştir. Yukarıdaki Hedefler ışığında 2005 – 2020 arasında peyder pey devreye girecek ürünlerden meydana gelen "İnsansız Hava Araçları Programı" önerilmektedir. Programın aşamaları ve gerçekleştirilmesi önerilen projeler şekil 3.6'da görülebilir ve aşağıda verilmiştir.

Aşama Yıllar Kapsam Yöntem

(1)

Hazırlık

2005

Alt yapının (işbirliği ağları, süreç, işlem, malzeme standartları) oluşturulması;

ArTGe

Destek

(2)

Teknoloji/Bileşen

Geliştirme

2005-2010 Teknoloji geliştirme projeleri, donanım/yazılım geliştirme projeleri, cihaz geliştirme projeleri, alt sistem geliştirme projeleri, teknoloji doğrulama amaçlı test ve

değerlendirme çalışmaları.

Güdümlü ArTGe

(3)

Sistem Geliştirme

2010-2015 2. nesil İHA teknoloji ve sistem geliştirme projeleri. Güdümlü ArTGe

(4)

Sistem Geliştirme

2015-2020 3. nesil İHA teknoloji ve sistem geliştirme projeleri. GüdümlüArTGe

1. Hazırlık Aşaması

Proje 02-01: "İnsansız Sistemler İşbirliği Ağı"nın oluşturulması.

Proje 02-02: Süreç, işlem ve malzeme standartlarının belirlenmesi.

2. Aşama Projeleri

Proje-02-03: Mini İHA (Ara Ürün). Alçak irtifa kısa menzil taktik kullanıma yönelik platform ve faydalı yük teknolojilerinin geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilecektir. MEMS temelli sensörler kullanması ve aktarma sistemlerine sahip olması öngörülmektedir.

Proje 02-04: Midi İHA (Ara Ürün). Orta irtifa, orta menzil taktik kullanıma yönelik platform ve faydalı yük teknolojilerinin geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilecektir. Keşif, gözetleme, istihbarat, bilgi aktarma kabiliyetlerine sahip olacaktır.

3. Aşama Projeleri

Proje 02-05: USYI - Uzun Süre ve Yüksek İrtifa Uçuşlu İHA. 20 km irtifada 48 saat veya daha uzun süre görev yapabilen platform ve faydalı yük teknolojilerinin geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilecektir.

Proje 02-06: Mikro İHA. Yakın çevre gözlem amaçlı olan ve en büyük boyutu 15 cm'yi geçmeyen bu İHA'lar "sabit kanatlı" veya "kanat çırpan" tipte olabilirler. MEMS, Mekatronik, Minyatür Sistem, Biyomimik ve Nanoteknoloji gibi ileri alanlardaki teknolojilerde atılım için sürükleyici bir proje olarak önerilmiştir.

4. Aşama Projeleri

Proje 02-07: İMHA - İnsansız Muharip Hava Aracı. Uzun vadede hava muharebe görevlerinin (av, bombardıman, v.b.) tamamen insansız hava araçları ile gerçekleştirileceği öngörülmektedir. İMHA'nın, yüksek hız ve yüksek manevra kabiliyetine sahip, yerden kontrollu veya otonom olarak görev yapabilen insansız küçük bir muharip uçak olarak geliştirilmesi önerilmektedir

Proje 02-08: YAKA - Yörünge Altı Keşif Aracı. Çok yüksek hızda (>5000 km/saat) hareket edebilmek için 70-80 km yüksekliğe kadar çıkabilecek ve keşif görevi yapabilecek, yüksek hızı ve taşıdığı algılama, iletme sistemleri ile gözetleme bölgesine çok kısa bir sürede varıp, bilgi aktarabilecek bir insansız hava aracının geliştirilmesi önerilmektedir.

İhtiyaç Tespiti

İnsansız sistemlere yönelik projeler, hali hazırda Türk Silahlı Kuvvetleri ihtiyaç listesinde yer alan projelerdir. Ancak bu projeler kapsamındaki bazı kritik bileşenler ve teknolojiler açısından dışa bağımlılık mevcuttur. Bu nedenle uzun vadeli ve yetenek geliştirme hedefli bir yaklaşıma ihtiyaç bulunmaktadır. Önerilen program bu amaca hizmet edecek kapsama sahip olup, 2010 yılı sonrasında gerçekleştirilecek ana sistem tedarik programlarını destekler yapıdadır.

Bu Alanda Ülkenin Mevcut Ürün/Teknoloji Durumu ve Eksiklikler

İnsansız Hava Aracı Sistemleri Alanında Teknolojik Hazırlık Düzeyi aşağıdaki şekildedir;

Hava Aracı; İşletme ortamında performans testleri yapılmış prototip sistemler mevcuttur.

Mikro Hava Aracı; Gözlemlenmiş ve raporlanmış temel prensipler mevcuttur.

Muharip Hava Aracı; Gözlemlenmiş ve raporlanmış temel prensipler mevcuttur.

Faydalı Yükler; Başarılı görev harekatı ile onaylanmış gerçek sistemler mevcuttur.

Yer Kontrol; Başarılı görev harekatı ile onaylanmış gerçek sistemler mevcuttur.

Data-Link; Başarılı görev harekatı ile onaylanmış gerçek sistemler mevcuttur.

Yer Destek Sistemleri; Başarılı görev harekatı ile onaylanmış gerçek sistemler mevcuttur.

Mevcut Altyapı Durumu

İnsansız sistemler alanında gerek üniversite, gerekse sanayi kuruluşlarında bilgi, insan kaynağı ve alt yapı mevcuttur. Türkiye bu noktadan başlayarak, orta ve uzun vadeli hedefleri doğrultusunda bu alanda küresel ölçekte rekabetçi bir konuma ulaşabilir.

Programın/Projenin Yapacağı Doğrudan Katkılar

Özellikle muharip insansız hava aracı ve mikro insansız hava aracı programı, bu alanlarda uzun vadede gerçekleştirilecek tedarik programlarının düşük riskle başlatılabilmesine olanak sağlayacaklardır.

İnsansız hava araçları projeleri, insansız kara ve deniz araçları projeleri için de bir bilgi ve teknoloji temeli oluşturacaklardır. Bu alanda gerçekleştirilecek projelere yurt içi teknoloji transferi mümkün olacaktır. Benzer şekilde sivil alanda, özellikle sivil savunma, güvenlik, haberleşme, acil yardım, deprem, v.b. afet yardım alanlarında kullanılacak sivil insansız sistemler için gerçekleştirilecek projelerde yurt içi bilgi ve teknoloji transferi mümkün olacaktır.

İnsansız sistemlere ilişkin geliştirme çalışmaları, bileşenler üzerindeki minyatürizasyon (hacim, ağırlık, güç harcamada azaltma) baskısı nedeniyle, tasarım, üretim, malzeme ve enerji teknolojileri alanlarında teknolojik yetenek düzeyinde artışa katkıda bulunacaktır.

3.2 Türkiye için taktik İHA isterleri

Türkiye de diğer ülkelerin olduğu gibi sivil ve askeri alanda insansız hava araçlarına ihtiyaç duyacaktır (Ministry, 2003). Mini, taktik ve MALE alanlarında çalışmalar yürütülmektedir. Sırtta taşınan ve 1 saat civarında operasyon yapabilen gece gündüz hareketli kameralı bir sistem için yerli bir ihale açılmıştır ve yakında sonuçlanması beklenmektedir. MALE ile ilgili olarak İsrail'den acil alım yapılmış ve akabinde benzer bir sistemin yerli imkânlarla geliştirilmesi ile ilgili çalışma başlatılmış ve sorumluluk TAI'ye verilmiştir. Bu iki boy İHA'nın dışında mevcut durum düşünüldüğünde taktik bir İHA ihtiyacı konusunda bir fikir oluşabilir.

Türk Silahlı Kuvvetlerimizin envanterine giren ilk Türk tasarımı ve üretimi hava sistemleri Atış Hedef Uçağı "Turna" ve Takip Hedef Uçağı "Keklik" ile elde ettiği deneyim ve bilgi birikimi sonucu TAI, özgün insansız hava aracı tasarımı ve üretimi yapabilecek teknolojiye sahip olma yolunda da önemli bir mesafe kat etmiştir.

"İnsansız Hava Aracı Platformları Geliştirme Projesi" Savunma Sanayi İcra Komitesi tarafından onaylanmış ve TAI de projenin "Ana Yüklenici"'si olarak belirlenmiştir. İHA sistemleri; Bomba İHA, Savaşan İHA, Orta Boy İHA, Taktik İHA, Mini İHA, Mikro İHA gibi yapısı ve savaş senaryosundaki rolü değişiklikler arz eden sınıflara ayrılmaktadır. Ancak bu sistemlerin tümünde tasarım konsepti, yer sistemleri, uçuş teknolojileri ve bakım/idame açılarından bir çok teknik benzerlikler bulunmaktadır.

Özgün TİHA programı, "Orta İrtifa – Uzun Dayanırlıklı – Uzun Menzilli" ve her türlü hava şartlarında görev yapabilecek İHA tasarım ve üretimini kapsamaktadır. İlk uçağın uçuş testleri 2008 yılında yapılacak ve faydalı yüklerin entegrasyonu ile nihai uçak teslimi 2009 yılında gerçekleştirilecektir. TAI, her İHA projesinde de yerli sanayinin azami katkılarıyla gerçekleştirme azmi ve kararlılığındadır (Tai, 2005).

3.2.1 Arama Kurtarma ve Taktik İnsansız Hava Aracı

Mevcut İHA Programları dışında bir ihtiyaç da Taktik bir İHA Sistemidir. Taktik bir İHA kullanım özellikleri dikkate alındığında arama kurtarma aracı olarak da tasarlanabilir. Bu şekilde hem ihtiyaca yönelik bir tasarım yapmak hem de aynı çalışmanın sivil açılımlarını sergilemek mümkün olacaktır. Hem dağlık hem de deniz seviyesi görevlerin icra edilebileceği şekil 3.7'deki ege sahilleri ve dağlarında arama kurtarma yapacak bir insansız hava aracımı tasarımı yapılacaktır. Çalışmanın tasarım kısmı Euroavia Tasarım Çalıştayı'nda sekiz öğrencilerden oluşan bir ekiple birlikte yapılmıştır.



Şekil 3.7: Türkiye topografyası

3.2.2 Görev Özellikleri

Sivil sahada kara ve deniz arama kurtarma operasyonlarında kullanılacak, görev özelliklerini sağlayabilecek uygun faydalı yükü taşıyabilecek bir otonom insansız hava aracı tasarlanacaktır. İnsansız hava aracının 100 km içerisindeki arama bölgesine ulaşması, burada 3000 m irtifada 5 saat süre ile arama kurtarma görevini icra etmesi ve geri dönmesi beklenmektedir. İnsansız hava aracı bu görevi operasyon

yöneticisinin isteğine göre otonom veya elle kontrol ile yerine getirecektir. İnsansız hava aracı piste ihtiyaç duymayacak şekilde bir fırlatma sistemi ile kalkış yapabilecek, paraşüt ile inebilecek özellikte olacaktır. Ayrıca piste iniş yapabilme özelliği bir avantaj olarak sayılacaktır. Tüm yer destek donanımları ile birlikte insansız hava aracı taşınabilir özellikte olacaktır.

3.2.3 Uçak Performans Özellikleri

İnsansız hava aracından beklenen performans özellikleri aşağıda verilmiştir.

Seyir hızı ve dolanma hızı 50 m/s olacaktır.

Servis tavanı 3000m olacaktır.

Kalkış hızı 25 m/s olacaktır.

Maksimum hızı 60 m/s olacaktır.

Tırmanma oranı 5 m/s olacaktır.

30 m/s uçuş hızında 4g ile manevra yapabilecektir.

Maksimum yüklemeler +7g ve -3g olacaktır.

3.2.4 Faydalı Yük

Faydalı yük olarak mevcut bir tasarım kullanılacaktır, şekil 3.8. Faydalı yük araştırması yapılması beklenmemektedir. Hâlihazırda bulunan faydalı yükün bazı özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Faydalı yük 3 algılayıcı içermektedir.

Faydalı yükün boyutları çap 0,25m ve yükseklik 0,40m şeklindedir.

Faydalı yük 25 kilo ağırlığındadır.

Faydalı yükün bakış açısı 360 derece sürekli azimut ve 90 derece elevasyon şeklindedir.

Faydalı yük 4 eksende cayro sabitleyiciye sahiptir.

Faydalı yük 28VDC, 10A elektrik tüketimine sahiptir.



Şekil 3.8: Faydalı yük

3.3 Taktik İHA Tasarımı

3.3.1 Proje Tanımı

Dağ ve deniz operasyonlarında arama kurtarma görevleri için geliştirilecek bir insansız hava aracı tasarımı yapılması istenmektedir. Tasarım kıstasları görev yarıçapı, havada kalma süresi, en yüksek hız, dolanma, seyir, kalkış hızları, manevra kabiliyeti, servis tavanı olarak tanımlanmıştır.

3.3.2 Operasyon Senaryoları

Tasarımın çerçevesinin net bir şekilde belirlenebilmesi için operasyon senaryoları oluşturulmuştur. Bunlar yakın ve orta mesafede acil durum yaşayan turistleri bulmaya yönelik senaryolardır. Senaryolar açık deniz, dere ve dağ operasyonlarını içermektedir ve her senaryo kendi zorluklarını barındırmaktadır. Sunulacak çözümün tüm operasyonlara uygun olacak şekilde esnek olarak tasarlanması hedeflenmiştir.

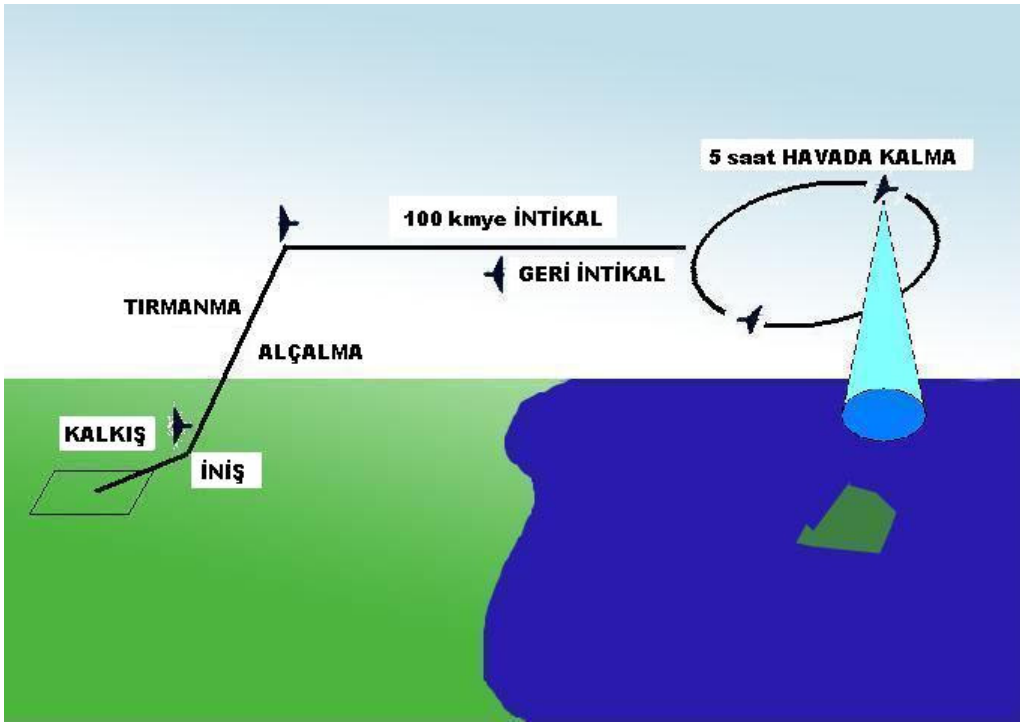
Sahilde kaybolan turist senaryosu; Bu senaryo turistin hayatta kalabilmesi için acil müdahele gerektirmektedir. Dolayısı ile hızlı bir şekilde olay mahalline intikal etmek gerekmektedir.

Açık denizde yat kazası; Bu gibi senaryolar menzil dışında kalabilecek durumlar oluşturabilir. Dolayısıyla menzil dışındaki olaylara müdahale etmek istenebilir. Mümkün olursa tasarımın bu özelliğini sunması avantaj olacaktır.

Kayıp dağcı turistler; Yüksek irtifada aranacak kişiler için hava desteği gerekebilmektedir. Yüksek irtifa ve kötü hava koşullarına uygun şartlarda operasyon yapabilecek bir tasarım gerekmektedir. Bir önceki senaryoya benzer şekilde iletişim ile ilgili sorun çıkabilir. Bu sorun menzil mesafesinden ziyade görüş hattının kaybolması olacaktır. Bu da çözülmesi gereken problemlerden bir tanesidir.

Dere yatağında kaybolan raftingçiler; Bu senaryoda operasyon yaparken çetin coğrafik şartlara uyum sağlamak gerekecektir. Kanyon veya yar benzeri yer şekilleri civarında uçmak yüksek manevra yeteneği gerektirecektir.

Senaryolardan da anlaşılabileceği gibi askeri görevlerin başarılması için gereken özellikler büyük oranda bu araçta bulunacaktır. Şekil 3.9'da temsili olarak görevlerin ortak bir şekilde ifadesi görülmektedir.



Şekil 3.9: Görev profili

3.3.3 Tasarım

Kavramsal Tasarım:

Tasarım ister analizleri yapıldıktan sonra kavram üzerinde çalışarak başlamıştır. İlk kavram klasik çift borulu tasarımdır. Tasarımın yüksek açıklık oranı ve yüksek parazit sürüklemesi vardır. İkinci kavram ise birleşik kanat gövde tasarımıdır. Bu tasarımda açıklık oranı ve parazit sürükleme diğer tasarıma göre düşüktür.

Kavramlar karşılaştırıldığında birinci kavramın ucuz ve kolay imalatı, test edilmiş bir tasarım olması özellikleri öne çıkmakta fakat kanat açıklığının yüksek olması sebebiyle taşınabilirlikte en iyi çözüm olmadığı görülmektedir. Diğer yandan ikinci kavram taşınabilme kolaylığı ve yapısal bütünlük özellikleri ile avantajlı durumdadır. Tasarımların karşılaştırılması sonucunda birinci kavramın özellikleri daha önde bulunmuş ve arz ettiği problemler de çözülebilir olarak kabul edilmiştir. İtki grubu için itici bir motor ve pervane seçeneği tercih edilmiştir. Kuyruk grubu için itici motordan kötü şekilde etkilenmemek amacıyla H tip kuyruk tercih edilmiştir.

Kavramsal Tasarım Sonu Konfigürasyonu:

Kavramsal tasarım sonucunda birçok mevcut insansız hava aracına benzer şekilde çift borulu konvansiyonel bir tasarım seçilmiştir. Kanat gövde üzerine yerleştirilmiştir ve bu sayede yanal stabilite artışı ve emniyetli operasyona imkan sağlanmıştır.

Gövde genel olarak bir daireden çok oval bir şekildedir. Bu sayede daha iyi bir iç yerleşim sağlanmış ve kesit alan azaltılmıştır. Bu yaklaşım tasarıma düşük sürükleme olarak yansımaktadır. Önde ve arkada motor seçenekleri üzerinde durulmuş, konvansiyonel gövde kuyruk devamı ve çift borulu alternatifler üzerinde durulmuştur. Burada arkadan motor ve çift boru alternatifi daha iyi ağırlık dağılımı vereceği ve yapısal ağarlığı azaltacağı düşünülerek tercih edilmiştir.

Kuyruk çeşitlerinden üç tanesi üzerinde durulmuştur. H kuyruk, ∏ kuyruk ve ters V kuyruk yapısal, operasyonel ve aerodinamik açılardan incelenmiştir. Kuyruğun pervane etkisinde sürekli kalması tercih edilmiştir. V ve ∏ şekilli kuyruklarda pervane etkisi manevralar sırasında farklı karakter sergileyeceği için tercih edilmemiştir ve H kuyruk seçilmiştir.

Çift boru seçimi ile kısa gövdeli ve itici motorlu bir tasarım yapmak mümkün olmaktadır. Gövde hava direncini azaltacak şekilde tasarlanmıştır. Kanat gövde

bağlantı hattına kadar gövde üzerindeki akış bozulmamakta ve düşük sürükleme sağlamaktadır. Benzer şekilde gövdeden ayrılma sırasında da düşük sürükleme sağlamak amacıyla gövde açısı 30 derecenin altında tutulmuştur. Motoru gövdenin arkasına yerleştirmenin itki verimi açısından dezavantajı olsa da gövde üzerindeki ayrılmaya meyilli akımı düzeltmesi bir avantaj olmaktadır.

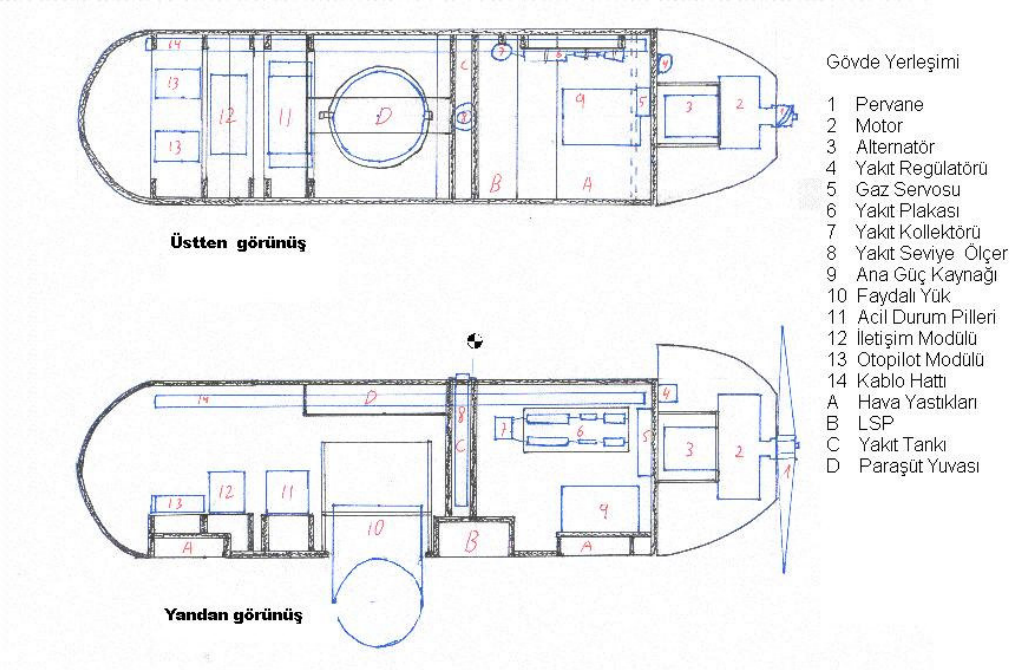
Kanat şekli genel olarak aerodinamik ihtiyaçlara cevaben şekillenmiştir ve operasyon açısından üç parçaya bölünebilir olarak tasarlanmıştır. Kanatlarda yakıt taşınmaması gene operasyon kolaylığı açısından uygun bulunmuştur.

Yapısal Tasarım:

Yapısal olarak ele alındığında tasarım gövde kanat ve kuyruk bölümleri üzerinde durulmuştur. Tüm kısımların gerekli mukavemeti göstermesi gerekmektedir fakat fazla gülcü dolayısı ile ağar olmaması gerekmektedir. Ayrıca malzeme ve üretim şekli incelenmiştir.

Gövde Tasarımı;

Aşağıda gövdenin genel şekli ve belli başlı parçalar görülmektedir. Yapısal malzeme olarak kompozit malzeme seçilmiştir. Kabuk sandviç yapı ile gövde yüzeyi üretilecek ve gövde içinde yapısal elemanlarla desteklenecektir. Gövdenin arkasında motor ve diğer parçaları ayıran bir firewall bulunmaktadır. Diğer destek elemanları aynı zamanda kanatlar ile gövdeyi bir arada tutmaktadır. Yerleşim itibariyle yakıt tankı kanadın altında bulunmaktadır ve uçuş sırasında ağırlık merkezi değişimi engellenmiştir. Şekil 3.10'da ayrıntı verilmiştir.



Şekil 3.10: Gövde yerleşimi

Kanat Tasarımı;

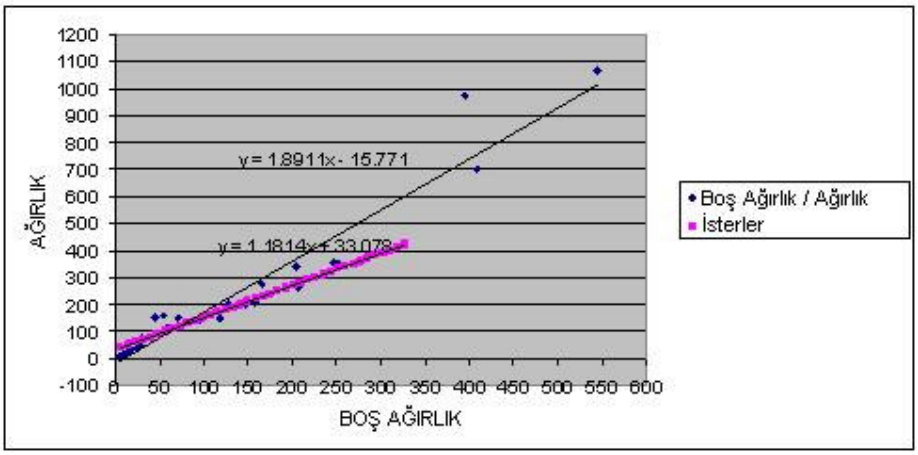
Kanat 3 parça halinde tasarlanmıştır ve orta parça gövdeyle birleşiktir. İki kiriş ile desteklenen kanat yapısı kompozit kabuktan oluşmaktadır. Kanatların birleşim yerleri ayrıca güçlendirilmiştir.

Kuyruk Tasarımı;

Kuyruk 3 parça halinde tasarlanmıştır. İki boru ve uçlarında düşey kuyruk parçaları ve bunların ortasında yatay kuyruk şeklindedir. Kuyruk da kanada benzer şekilde tasarlanmıştır.

İlk Ağırlık Hesabı:

Tasarımın ilk ağırlık hesabı yapılırken öncelikle tarihsel verilerden yararlanılmıştır. Sadece tasarım aralığındansa biraz daha geniş bir aralıkta 29 mevcut İHA sistemi verisi biriktirilmiştir. Bundan sonra Raymer Metodu ile tasarımın isterleri ile ilgili maksimum kalkış ağırlığına karşı boş ağırlık denklemi oluşturulmuştur. Tarihsel veriler ile bu eğri kesiştirilerek şekil 3.11'deki gibi ilk ağırlık değeri tahmin edilmiştir.

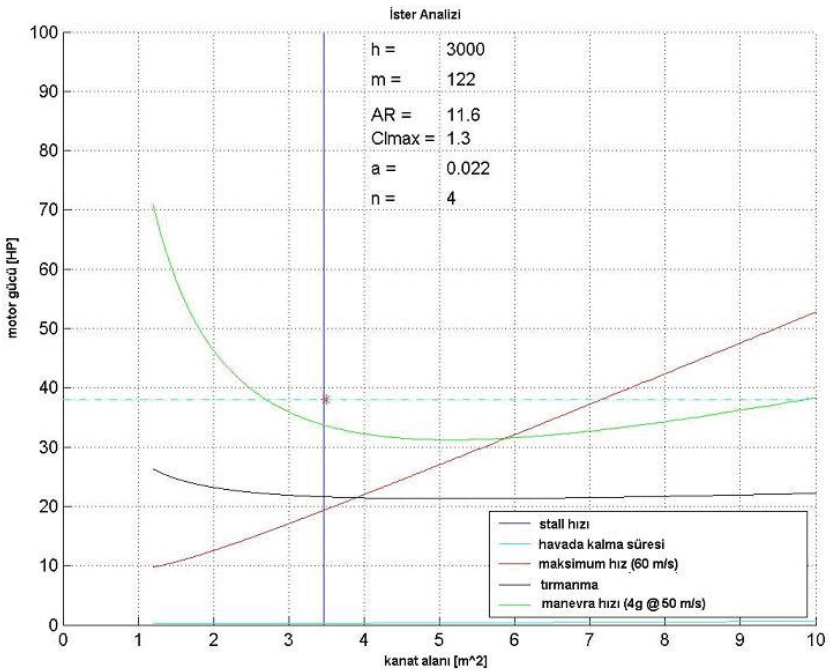


Şekil 3.11: Ağırlık tahmini

Ayrıca parçaların tahmini ağırlıkları toplanarak da tecrübeye dayalı bir tahmin yapılmış ve 120 kg olarak bulunmuştur. İki yaklaşım da çok yakın sonuçlar vermiştir.

Performans Analizi:

İsterlere bağlı olarak gerekli performans kıstasları P/W ve W/S değişkenlerine göre düzenlenmiştir. Şekil 3.12'de işaretlendiği şekilde performanslara uygun bir tasarım noktası seçilmiştir.



Şekil 3.12: İster analizi

Aerodinamik:

Aerodinamik açısından incelendiğinde kanat tasarımı uçağın ana ihtiyaçlarını yerine getirebilecek şekilde düşünülmüş ve basit bir şekilde tasarlanmıştır. Kanat tasarımında herhangi bir sweep ve twist açısı kullanılmamıştır. Taper bulunan konvansiyonel bir tasarım yapılmıştır.

Kanat Açıklığı: 6,37m

Kanat Alanı: 3,5m

Daralma oranı: 0,45

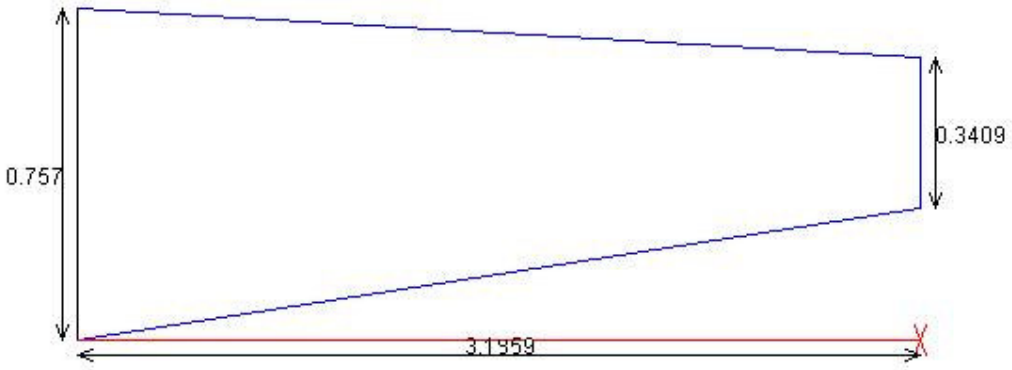
Açıklık Oranı: 11,6

Ortalama Aerodinamik Kord: 0,6m

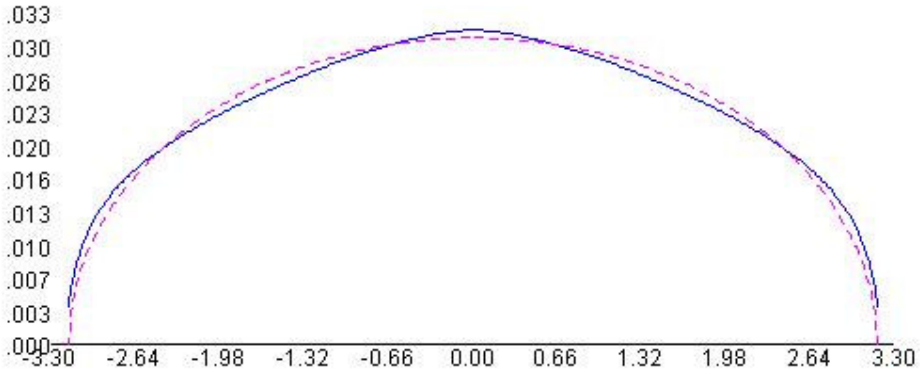
Kök kordu: 0,75m

Uç kordu: 0,34m

Bu tasarım için en uygun çözüm olarak şekil 3.13'deki gibi daralan kanat uygun bulunmuştur. Dikdörtgen kanada göre daha hafif şekilde üretilebilmektedir. Diğer taraftan daralma oranı 0,45 olduğunda aerodinamik olarak eliptik dağılıma iyi bir yaklaşım sağlamaktadır. Kanadın şekli ve taşıma dağılımı şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Kanat geometrisi



Şekil 3.14 : Taşıma eğrisi

Gövde tasarımı:

Gövde üç parça olarak tasarlanmıştır. Burun elips, orta bölüm silindir ve kuyruk bölümü paraboloit şeklindedir. Daha az sürükleme yapacak şekilde şekillendirilen gövde iki adet boru ile kuyruğa devam etmektedir.

Maksimum gövde çapı: 0,5m

Gövde uzunluğu: 2,5m

Aerodinamik merkezler arası mesafe: 2,2m

Kuyruk tasarımı:

Kuyruk gövdeden arkaya doğru gelen borular üzerine monte edilmiştir. Pervanenin arkasındaki havaya maruz kaldığı için ve manevrada bu havanın etkileri değiştiği için seçilen kuyruk tipinde simetrik profil kullanılmıştır. Düşey kuyruklarda 0,55 daralma olmakla birlikte yatay kuyrukta daralma bulunmamaktadır.

	Yatay Kuyruk	Düşey Kuyruk
Açıklık	1,49m	0,59m
Alan	0,49m^2	0,35m^2
Açıklık Oranı	4,5	2
Kord	0,33m	0,33m (kök)

Taşıma ve sürükleme hesapları:

Taşıma tahmini Cl-alfa grafiklerine dayanılarak yapılmıştır. Kanadın 3 boyutlu taşıması profil taşımasının %90ı olarak alınmıştır. Kanat ve kuyruk için iki değişik profil kullanılmıştır. Kanat için NASA NLF0115 seçilmiştir, bu profilin en fazla kalınlığı % 15'tir. Profilin seçilmesindeki ana etkenler geniş bir laminer bölgeye sahip olması dolayısıyla uçuş zarfının geniş bir aralığında düşük sürükleme yaratması, kanat kalınlığı ile servo, flap aleron gibi parçaları yerleştirmenin kolay olmasıdır. Aynı zamanda yapısal olarak eğilme momentlerine karşı iyi bir direnç göstermekte ve yüksek g manevralarında olumlu olmaktadır. Kuyruk için Eppler 472 profili kullanılmıştır.

Sürükleme hesabında CD = CDo + CDi kullanılmıştır. CDo hesaplanırken uçağın alt parçalarından gelen CDo parçaları toplanmıştır. Bu katsayıları çıkartırken Roskam.. dan yararlanılmıştır. CDi ise taşıma katsayısına bağlı şekilde hesaplanmıştır.

İtki Grubu:

İnsansız Hava Aracı isterleri arasında bulunan 4g ile manevra yapabilme özelliği motor seçimini etkileyen en önemli ölçüt olmuştur. Güçlü motorlardan ROTAX 503UL-2V, ZANZOTTERA 498IA, LIMBACH L550E ve UEL AR741 motorları

incelenmiştir. Bunların içerisinden UEL AR741 Wankel tipi çalışan 37 beygirlik direct drive motor seçilmiştir. Bu motorun özellikleri dolanma sırasında uygun yakıt tüketimi ve gerektiğinde yüksek güç üretimi ile diğerlerinden daha avantajlı bulunmuştur.

UEL AR741 Motorunun dolanma esnasında 15 beygir güç sağlaması, 5600rpm ile dönen bu motorun 0.6 lb/bhp/hr yakıt tüketimi olması ve 4glik manevralar sırasında 7800rpm ile 0.58 lb/bhp/hr yakıt tüketimi olması beklenmektedir.

Aviyonikler ve diğer alt sistemler:

Aviyonik ve diğer alt sistemler veri bağlantısı, uçuş kontrolü, uçuş bilgisayarı, yer istasyonu, fırlatma ve toplama mekanizmaları, yakıt sistemi, elektrik sistemi olarak sıralanabilir. Veri bağlantısı için L3 Communications ürünü kullanılmıştır. Bu ürün 200 deniz mili menzilde operasyon yapabilmektedir. İstenen veri iletişimi sağlayabilecek veri oranlarında iletişim yapabilmektedir ve 4kg ağırlığındadır. Hava aracı üzerindeki kısmı 5 ila 200 Watt güç çekmektedir.

Uçuş kontrol sistemi olarak algılayıcılar, uçuş bilgisayarı ve eyleyiciler sayılabilir. Aracın durumunun tayini için ataletsel sevk ve idare sistemi kullanılmıştır ve bu sistem GPS ve hava hızı ölçer ile desteklenmiştir. İnişlerde kullanılmak üzere yükseklik ölçer de mevcuttur. Uçuş bilgileri dışında işleyen sistemlerle ilgili parametreleri takip eden ölçme cihazları da mevcuttur. Motor ısısı, yakıt akışı, elektrik durumu, motor devri gibi değişkenlerin ölçümleri de uçuş bilgisayarı tarafından ve yerden izlenebilir. Faydalı yük kontrolü de uçuş bilgisayarına bağlı şekilde çalışmaktadır. Pilota ihtiyaç duymadan seyrüsefer yapabilme özlliği otopilot ile sağlanmıştır. Algılayıcılardan gelen verileri filtreleyerek önce konumunu tespit eder, daha sonra görev bilgileri ile yapılması gereken sevk ve idareyi ortaya koyar ve bunu sağlamak için gerekli eyleyici komutlarını üretir.

Yer istasyonu iki pilot tarafından kullanılabilecek şetler içerisinde bulunan bir sistemdir. Burada görev planlama ve idare ilgili ekipman bulunmaktadır. Bu sistem bir ticari minibüsün arkasına sığacak şekilde düşünülmüştür.

Kalkış sistemleri araç üzerinden, sapan ile ve roket destekli olmak üzere değişik şekillerde yapılabilir. Burada araç üzerinden fırlatma seçeneği boyut sebebi ile tercih

edilmemiştir. Roket destekli sistemler ise diğerlerinden tehlikelidirler. Sapan ile fırlatma ve taşınabilir bir sapan tasarımının burada kullanılmasına karar verilmiştir. 7m uzunluğunda rampa üzerinde çalışan bir sapanın yeterli olacağı öngörülmüştür. İniş için ise paraşüt ve hava yastığının birlikte kullanıldığı bir sistem düşünülmüştür.

Yakıt sistemi uçağın gövdesinde bulunmaktadır ve kanatlarda yakıt depolanmamaktadır. Bu sayede kanatların takıp çıkartılması daha kolay, kaza durumunda risklerin azaltılması mümkün olmuştur. Yakıt tankı uçağın ağırlık merkezindedir ve uçuş esnasında ağırlık merkezinin değişmemesini sağlar. Yakıt sistemi de yakıt tankı, yakıt pompası, filtreler, valfler gibi parçalardan oluşmaktadır.

Elektrik sistemi itki grubuna bağlı 28V DC akım üreten 60W bir alternatör ve üretilen bu elektriğin dağıtılma sisteminden oluşur. Bunun yanı sıra itki grubu arızası sırasında uçağın emniyetli bir şekilde idare edilebilmesi için yedek piller de bulunmaktadır.

Performans:

Yapılan çalışma neticesinde ortaya konan tasarım müşterinin ortaya koyduğu isterlerin üzerindedir.

Aşağıda bazı performans bilgileri sunulmuştur;

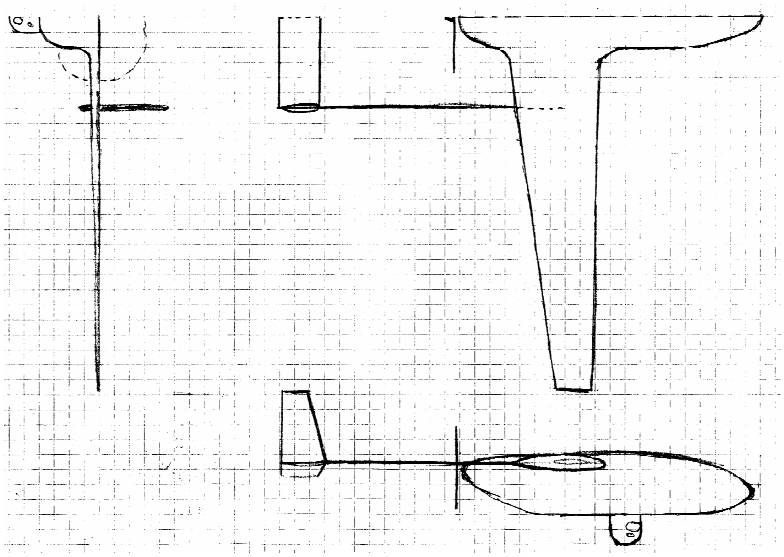
Dolanma hızı:	50 m/s
Deniz seviyesinde en yüksek hız:	83 m/s
Servis tavanı:	7000 m
Tırmanma oranı:	13 m/s
Tırmanma 300 m:	0.4 min
Tırmanma 3000 m:	4.6 min
Tırmanma 5000 m:	8.7 min
En dar dönüş çapı, @SL:	44.5 m (n = 5.95)
En dar dönüş çapı, @ 3000 m:	60.7 m (n = 4.4)

Menzil: 100 km

100km menzilde havada kalma süresi: 5 saat

Maliyet:

Yapılan çalışmada sistemin geliştirilmesinin maliyeti boş ağırlık, en yüksek sürat, üretilecek uçak sayısı, yapılacak test uçağı sayısı, mühendislik saat ücreti, aviyonik satın alma fiyatı gibi değişkenlerden yola çıkılarak DAPCA metodu ile yapılmıştır. 10 uçaklık bir filo için ön görülen maliyet 2.330.200US$ olarak hesaplanmıştır. Uçağın örnek çizimleri şekil 3.15'te görülmektedir.



Şekil 3.15: Tasarım çizimi

4. İHA Tasarımına DTO Uygulanması

4.1 Amaç

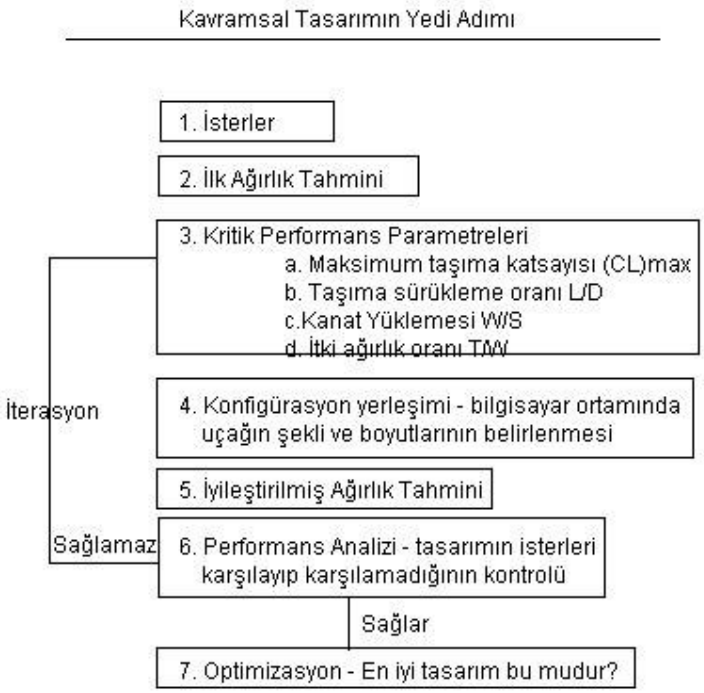
Çalışmanın amacı uçak tasarımı sürecinde kavramsal tasarım sonrasında tasarım henüz dondurulmadan multidisipliner optimizasyonu uygulayarak ön tasarıma geçecek uçağın en iyi performansı verecek şekilde tekrar gözden geçirilmesidir. Bunun için yazılan kodun iki modülü dışarıdan kavramsal tasarım bilgisi almakta, optimizasyon algoritmasına sokarak daha iyi bir çözüm olup olmadığını araştırmaktadır.

4.1.1 Tasarım iyileştirmesi

Tasarımcıların her zaman bulmaya çalıştıkları en iyi tasarıma ulaşmak için optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç vardır (Wu, 2003) (Wakayama, 1998) (Tarzanin, 1998). Önceki bölümde Türkiye şartları için belirlenen özelliklere uygun bir insansız hava aracı tasarımı anlatılmıştır. Geliştirilen bu insansız hava aracının kavramsal tasarım aşamasında tasarım verimini arttırmak amacıyla bir optimizasyon uygulamasına konması planlanmıştır. Sonuç itibariyle tasarımın erken safhalarından itibaren birden fazla disiplin hesaba katılarak ilerideki olası olumsuzluklar önlenebilecek ve tasarımda bir iyileştirme sağlanacaktır. Şekil 4.1'deki kavramsal tasarım adımlarına dikkat edersek bir önceki bölümde ilk adlımın üzerinden geçildiği görülmektedir ve bu bölümde de yedinci adım incelenecektir (Jenkinson, 2003).

4.1.2 Tasarım değişkenleri

İyileştirme mevcut tasarım üzerinden yapılmıştır. Görev bilgileri sabittir (bölüm.. de veilmiştir) ve görev tanımlama modülüne girilmektedir. Yapılacak iyileştirme uçağın tasarlanan geometrik özellikleri üzerinden yapılmıştır. Uçağın tasarlanan geometrisi üzerinde izin verilen ölçülerde değişiklikler yapılarak daha iyi bir tasarım olup



Şekil 4.1: Kavramsal tasarım aşamaları

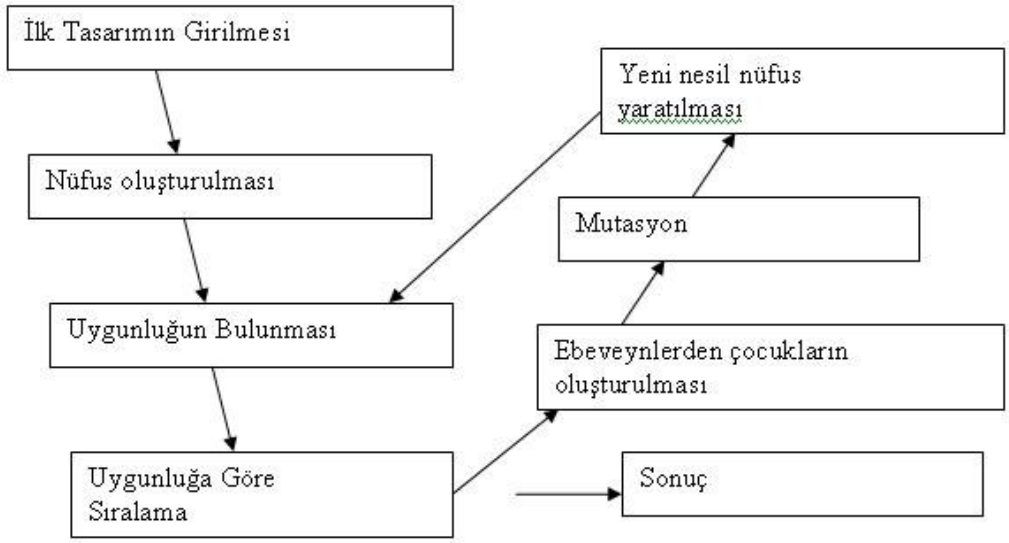
olmadığı incelenecektir. Yapılan ilk tasarımın geometrik özellikleri görev tanımlama modülüne girilerek alternatif tasarımlar aranacaktır. Tasarım değişkenlerinden beklenen fiziksel özelliklere sirayet edebilme, müşteri tarafından değerlendirilecek değişkenleri etkileme, tasarımın genelini etkileme gibi özellikler mevcuttur.

4.2 Optimizasyon

İnsansız hava aracı tasarımı kavramsal olarak tamamlandıktan sonra bu tasarımın iyileştirilmesi amacıyla bir optimizasyon çevrimine sokulması mümkündür. Tasarımın daha iyiye doğru gitmesi için çeşitli iterasyonlar yapılmaktadır fakat bu iterasyon adımları için yıllar içerisinde birikmiş bir tecrübe veya iyi bir önsezi gerekmektedir (Raymer, 1992). Bunun yerine bir optimizasyon algoritması kullanarak problemin olası iyileştirmesi yapılabilir. Bu şekilde tecrübe veya önseziden daha olumlu sonuçlar almak mümkün olabilmektedir.

4.2.1 Optimizasyon metodu seçimi

Optimizasyom metodu olarak genetik algoritma üzerinde çalışmak tercih edilmiştir (Whitney, 2003). Yapılan ilk tasarımın girilmesi ve tasarım esnekliğinin belirlenmesi ile bir tasarım uzayı oluşmuştur ve bu uzayda evrimsel olarak global optimum noktanın bulunması amaçlanmıştır. Genetik algoritma ile tasarım yapmak için bir tasarım yapılmıştır. Şekil 4.2'de akış görülmektedir.



Şekil 4.2: Optimizasyon akışı

Burada uçak tasarımının fiziği ile ilgili bilgileri barındıran modüller yaratılmıştır. Bu modüllerin bir arada hesaplanması ile bir uygunluk hesaplanmaktadır. Uygunluğa göre sıralama yapılmakta ve yeni nüfus oluşturmak için buradaki uygunluk derecelerine dikkat edilmektedir. Bu çevrimin sağlanması için tasarım kriterlerinin kromozom olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Daha sonra yaratılan nüfusun uygunluğunun hesaplanması ve bu uygunluğa göre sıralanması ile yeni nüfus yaratılıp yeni nüfustaki bireylerin eskilerden daha uygun olup olmadığına bakılmaktadır. Burada önemli nokta yeni bireylerin eskilerden daha iyi olması ihtimalini sağlamak için gerekli üreme ve mutasyon kurallarını belirlemektir.

Kromozom Oluşturulması

Tasarımdaki geometrik özellikler uçağın karakterini belirlediği kabul edilerek programa girdi olarak alınmıştır. Alınan bu değerler başlangıç değeri olarak saklanmıştır. Diğer taraftan bu değerlerdeki değişimi temsil eden kromozomlar

oluşturulmuştur. Kanat açıklığı, kök veter boyu, uç veter boyu, gövde çapı, yatay kuyruk açıklığı, yatay kuyruk veteri, dikey kuyruk boyu, dikey kuyruk veteri olarak sekiz değişken için bir kromozom oluşturulmuştur. Parametrelerin değişim aralıklarını programa girmek mümkündür. Değişim aralıklarını temsil edecek şekilde 6 karakterli olmak üzere 8 gen yan yana dizilmiştir. Her gen için 111111 alabileceği aralıktaki en yüksek değeri, 000000 ise alabileceği en düşük değeri gösterir. Bu değer başlangıç değerine eklendiğinde o gen için yeni bir değer ifade eder. Tüm işlemler bu 48 haneli 2 basamaklı sayı dizisi üzerinden yapılmıştır.

Uygunluk fonksiyonu

Uygunluk fonksiyonu her bir birey için öncelikle baskın olan dolanma süresi ve intikal mesafesine göre hesaplanması ve daha sonra diğer parametrelerin hesaplanılarak uygunluğunun ölçülmesi şeklinde çalışmaktadır. Bununla ilgili ayrıntılı bilgi bir sonraki bölümde yer almaktadır.

Elitlik

Üretilen nüfus içerisinde yaşayabilen (tasarım kriterlerini ihlal etmeyen) ve ölen (tasarım kriterlerini ihlal eden) bireyler oluşabilir. Yaşayan karakterler içerisinde uygunluk derecesi yüksekten aşağıya doğru dizilmektedir. En yüksek değeri alan birey en elit olacak şekilde sıralanır.

Üreme

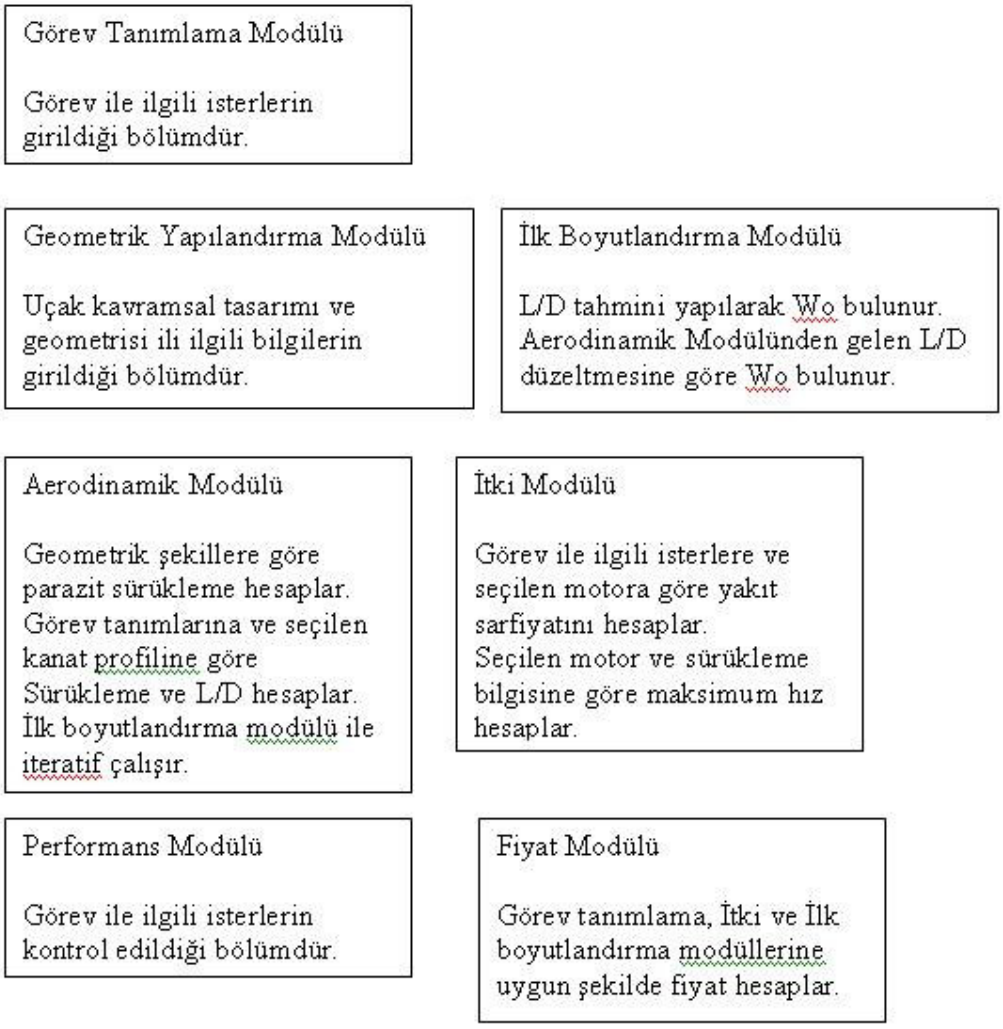
Üreme elitlik listesindeki bireylerin sırasını esas alır. Nüfusta yaşamaya devam eden bireylerden kullanıcının tercihine göre seçilecek bir kısım elit üreme işlemine sokulur. Buna göre birinci sıradaki birey yeni nüfus içerisinde doğrudan yer alır. Daha sonra seçilen elitler rasgele ikili eşler olarak seçilir ve çiftleştirilir. Bu aşamada önceki popülasyonun toplam elit sayısına gelinceye kadar çiftleşmeye devam edilir. Bundan sonra geri kalan bireyler rasgele olarak üretilir. Rasgele fonksiyonu ayrıca ilk tasarım tanımlandığında başlangıç değerinden ilk nüfusun oluşturulmasında kullanılır.

Çiftleşme

İki bireyden bir birey meydana getirme işlemine çiftleşme denmektedir. Yeni oluşacak birey özelliklerini sırayla ebeveynlerinden alır. Her bir özelliğin geçişi rasgele bir ebeveynin özelliği olarak aktarılır. Sekiz gen de aktarıldığında kromozom tamamlanır ve nüfusa katılmadan mutasyon işlemine tabitutulur.

Mutasyon

Mutasyon olma sıklığı kullanıcı tarafından girilen bir değerdir ve bu oranda tüm bireylere uygulanır. Eğer mutasyona uğramasına karar verilmiş bir birey varsa onun 48 birimli kromozomunda rasgele bir birim seçilerek değeri değiştirilir. Bu sayede bireyde beklenmedik bir değişim meydana gelmiş olur.

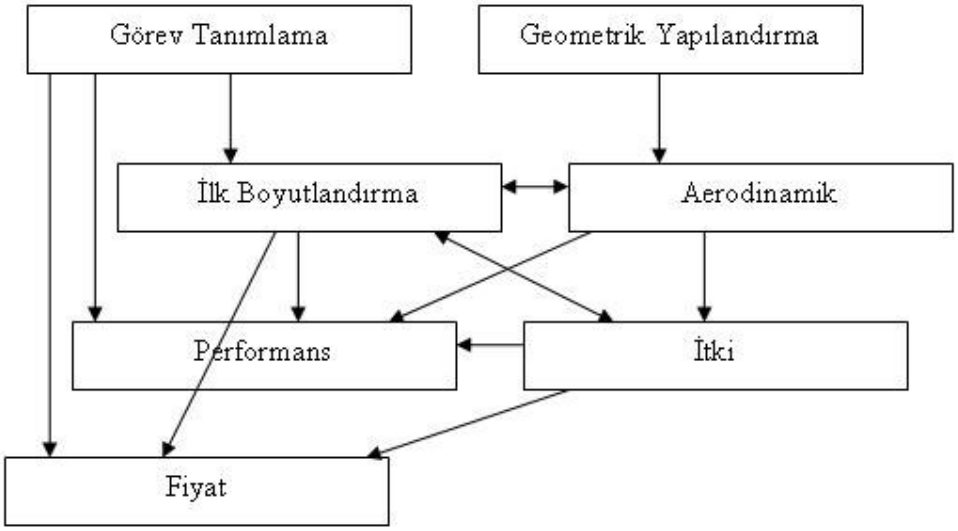


Şekil 4.3: Modüller ve görevleri

4.2.2 Uygunluk Fonksiyonu

Disiplinler arası Tasarım Optimizasyonunda hesaba katılması düşünülmüş modüller şu şekildedir. Yapısal modül, aerodinamik modül, itki modülü, kontrol modülü, performans modülü, üretim modülü, bakım modülü ve fiyat modülü. Bunların dışında hesaplamalara ve veri girişlerine yardımcı olmak üzere bazı modüller bulunmaktadır. Görev tanımlama modülü, geometrik konfigürasyon modülü, ilk boyutlandırma modülü diğer modüllere destek olarak bulunmaktadır. Özel olarak modüllerin işlevleri şekil 4.3'te açıklanmıştır.

Öncelikle modüllerin görevleri anlatılmış arkasından belli bir yaklaşımla o modülün hesapları nasıl yaptığı anlatılmıştır. Modüller tasarlanırken mümkün olan basit şekilde tasarlanmıştır ve modüllerin hesaplama şekilleri değiştirilebilir niteliktedir. Modüller arasındaki ilişki aşağıdaki şekil 4.4'te gösterilmiştir.

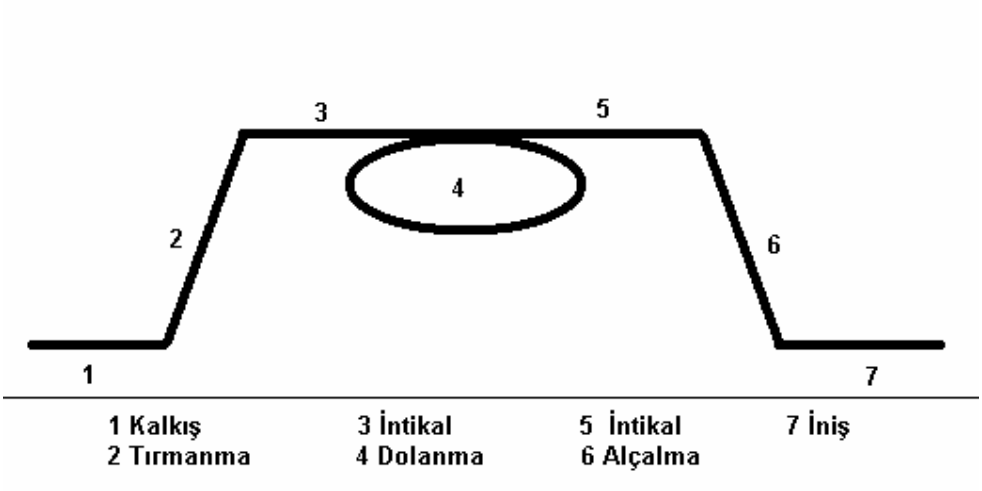


Şekil 4.4: Modellerin ilişkileri

Görev Tanımlama Modülü:

Tasarımcının görevi tanımlamasını sağlar. Klasik bir insansız hava aracı görevi girilebilecek şekilde hazırlanmıştır. Görev şekil 4.5'deki gibi 7 kısma bölünmüştür. Kalkış, Tırmanma, İntikal, Dolanma, Geri İntikal, Alçalma ve İniş kısımlarından oluşan görev parçalarına istenirse manevra bilgisi de eklenebilmektedir. Bu bölümlerin bilgisi dışında faydalı yük ağırlığı, rezerv yakıt oranı, hapis kalan yakıt

oranı girilmektedir. Bu modül temel olarak bir hesaplama yapmamakta, diğer modüllere bilgi aktarımını sağlamaktadır.

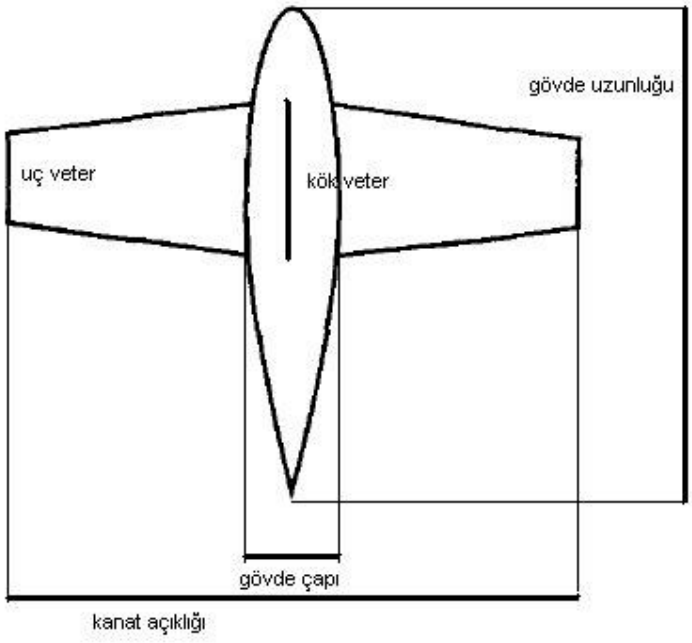


Şekil 4.5: Görev profili

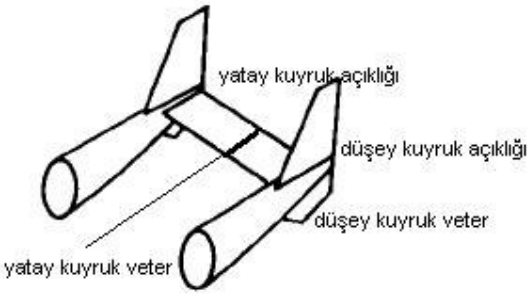
Geometrik Yapılandırma Modülü:

Uçak tasarımında verilen kararların yansıtıldığı modüldür. Yedi alt birimden oluşur. Bunlar gövde, kanat, stratlar, borular, dikey kuyruk ve yatay kuyruktur. Genel olarak uçağın geometrik şekli ile ilgilenen modüllere bilgi sağlar. Burada girilen bilgiler bir CAD programına aktarılarak uçağın çizimi de elde edilebilir.

Tasarımcı tarafından girilecek bilgiler şekil 4.6'daki gibi kanat açıklığı, kanat kök veteri, kanat uç veteri ve gövde uzunluğu ile şekil 4.7'de görüldüğü gibi yatay kuyruk veteri, yatay kuyruk açıklığı, dikey kuyruk açıklığı, dikey kuyruk kök veteri, dikey kuyruk uç veteri şeklindedir.



Şekil 4.6: Gövde ve kanat bilgileri



Şekil 4.7: Kuyruk bilgileri

İlk Boyutlandırma Modülü:

Temel olarak ağırlık tahmini yapmaya yarayan yardımcı bir modüldür. Raymer metodundaki şekilde ağırlık hesaplanmaktadır. Görev tanımlama modülünden alınan bilgiler burada boyutlandırma hesapları için kullanılır. Bu modüle bağlı bir de tarihsel veri deposu bulunmaktadır ve ağırlık oranı bilgisi için buraya başvurulur. Tarihsel veri deposundaki uçakların bir listesi tablo 4.1'de verilmiştir. Uçaklar dar kapsamda olmayacak şekilde genelde tasarlanan uçağın boyutlarına yakın uçaklardan seçilmiştir.

Tablo 4.1: Veri bankası bilgileri

#	UÇAKLAR	BOŞ AĞIRLIK	KALKIŞ AĞIRLIĞI
		(kg)	(kg)
1	BLUE HORIZON	71	150
2	CHACAL	30	75
3	CRECERELLE	45.4	150
4	DRAGONFLY 2000	94	140
5	HELLFOX	53.9784	158.76
6	PHOENIX	157.2	209.2
7	SENTRY	58.968	113.4
8	SHADOW 200	118.2	149
9	SOJKA	97	145
10	AEROSONDE	9	15
11	ALTUS	394.6	975
12	ANSER	25	60
13	BACKPACK	3.6288	5.4432
14	CL	127	204
15	DRAGONE DRONE	24.948	38.556
16	I-GNAT	408	703
17	JAVELIN	3.94632	9.072
18	MINI VANGUARD	27.216	45.36
19	NISHANT	252	350
20	PREDATOR	544.3	1065.96
21	PLOWLER II	204.1	340
22	SCANEAGLE	11.1	15.4
23	SEASCAN	11.1	15.4
24	SEEKER	165	275
25	SENTRY	58.968	113.4
26	SHADOW 400	147	203
27	SHADOW 600	206.8	265.9
28	SKYEYE	247.212	353.808
29	TERN	17.7	34

Raymer metoduna göre boş ağırlığı hesaplamaka için

$$W_0 = \frac{W_{crew} + W_{payload}}{1 - (W_f / W_0) - (W_e / W_0)} \tag{4.1}$$

kullanılır. İnsansız hava aracında ekip bulunmadığından ekip ağırlığı yoktur. Boş ağırlık oranı yukarıda verilmiş … nolu tablodaki uçakların verisinden hesaplanır. Yakıt oranı ise görev planlama modülündeki bilgilere göre yakılacak yakıt hesaplanarak bulunur. Menzil ve dolanma uçuşları için

$$\frac{W_i}{W_{i-1}} = \exp \frac{-RC}{V(L/D)} \tag{4.2}$$

$$\frac{W_i}{W_{i-1}} = \exp \frac{-EC}{L/D} \tag{4.3}$$

formülleri Brouget denkleminden yazılmıştır. Bunun dışındaki uçuş safhalarının yakıt oranları sabit olarak kabul edilmiştir.

Daha sonra yakıt oranları çarpılmış ve birden çıkartılmıştır.

$$\frac{W_5}{W_0} = \frac{W_1}{W_0}\frac{W_2}{W_1}\frac{W_3}{W_2}\frac{W_4}{W_3}\frac{W_5}{W_4} \tag{4.4}$$

$$\frac{W_f}{W_0} = 1 - \frac{W_5}{W_0} \tag{4.5}$$

Sabit kabul edilen yakıt oranları şu şekildedir;

Fırlatma ve kalkış: 0.995

10.000 feete tırmanma: 0.99

Alçalma ve paraşütle iniş: 0.99

Tüm bu veriler ve hesaplamalar ile ilk ağırlık hesaplanmıştır. Burada kullanılan seyir ve dolanma esnasındaki taşıma sürükleme oranları ve özgül yakıt sarfiyatı kullanıcıdan gelen tahmin kabul edilerek hesaplanmıştır. Aerodinamik modülünden gelecek düzeltilmiş taşıma sürükleme oranları ve itki modülünden gelecek özgül yakıt sarfiyatları ile tekrar hesap yapılacak ve bulunan ilk ağırlık değeri güncellenecektir. Bu yeni taşıma sürükleme oranları ve özgül yakıt tüketimi değerleri üretmekte kullanılacak ve en sonunda kullanıcı tarafından girilen sınır değer altında bir ağırlık değişimi olduğunda bu modül son kez ilk ağırlık verisini güncelleyerek diğer modüllere verecektir.

Aerodinamik Modülü:

Temel olarak geometrik konfigürasyon modülündeki bilgiler ve uçuş şartları bilgileri alır ve bunlardan sürükleme bilgisi oluşturur. Profil verileri bu modül içinde bulunmaktadır ve seyir, dolanma, stall gibi hızlar için gerekli taşıma kasayısı, sürükleme katsayısı ve buna bağlı olarak taşıma sürükleme oranı verileri burada bulunur.

Geometrik konfigürasyon modülünden gelen uçak bilgileri ve bilgisayara girilmiş parazit sürükleme katsayıları ile parazit sürükleme hesaplanır ve kanat alanı başına düşen miktarı bulunur. İlk ağırlık tahminine göre kanat alanı ve uçuş bilgilerinden gerekli tasıma katsayısı bulunur. Profil bilgisinden profilin sürükleme katsayısı bulunur ve son olarak uçuş şartları ve bu şartlarda kullanılacak taşıma katsayısına bağlı olarak indüklenmiş sürükleme bulunur. Tüm sürükleme katsayılarının toplamı toplam sürükleme katsayısını verir ve taşıma katsayısının toplam sürükleme katsayısına oranı taşıma sürükleme oranına eşittir.

$$\frac{L}{D} = \frac{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 S C_L}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 S C_D} = \frac{C_L}{C_D} \tag{4.6}$$

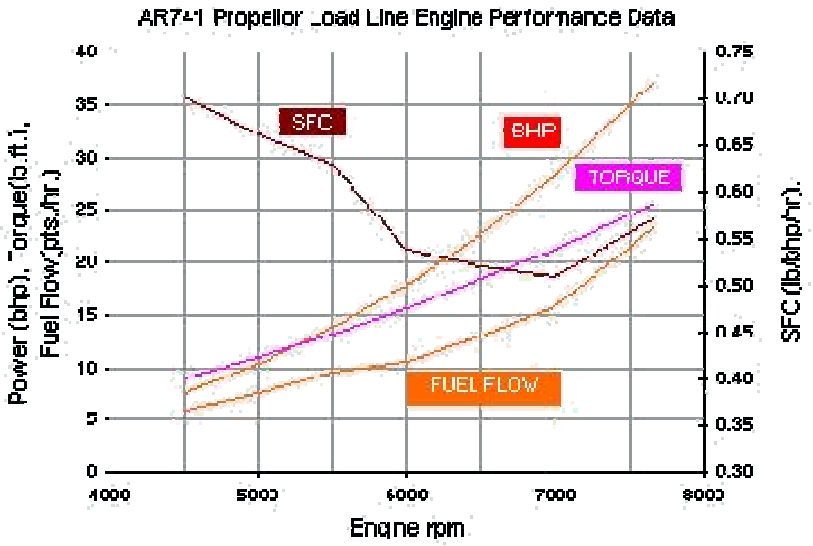
Bu işlem dolanma, seyir ve iniş kalkış için ayrı ayrı yapılır. Hesaplanan taşıma sürükleme oranları bilgileri itki modülüne gönderilerek bu oranlar için özgül yakıt tüketimleri hesaplanır. Tüm üretilen bu bilgiler ilk boyutlandırma modülüne giderek yeni bir ağırlık çıktısı olarak geri döner. İlk boyutlandırma modülü ağırlık verisini ürettiği sürece bu hesaplamalar da sürekli şekilde tekrarlanır.

İtki Modülü:

Bu modülde motor verileri bulunur. Motorların ağırlıkları, değişik süratlerde yakıt sarfiyatları bu modülden bulunabilir. Uçağın ağırlığı ilk boyutlandırma modülünde bulunmuş, seyir, dolanma ve stall hızları görev tanımlama modülünde girilmiştir. Taşıma sürükleme oranlarının da aerodinamik modülünde bulunması ile

$$P_R = T_R V_\infty = \frac{W}{C_L/C_D} V_\infty \tag{4.7}$$

Kullanılarak uçuş safhaları için gerekli güç bulunabilir. Bundan sonra motor verilerinden şekil 4.8'de görülebileceği gibi gerekli güce karşılık bir motor



Şekil 4.8: Motor verileri

devri, bu motor devrine de karşılık bir özgül yakıt tüketimi bulunması mümkündür. Bu veriler ilk boyutlandırma modülüne gönderilir ve yeni gelecek ağırlık, taşıma sürükleme verileri ile tekrar hesap yapılır.

İterasyon sonlandıktan sonra bu modülün diğer görevleri yerine getirilir. Özgül yakıt tüketimlerini kullanarak hesaplanacak işletme maliyeti ve en yüksek hız bu modülde hesaplanır.

Performans Modülü:

Bu modülde tasarım kriterlerinin tümü kullanılarak performans isterlerinin sağlanıp sağlanamadığı kontrol edilmektedir. Performans modülü deniz seviyesinde stall hızını, kalkış mesafesini, deniz seviyesi tırmanma oranını, seyir hızını, manevra isterlerini ve iniş mesafesini kontrol etmektedir.

Stall süratinin sağlanıp sağlanamadığı aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$W/S = \tfrac{1}{2}\rho V_{stall}^2 C_{L_{max}} \qquad \textbf{(4.8)}$$

Daha önce belirtildiği gibi Brouget denkleminden menzil ve dolanma süreleri hesaplanmaktadır fakat burada tekrar hesaba gerek yoktur zira amaçlandığı gibi tasarım tam istenen menzil ve havada kalma süresini vermektedir.

Tasarımın manevra şartını yerine getirip getiremediği aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$n = (T/W)\,(L/D) \tag{4.9}$$

Ayrıca tasarımın tırmanma oranı şartını yerine getirip getiremediği de kontrol edilir.

$$TV_\infty - DV_\infty \equiv \text{excess power} \tag{4.10}$$

$$R/C = \frac{\text{excess power}}{W} \tag{4.11}$$

Fiyat Modülü:

Bu modül insansız hava aracının fiyatını hesaplamaktadır. Bunu yapmak için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur, genel olarak uçak ağırlığı ve geometrisiyle bulunacak çalışma saati hesaplanır ve uygun bir ücret ile çarpılır.

$$\text{Eng hours} = 4.86 W_e^{0.777} V^{0.894} Q^{0.163} = H_E$$

$$\text{Tooling hours} = 5.99 W_e^{0.777} V^{0.696} Q^{0.263} = H_T$$

$$\text{Mfg hours} = 7.37 W_e^{0.82} V^{0.484} Q^{0.641} = H_M$$

$$\begin{aligned} \text{QC hours} &= 0.076\ (\text{mfg hours}) \quad \text{if cargo airplane} \\ &= 0.133\ (\text{mfg hours}) \quad \text{otherwise} \end{aligned}$$

$$\text{Devel support cost} = 45.42 W_e^{0.630} V^{1.3} = C_D$$

$$\text{Flt test cost} = 1243.03 W_e^{0.325} V^{0.822} FTA^{1.21} = C_F$$

$$\text{Mfg materials cost} = 11.0 W_e^{0.921} V^{0.621} Q^{0.799} = C_M \tag{4.12}$$

$$\text{RDT\&E} + \text{flyaway} = H_E R_E + H_T R_T + H_M R_M + H_Q R_Q + C_D$$
$$+ C_F + C_M + C_{\text{eng}} N_{\text{eng}} + C_{\text{avionics}}$$

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada insansız hava aracı için bir multidisipliner tasarım optimizasyonu amaçlanmıştır. Bunun için C++ ortamında bir optimizasyon kodu oluşturulmuştur. Kodun birinci bölümü uygunluk fonksiyonunu hesaplamaktadır ve bilinen bir tasarım ile denenerek bu kısmın ve modüllerin çalıştığı gözlemlenmiştir. İkinci kısımda genetik algoritma adımlarının çalıştığı basit bir problem üzerinde denenerek gösterilmiştir. Bu bölüm ile ilgili değişik çalışmalara devam etmek mümkündür. Program modülleri daha detaylı olarak tasarlanabilir ve veri girişi mümkün kılınarak değişik geometrideki hava araçları da programa girilerek iyileştirme çalışmalarında kullanılabilir.

İkinci safhada tasarlanmış insansız hava aracının iyileştirilmesi amacıyla bu programda çalıştırılmıştır. Uçak kanat ve gövde geometrisinde değişiklikler kaydedilmiştir. Kanat açıklığının tasarlanandan uzun çıkması, kanat ve kuyruk alanlarının küçülmesi, gövdenin daha ince uzun bir hale gelmesi, bunların sonucu olarak sürüklemenin ve ağırlığın azalması neticesinde fiyatın ucuzlaması kaydedilmiştir. Çalışmada kavramsal tasarımdan ön tasarıma geçilirken performans değerlerinin sabit tutulduğu bir optimizasyonun fiyatı azaltabileceği gösterilmiştir.

Çalışmanın devamında farklı algoritmalar kullanılarak değişik karşılaştırmalar da yapılabilir. Benzer şekilde sabit motor ve kanat profili kullanmak yerine alternatif motor ve profilleri de değerlendirecek şekilde bu program geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Anderson, J.D., 1999. *Aircraft Performance and Design*. WCB McGraw-Hill Companies Inc. Madison, WI

Beasley, D., Bull, D.R., Martin, R.R., 1993. An Overview of Genetic Algorithms: Part 1. Fundamentals, Univ. Computing, **15**(2), 58-69

Belanche, L.İ., 1999. Case Study in Neural Network Training with Breeder Genetic Algorithm, LSI Technical Report LSI-00-07-R. Universitat Politecnica de Catalunya

Busetti, F., 2002. Genetik Algorithms Overview, www.researchindex.com

Çetin, G., 1995. İnsansız Hava Aracı Tasarımı. Tez (Y. Lisans)-- İTÜ Fen Bil. Enst. Basımevi, İstanbul

Davis, L., 1991. Handbook of genetic algorithms**.** ISBN: 0442001738 Van Nostrand Reinhold Corp., New York

DeJong, K., 1980.Adaptive System Design: A Genetic Approach. IEE Trans SMC, 10, 566-574

Demirel, L., 1999. Genetic Algorithms İn Engineering Optimization**.** Tez (Y. Lisans)-- İTÜ Fen Bil. Enst. Basımevi, İstanbul

Fahlstrom, P.G., Gleason, T.J., 2005. Payloads in: *Introduction to UAV Systems* pp. IV1-30 UAV Systems, Inc. Columbia, MD

Fırat, N. Y., 2000. Bir Mikro Hava Aracının Çok Disiplinli Tasarım Optimizasyonu**.** Tez (Y. Lisans)-- İTÜ Fen Bil. Enst. Basımevi, İstanbul

Holland, J.H., 1992. Genetic Algorithms, *Scientific American*, 44-50

Houck, R.C., Joines, J.A., Kay, M.G., 1996. A Genetic Algorithm for Function Optimisation: A Matlab Implementation.

Jenkinson L.R., Marchman J.F., 2003. Aircraft Design Projects For Engineering Students.Butterworth-Heinemann Publications

Kozaj, J., 2002. Introduction-to-genetic-algorithms. PDF, www.researchindex.com

Kroo, I., Altus, S., Braun, R., Gage, P., Sobieski, I. 1994. Multidisciplinary optimization methods for aircraft preliminary design AIAA-4325 IN:AIAA/USAF/NASA/ISSMO *Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 5th*, Panama City Beach, Florida, September 7-9

Kroo, I., 1996. Computational Based Design - A White Paper.

Kroo, I., 2001. *Aircraft Design: Synthesis and Analysis*. Desktop Aeronotics Inc., Stanford, Ca

Man, K.F., Tang, K.S., Kwong, S., Halang, W.A., 1997. Genetic Algorithms for Control and Signal Processing, Springer-Verlay, London

Michalewicz, Z., 1994. Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs, AI Series, Springer-Verlag, New York

Ministry of Defence, 2003. Defense Structure : Turkey. *International Defense Briefing* Ankara

Newcome, L.R., 2004. Introduction: UAVs Defined, in: *Unmanned Aviation A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles.* pp 1-11 American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Virginia

Olds, J., 1992. The Suitability of Selected Multidiscipline Design and Optimization Techniques to Conceptual Aerospace Vehicle Design. AIAA 92-4791. 4th AIAA/USAF/NASA/OAI Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization September 21-23 Cleveland, OH

Öztürk, A., 2002. Gerçel Sayı Kodlamalı Genetik Algoritmaların Optimizasyonda Kullanımı. Tez (Y. Lisans)-- İTÜ Fen Bil. Enst. Basımevi, İstanbul

Pohlheim, H., 1997 GEATbx: Genetic and Evolutinary Algorithm Toolbox for use with MATLAB, www.geatbx.com/docu/index.html

Raymer, P.R., 1992. Aerodynamics in: *Aircraft Design, A Conceptual Design* pp. 257-305 Ed. Przemieniecki, J.S. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washington DC

Raymer, D.P., 2002. Enhancing Aircraft Conceptual Design Using Multidisciplinary Optimization. *Doktora Tezi* ISBN 91-7283-259-2. Royal Institute of Technology Department of Aeronautics, Stokholm, Switzerland.

Sobieski, J.S., Haftka, R.T., 1996. Multidisciplinary aerospace design optimization - Survey of recent developments. AIAA-1996-711 *Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 34th,* Reno, Nevada, January 15-18

Sobieszczanski-Sobieski, J., Haftka R.T., 1996. Multidisciplinary aerospace design optimization - Survey of recent developments AIAA-1996-711

Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 34th, Reno, Nevada, January 15-18

Tai Bülten, 2005. IDEF 2005 Sırasında SSM İle Tai Arasında İki Protokol İmzalandı.

Tarzanin, F. and Young, D.K. 1998. Boeing rotorcraft experience with rotor design and optimization AIAA-1998-4733. Collection of Technical Papers. Pt. 1 (A98-39701 10-31). *AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 7th,* St. Louis, Missouri, September 2-4

Tsoukalas, L., Uhring, R.E., 1997. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John Wiley&Sons Inc., New York

Van Rooji, A.J.F., Jain, L.C., Johnson,R.H., 1996. Neural Network Training Using Genetic Algorithms, World Scientific Publishing Co.

Wakayama, S., Kroo, I., 1998. The Challenge And Promise Of Blended-Wing-Body Optimization, AIAA-1998-4736l. Collection of Technical Papers. Pt. 1 (A98-39701 10-31) *AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 7th*, St. Louis, MO, September 2-4

Whitley, D., 2003. A Genetic Algorithm Tutorial. Colorado State University Press. Colorado

Wu, C., Wu, U., Herwerth, C., Lopez, M., 2003. Conceptual Design of a Fuel Cell Powered UAV for Environmental Research. *Multidisciplinary Flight Dynamics and Control Laboratory (MFDCLab) Technical Report*: Supported by NASA Grant # **NCC4-158** California State University, Los Angeles. *http://www.tai.com.tr*

Young, J.A., Anderson, R.A. and Yurkovich, R.N., 1998. A Description of the f/a-18e/f Design and Design Process. AIAA-1998-4701. Collection of Technical Papers. Pt. 1 (A98-39701 10-31) *AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 7th,* St. Louis, Missouri, September 2-4

Zbigniew, M., 1996. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. ISBN: 3540606769 Springer-Verlag, Berlin ; New York

Ziylan, A., 2005. Vizyon 2023 Teknoloji Öngörü Projesi. *Savunma, Havacılık ve Uzay Sanayii Paneli*, TÜBİTAK, Ankara

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan KOYUNCU, 07 Ağustos 1978'de İstanbul'da doğdu. İlk öğretimini Halil Vedat Fıratlı İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sora, Bahçelievler Anadolu Lisesi'ne devam etti. 1997 yılında bu okuldan mezun olup, İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Mühendisliği Bölümü'nde Lisans eğitimine başladı. 2003 yılında bölümden mezun olarak Uçak Mühendisi ünvanını alan Gökhan KOYUNCU, halen İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı Disiplinler Arası Programda Uçak ve Uzay Mühendisliği yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.