

HELİKOPTER SİSTEMLERİNDE TEKNOLOJİ ve ARGE YATIRIM KARARLARI İÇİN BİR METODOLOJİ

G.Kara¹
TAI, ANKARA

O.Tekinalp²
ODTÜ, ANKARA

İ.Yavrucuk³
ODTÜ, ANKARA

ÖZET

Bu makalede helikopter teknolojilerinde Ar-Ge yatırımlarının beklenen ekonomik faydalarına bakılarak yapılıp yapılmama kararlarının alınabilmesi için bir metodoloji önerilmektedir. Geliştirme sürecine yönelik doğru kararları verebilmek için, helikopter sisteminin birim satış fiyatı ve ihtiyaç duyulan teknolojilerin geliştirme maliyetleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bazı helikopter boyutlandırma parametreleri ve teknoloji faktörleri kullanılarak helikopter satış fiyatı belirlenmiş, ardından bu fiyatın ihtiyaç duyulan teknolojilerin yatırım maliyetleri ile kıyaslamasını yapılabilecek bir karar verme metodolojisi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelime: Teknoloji Faktörü, Karar Verme Metodolojisi, Satın Alım Fiyatı Belirleme

GİRİŞ

Helikopter geliştiricileri için teknoloji geliştirmeye faaliyetlerinin bir ekonomik geri dönüşünün olup olmaması ilgili Ar-Ge faaliyetinin maliyetine ve kaç helikopterde ne kadarlık bir kazanç sağlandığına bağlıdır. Ar-Ge çıktıları genellikle ekonomik bir kazançtan ziyade performans kazancına bakılarak ölçülmektedir. Bu çalışmada helikopter sistemleri için geliştirilecek olan teknolojilerle elde edilen performans kazanımları ekonomik kazanç ile ilişkilendirilmiş, ilgili Ar-Ge çalışmasının ne kadarlık bir performans kazanımında ve maliyetinde yapılabilir olduğu belirlenmiştir.

Teknoloji yatırımının yapılıp yapılmamasına yönelik kararların alınmasında, helikopterin satış fiyatı ve kaç adet satılacağı bilgisi önemli bir etken olmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak, literatürde yer alan istatistiksel yöntemlerle geliştirilmiş bir satış fiyatı hesaplama yaklaşımı kullanılmış, askeri ve sivil toplam 23 adet helikopterin satış fiyatı hesaplanarak yaklaşımın doğrulaması yapılmıştır. Ardından, helikopterin satış fiyatını en çok etkilediği düşünülen iki parametre teknoloji faktörü olarak belirlenmiş, bu parametrelerin satış fiyatına karşı duyarlılıkları gösterilmiştir. Son olarak yaklaşımın gerçek hayatta uygulanabilirliğini göstermek amacıyla baz alınan bir helikopter için yeni bir teknoloji geliştirme faaliyetine başlanıp başlanılmaması kapsamında teknoloji faktörlerini kullanarak bir örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama kapsamında, öncelikle yeni teknolojinin entegrasyonu durumunda helikopterin satış fiyatında oluşan değişiklik hesaplanmış, bu teknolojinin kaç helikopterde kullanılacağı belirlenmiş ve son olarak teknolojiyi geliştirmek için duyulacak yatırım ihtiyacı ile yeni teknoloji sayesinde satış fiyatından elde edilen kazanç kıyaslanıp yatırım kararına destek sağlanmıştır.

Çalışma için BELL429 helikopteri örnek olarak alınmış ve metodoloji uygulanmıştır..

□ Teknoloji Yönetimi Uzmanı, E-posta: karagzd@gmail.com

† Prof. Dr., Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: tekinalp@metu.edu.tr

‡ Doç. Dr., Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: yavrucuk@metu.edu.tr

KULLANILAN YÖNTEMLER

Helikopter Satış Fiyatı Denklemi

Harris ve Scully'nin regresyon istatistik analiz yönteminin kullanarak gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda, jenerik bir helikopter satış fiyatı formülü ortaya çıkartılmıştır [Harris, Scully, 1997]. Bu çalışmada, 120 adet helikopterin satış fiyatı verileri ile boş ağırlık değerleri arasında bir ilişki kurulmuş ve helikopter tasarım parametreleri cinsinden (1) denklemi tanımlanmıştır.

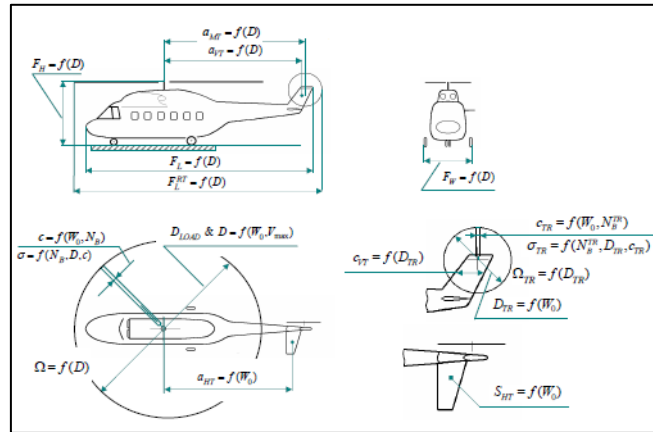
$$Price = 269\$ * H * (BladesPerRotor)^{0.2045} * (Wgt. Empty)^{0.4854} * [Eng(s)RatedHP]^{0.5843} \quad (1)$$

Burada belirtilen H parametresi (2) denkleminde verilmektedir.

$$H = Engine Type * Engine No * Country * Rotors * Landing Gear * Pressurization \quad (2)$$

Helikopter Boyutlandırma Parametreleri

Helikopterin boyutlandırma sürecinde, görev gereksinimleri ile ilişkili olarak birçok geometri parametresine ihtiyaç duyulmaktadır. Rand ve Khromov'un gerçekleştirdikleri bir takım istatistiksel çalışmalar sonucu, boş ağırlık ve rotor çapı değeri cinsinden çeşitli geometri parametreleri tanımlanmıştır [Rand, Khromov, 2002]. Bahsedilen parametrelerin bir kısmı Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1: Helikopter Boyutlandırma Kullanılan Bazı Geometri Parametreleri

DOĞRULAMA

Helikopter satış fiyatı denklemini doğrulamak amacıyla, askeri ve sivil olmak üzere toplam 23 adet helikoptere ait boyutlandırma parametreleri kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen satış fiyatı verileri, 2014 yılı dolar değerine göre güncellenmiştir. Doğrulama yapılırken, ticari bir yazılım olan Conklin & De Decker Life Cycle Cost programından faydalanılmıştır.

Satış fiyatı denklemi ile programdan elde edilen çıktıların kıyaslanması ile %0 ile %30 arasında bir dilimde fark olduğu görülmüştür. Minitab programı yardımıyla regresyon analizi yapılmış ve bu farkı en çok etkileyen parametrenin rotor çapı ve güç olduğu görülmüştür.

Parametreler ile satış fiyatı % farkı arasındaki ilişki (3) denklemine verilmiştir.

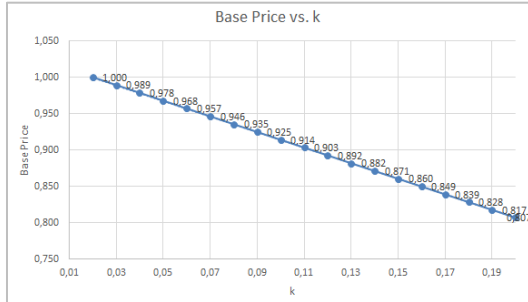
$$\%Fark = 23,8 + (0,00216W_g) - (0,257D) - (0,0148P) \quad (3)$$

Oluşan bu % farkın temel sebebinin 1994 yılından günümüze ciddi gelişmeler gösteren aviyonik teknolojisi olduğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle bu fark aralığının, denklemin kullanımı açısından bir kısıt oluşturmayacağı düşünülmüş ve çalışmaya devam edilmiştir.

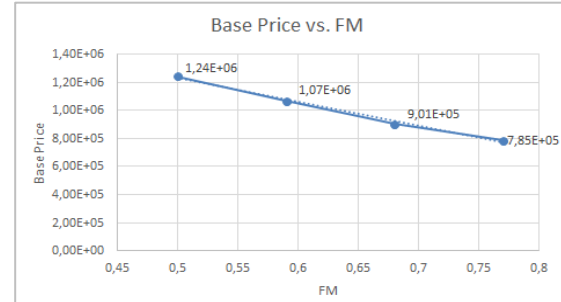
METODOLOJİ

Doğrulamanın ardından, satış fiyatı denkleminde önemli bir etken olduğu ve kolay ölçülebileceği değerlendirilen parametreler teknoloji faktörü olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda, geliştirilecek teknolojinin helikopterin boş ağırlık değerinde bir değişikliğe sebep olduğunu ifade eden k parametresi bir teknoloji faktörü olarak tanımlanmıştır. Benzer şekilde geliştirilecek teknolojinin, helikopter pala tasarımında (özellikle veter uzunluğunda) bir değişikliğe neden olacağını ifade eden FM parametresi de bir teknoloji faktörü gibi düşünülmüştür. Bu kapsamda, k parametresi için helikopterin boş ağırlığında meydana getirdiği %2 ile %20'lik değişimler, FM parametresi için 0.5 ile 0.77 arası değerler analizde işleme sokulmuştur. Bu faktörlerin etkilerini gösterirken, tasarım verilerine daha kolay ulaşılabilir olması sebebiyle Bell429 helikopteri ele alınmıştır.

Bell429 helikopteri için, FM parametresi sabit (0.77) tutulup, k parametresinin boş ağırlık üzerinde %2 ile %20 arasında bir değişiklik göstermesi durumunda satış fiyatında oluşan değişiklikler gözlemlenmiştir. Benzer şekilde teknolojinin boş ağırlık üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı düşünülerek, FM parametresinin 0.5 ile 0.77 değerleri arasındaki değerleri için satış fiyatında oluşan değişiklikler gözlemlenmiştir. Çıktılar Şekil 2 ve Şekil 3'te belirtilmiştir.



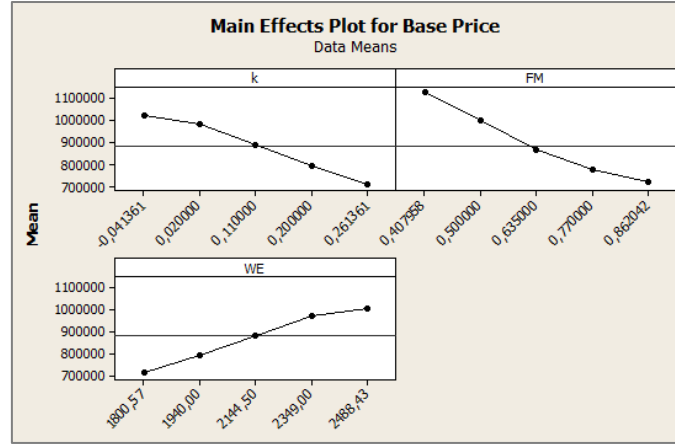
Şekil 2: k'nın Satış Fiyatı Üzerindeki Etkisi



Şekil 3: FM'nin Satış Fiyatı Üzerindeki Etkisi

Duyarlılık Analizi

Teknoloji faktörü olarak nitelendirilen parametrelerin, helikopterin satış fiyatı değerine olan etkilerini görmek açısından bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda FM, k ve boş ağırlık değerleri girdi parametresi olarak, satış fiyatı değeri ise çıktı parametresi olarak ele alınmıştır. Minitab Programı kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen grafik Şekil 4'te görülmektedir. Grafiğe göre k parametresindeki artışın satış fiyatını doğrudan etkilediği görülmüştür. FM parametresinin ise 0.50 ile 0.64 arasındaki değerleri için satış fiyatı üzerinde daha fazla etkisi olduğu görülmüştür.



Şekil 4: Duyarlılık Analizi Sonucu Parametrelerin Satış Fiyatına Etkisi

Toplam Satış Fiyatı

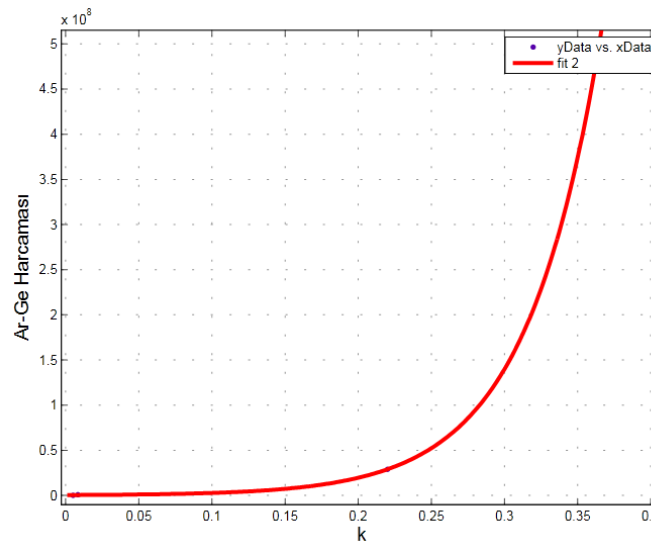
Teknoloji faktörlerinin işleme alınması ile toplam satış fiyatı değişime uğramaktadır. Helikopter sisteminde ağırlık azalmasını temsil eden k faktörü, helikopterin satış fiyatı azaltmasının yanında o teknolojinin geliştirilebilmesi için bir yatırımı mecbur kılmaktadır. Bu sebeple toplam satış fiyatını ifade etmesi açısından denklem (4) kullanılmıştır.

$$\text{Toplam Satış Fiyatı} = \# \text{Helikopter} * \text{Satış Fiyatı} + \text{Ar} - \text{Ge Harcaması} \quad (4)$$

TAI'den ve Sikorsky firmasının S-75 projesinden [Kay, 2013] alınan verilere dayanarak Ar-Ge harcaması k cinsinden aşağıdaki denklem ile (5) ifade edilmektedir.

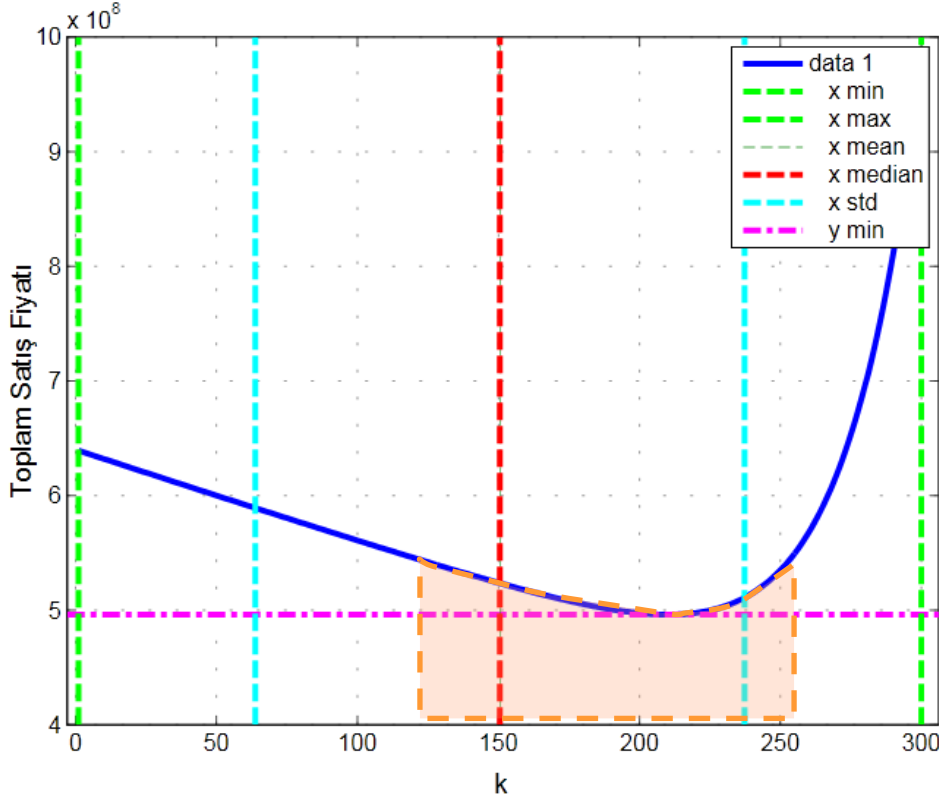
$$\text{Ar} - \text{Ge Harcaması} = 7891 * e^{(37.31*k)} \quad (5)$$

Ar-Ge harcaması ile k arasındaki ilişki Şekil-5'te yer alan grafikte görülmektedir. İlişkiye göre helikopter sistemini hafifletmek için harcanan para gittikçe artmaktadır.



Şekil 5: Ar-Ge Harcaması ile k arasındaki ilişki

Toplam satış fiyatı ile k parametresi arasındaki ilişki Şekil 6'da görülmektedir. Bu kapsamda helikopter sisteminde teknoloji geliştirilmesi durumunda minimum toplam satış fiyatı elde edilmek hedeflendiğinde %15 ile %25 arasında yapılacak hafifletme çalışmasının daha maliyet etkin olacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 6: Toplam Satış Fiyatı k ilişkisi

ÖRNEK UYGULAMA

Metodolojinin mevcut bir çalışmadaki uygulanabilirliğini göstermek amacıyla BELL429 helikopteri sürücü şaft sistemi için yapılacak bir teknolojik yatırım konusu örnek olarak seçilmiştir. Boeing firması desteği ile gerçekleştirilen bir çalışmada, sürücü şaftlarının, metal malzeme yerine kompozit malzemeden geliştirilmesi durumunda şaftın ağırlığında %33-34 civarında bir düşüş olduğu bilinmektedir [Cross, Hayes, Armstrong, Petrovich, 2011]. Bu bilgiye dayanarak, kompozit şaft kullanılması durumunda Bell429 helikopterinin boş ağırlığında meydana gelen azalma hesaplanmış, ardından yeni boş ağırlık değeri ile helikopterin satış fiyatı bulunmuştur. Tek bir helikopter için mevcut durumdaki satış fiyatı ve yeni teknolojinin kullanılması durumunda helikopterin satış fiyatı arasındaki fark hesaplanmış, ardından değerler arasındaki fark 110 helikopter için tespit edilmiştir.

Bir sonraki adımda bu teknolojiyi geliştirmek için gerekli olan yatırım; alt yapının kurulması, testler vb. maliyetlere göre hesaplandığında (TAI'nin helikopter projelerinde edindiği tecrübelerden faydalanılmıştır) yaklaşık 900 bin dolarlık bir yatırım maliyeti çıktığı tespit edilmiştir.

Kompozit sürücü şaftın geliştirilmesi için yapılacak olan yatırım maliyetinin, 110 helikopterin mevcut ve hesaplanan satış fiyatı değerleri arasındaki farktan (kardan) daha küçük olması sebebiyle, bu teknolojiye yatırım yapılmasının uygun olacağı değerlendirilebilmiştir. Yatırım maliyeti ve yeni teknolojinin kullanımı sonrasındaki satış fiyatı ile ilgili bilgiler Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1: Yatırım Maliyeti ile Yeni Teknolojinin Kullanılması Durumundaki Satış Fiyatı

110 helikopterde oluşan maliyet farkı	~990 bin dolar
Yatırım maliyeti	~900 bin dolar

SONUÇ

Bu çalışma, helikopter sistemi özelinde yapılacak olan teknoloji geliştirme yatırımı ile helikopter toplam satış fiyatı arasında bir ilişki kurarak daha uygun yatırım kararları alınmasını desteklemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen metodolojinin, nitel değerlere dayanması ve kullanılan denklemler sayesinde hızlı gerçekleştirilebilmesi nedeniyle, karar vericilere destek olacağı değerlendirilmektedir.

Yapılan uygulamada elde edilen sonuçlar neticesinde, ilerleyen süreçte metodolojiden alınan sonuçların doğruluğunu arttırmak üzere teknoloji faktörü ve uygulama sayısı arttırılmaya çalışılacaktır.

Kaynaklar

Cross J., Hayes J., Armstrong D., Petrovich R, *Design, Fabrication and Testing of a Composite Drive Shaft with an Integral Misalignment Feature*, American Helicopter Society, 2011

Harris F. D. and Scully M. P., *Helicopters Cost Too Much*, American Helicopter Society 53rd Annual Forum, 1997

Headquarters, U.S. Army Materiel Command, Engineering Design Handbook, Helicopter Engineering, Part One. AMCP 706-01,1974.

Kay F. B., *Sikorsky S-75 ACAP Helicopter*, Sikorsky Archives, 2013

Rand O., Khromov V., *Helicopter Sizing by Statistics*, 2002

Selvi S., *A Probabilistic Conceptual Design and Sizing Approach For a Helicopter*, Middle Technical East University, 2010

Schrage D.P., *Lecture Notes on Rotorcraft Systems Design, Vehicle Synthesis for Advanced VTOL Aircraft*, School of Aerospace Engineering, Georgia Institute of Technology, 1997