

Savaş Uçağı Geliştirme Projesinde Test ve Üretim Aktivitelerine Bağlı Proje Süresi Tahmini

Project Duration Estimation Based on Test and Production Activity in Fighter Jet Development Project

Ahmet Atıl ÇETİN¹, Esra DİNLER²

¹Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye.

²Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

Öz

Geliştirme faaliyetlerinin uzun zaman aldığı savaş uçağı projelerinde, projenin hedeflenen sürede bitirilmesi ve proje dahilinde gerçekleştirilecek aktivitelerin kendinden sonra gelen aktiviteleri destekleyecek şekilde ilerleyebilmesi adına proje başında yapılan takvimsel öngörülerin doğruluğu çok önemlidir. Bu tarz büyük ölçekli bir proje, özellikle ilk defa gerçekleştiriliyor ise aktivite sürelerinin gerçeğe en uygun şekilde tanımlanması, aktivitelerin öncüllük ilişkilerinin belirlenmesi projenin başarısı adına önemlidir. Bu çalışmada, ülkemizde ilk defa gerçekleştirilen beşinci nesil savaş uçağı geliştirme projesi dahilindeki aktiviteler arasında öncüllük ilişkilerinin tanımlanması ilk adım olarak görülmüştür. Öncüllük ilişkilerinin tanımlanması ile birlikte, gerçekleştirilecek aktivitelerin önceden öngörülemez sebepler ile gecikmesi veya beklenenden çok daha erken bitmesi gibi durumlar da hesaba katılarak iyimser, kötümser ve olası süreler tanımlanmıştır. Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (Program Evaluation and Review Technique-PERT) ile proje aktivitelerinin beklenen süreleri hesaplanmıştır. Doğrusal karar modeli ile kritik aktiviteler bulunmuş ve projenin beklenen tamamlanma süresi elde edilmiştir. Bulunan bu süre, geçmişte hayata geçirilen diğer beşinci nesil savaş uçağı projelerinin ilk uçuş ve proje gerçekleşme süreleri ile karşılaştırılarak, yapılan öngörülerin ne kadar uyumlu olduğu konusunda bir çıkarım yapılmıştır. Bununla beraber, müşterinin ihtiyaç tarihini öne çekmesi durumunda farklı süreler için proje gerçekleşme olasılıkları hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beşinci Nesil Savaş Uçakları, PERT, CPM, Proje Yönetimi

Abstract

In fighter jet development projects, where development activities take a long time, the accuracy of the calendar predictions made at the beginning of the project is very important in order to complete the project within the targeted time and the activities to be carried out within the project to progress in a way that supports the activities that follow it. Especially if such a large-scale project is carried out for the first time, defining the activity durations in the most realistic way and defining the precedence relations of the activities are important for the success of the project. In this study, defining the predecessor relations among the activities within the fifth-generation fighter jet development project, which was carried out for the first time in our country, was seen as the first step. Along with the definition of precedence relations, optimistic, pessimistic and most likely durations were defined by considering situations such as delays of the activities to be carried out due to unforeseen reasons or ending much earlier than expected. The expected duration of project activities was calculated with the Program Evaluation and Review Technique (PERT). With the mathematical model based on linear programming, critical activities were found and the time for the project to be realized was reached. By comparing this time with the first flight and project realization times of other fifth generation fighter jet projects succeeded in the past, an inference was made about how compatible the predictions were. In addition, the project realization probabilities have been calculated for different duration in case the stakeholder's date of need bring forward.

Keywords: Fifth Generation Fighter Jets, PERT, CPM, Project Management

I. GİRİŞ

Askeri sistem geliştirme projeleri, müşterinin, ülke iç ve dış tehdit algılamalarına bağlı olarak gereksinimlerini belirlediği, belirli bir zaman diliminde hayata geçirilmesi gereken maliyet etkin projelerdir. Askeri sistem geliştirme projeleri, geliştirildiği ülkenin tehdit algılamalarına cevap verecek şekilde, yeni ve/veya henüz ispatlanmamış teknolojilerin kullanıldığı, birbirleri ile tam bir uyum içerisinde çalışması beklenen birçok alt sistemden oluşan ve buna bağlı olarak birçok yüklenicinin dahil olduğu takvim ve maliyet anlamında yüksek riskli projelerdir [1]. Genel olarak kavramsal tasarım süreci ile başlayan askeri sistem geliştirme projeleri, ilgili askeri sistemin envantere alınarak kullanıcıya teslim edilmesi ile sonuçlandırılır. Bazı durumlarda bu kapsam ilgili sistemin idamesi, bakımları ve envanterden çıkarılmasını da kapsayabilir. Bu süreçte projenin kapsamına, ihtiyaç duyulan sistemin karmaşıklığına, sistemin operasyonel konseptine ve müşterinin gereksinimlerine göre birçok farklı aktivite sıralı ve paralel şekilde ilerletilmelidir.

Günümüzde operasyonel olarak kullanılan ve geliştirme süreçleri devam eden savaş uçakları, ülkelerin askeri operasyon kabiliyetlerini ciddi anlamda arttıran en önemli unsur olmuştur. Bu tarz projelerin başarılı olarak gerçekleştirilmesi ülke havacılık endüstrisinin ilerletilmesine, genel anlamda temel bilimlerde ve teknolojilerde gelişimin de önünü açması açısından önemlidir. Ancak savaş uçağı geliştirme projelerinde ön görülemeyen farklı problemler ile karşılaşmış ve çoğu problem geliştirme sürecinin uzamasına sebep olmuştur [2].

Bu noktada aktivitelerin başlama zamanlarının, aktivite sürelerinin ve önceliklerinin, aktivitelerde yaşanacak gecikmelerin genel proje takvimini nasıl etkileyeceği gibi bilgilerin olabildiğince erken aşamalarda bilinmesi ve belirlenmesi savaş uçağı geliştirme projelerinin başarılı olması için önemlidir. Ayrıca savaş uçağı geliştirme projelerinde çok yeni veya hiç kullanılmamış teknoloji ve çözümler ile ilerleniyor olması belirtilen cevaplara olan ihtiyacı arttırmaktadır. Projenin bir savaş uçağı olması ile birlikte havacılık endüstrisinin kendine has katı kurallarının da proje üzerinde ek bir baskı oluşturması planlama süreçlerinin önemini arttırmaktadır.

Bir savaş uçağı geliştirme projesini, özellikle sektörde gerçekleştirilecek ilk savaş uçağı projesi ise, sadece bir savaş uçağı geliştirme projesi olarak görmek yanlış olacaktır. Sektörün bir savaş uçağını geliştirebilecek alt yapıları edinmesi, test ve üretim tesislerini hayata geçirmesi de projenin başarısı için önemlidir. Bu sebeple proje dahilinde hangi testlerin hangi

zamanlarda yapılacağına bilinmesi, kullanılacak altyapıların belirlenmesi, eksik altyapıların inşası, alt seviye üretim ve test planlarının yapılabilmesi konusunda da sektöre destek sağlayacaktır.

Bu çalışmada Türk Savunma Sanayisine hizmet veren bir şirketin geliştirmekte olduğu beşinci nesil savaş uçağı projesinde proje gerçekleştirme süresinin tahmin edilmesi ve yukarıda anlatılan üretim ve test planlama faaliyetlerine katkıda bulunacak bir proje yönetimi konusu ele alınmıştır. Projenin ilk defa gerçekleştiriliyor olması, üretim ve özellikle test süreçlerindeki olası aksaklıkların belirlenememesi süre anlamında gecikmelere sebebiyet verebilir. Bu sebeple kötümser süre tanımı yapılması projenin başarısına katkı sağlayacaktır. Ayrıca projenin ilerleyen süreçlerde yapılabilecek fazla mesai uygulamaları ile üretim ve test teknolojilerindeki gelişmelerin de iyimser anlamda etkileri olacağından iyimser süre tanımlaması da önem arz etmektedir. İyimser ve kötümser anlamda proje aktivitelerine zaman ataması yapmak ve bu tanımlardan bir sonuç çıkarabilmek adına proje yönetimi ve planlama için PERT tekniği kullanılmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçların karşılaştırmalı analizini gerçekleştirmek amacı ile bu süreler üçgenel bulanık süreler olarak ele alınarak bulanık proje süresi ve kritik yol, Alfa kesme yöntemi ile hesaplanmış ve daha sonra Alanların Merkezi Yöntemi kullanılarak durulaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen proje gerçekleştirme süresi, geçmişte hayata geçirilen diğer beşinci nesil savaş uçağı projelerinin gerçekleştirme süreleri ile karşılaştırılarak, yapılan öngörülerin ne kadar uyumlu olduğu konusunda bir çıkarım yapılmıştır.

Yapılan bu çalışma ile bir savaş uçağı geliştirme projesi kapsamında uygulanması gereken belli başlı yönetsel, üretim ve test aktiviteleri ile bu aktiviteler arasındaki öncüllük ilişkileri anlamında literatüre bir referans kazandırmak en önemli amaçtır. Bununla beraber yapılan süre öngörülerini de ilerleyen zamanlarda hayata geçirilecek benzer projeler için bir ilk referans olarak kullanılabilir. Çalışmada proje sürelerinin belirlenmesinde PERT tekniğinin kullanılmasının temel amacı proje süreçlerini daha iyi planlamak ve proje zaman çizelgesini daha doğru bir şekilde tahmin etmektir. Bunun yanında PERT, belirsizlikleri ve muhtemel gecikmeleri dikkate alarak projenin zaman çizelgesini daha güvenilir bir şekilde oluşturmak için kullanılmıştır. Bu, projenin daha güvenilir bir zaman çizelgesine sahip olmasına katkı sağlar. Ayrıca PERT tekniği, farklı senaryoları değerlendirme yeteneği sunar. Bu, olası risklerin ve

değişkenlerin dikkate alınarak çeşitli değerlendirmelerin yapılabilmesine olanak tanır.

Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan çözüm yöntemlerinin farklı sektör ve projeler ile ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde bu çalışmada kullanılan veriler ve yöntemler ile ilgili bilgilere, dördüncü bölümde uygulanan yöntem sonucu çıktılarına ve son bölümde ise çalışmanın sonucu ile ilgili değerlendirme ve gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Literatürde birçok farklı konuda ve birçok farklı sektörde Proje yönetimi konusunda uygulamalar yapan çalışmalar bulunmaktadır.

Aksoy vd. [3], otomotiv sektörüne montaj ekipmanları üreten bir firmada, proje teslim sürelerinde ve maliyetlerde oluşan sapmaların sebeplerini belirlemek ve olası sapmaları en aza indirmek adına aktivite sürelerini ve bütçeyi aynı anda takip edebilen bir proje yönetim aracı ortaya koymayı hedeflemişlerdir. Farida ve Anenda [4], Endonezya'da 114 gün içerisinde hayata geçirilmesi gereken bir asfaltlama projesinde, kritik yolların bulunması ve olasılık kavramı kullanılarak optimum tamamlama süresinin belirlenebilmesi adına PERT yöntemi kullanılmıştır. Farklı senaryoların ortaya çıkarıldığı uygulamada optimal sonuca ulaşılarak proje başarıyla sonuçlandırılmıştır. Bintang vd. [5], kapalı devre televizyon projesini zamanında ve bütçe dahilinde tamamlamak adına proje başında yapılan çizelgeleme, planlama ve maliyet öngörülerini gibi aktiviteleri ele almışlardır. Budiawati ve Sarno [6], kablolu cihaz tedariki yapan bir firmanın, garanti süresi boyunca ürünleri için verdiği değişim, onarım ve geri ödeme süreçlerinin zaman ve maliyet açısından etkinliğini tartışmış ve PERT metodu kullanılarak sürelerde ve maliyetlerde iyileşmeler elde etmişlerdir. Agyei [7], bu çalışmada Gana'da yapılan bir inşaat projesinin tamamlanma süresinin ve proje maliyetinin tahmini için PERT metodu kullanmıştır. Ayrıca projenin hızlandırılması durumunda oluşacak maliyet değişimleri de ele almıştır. Kutlu [8], çalışmasında bir hastane inşaatı projesi kapsamında oluşabilecek problemlerin tanımlanması ve alternatif çözümlerin araştırılması adına kritik faaliyetlerin bulunması, projenin gecikmesine sebep olabilecek farklı kritik yolların araştırılmasını ele almıştır. Karahan ve Ezin [9], çalışmalarında 52 haftada bitmesi öngörülen bir inşaat projesinin gerçekleştirme süresinin kısaltılmasına ve bütçenin olabildiğince minimize edilmesi adına bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Coşkun ve Ekmekçi [10], çalışmalarında bir yol ve kavşak inşaatı projesine gelen teklifin maliyet ve süre açısından irdelenerek proje sonunda gerçekleşen maliyetler ile karşılaştırılmasını konu almışlardır. Bu sırada projenin maliyet sapmalarının önceden belirlenmiş sınır

değerlere uyumunu irdelemişlerdir. Daniel ve Gabriela [11], çalışmalarında bir projenin gerçekleşmesi için gereken proje adımlarının belirlenmesi, Avrupa fonlarıyla gerçekleşen projeler için özel olarak tasarlanmış bir projeyi hayata geçirilmesi ve süre minimizasyonu yapmayı amaçlamışlardır. Ashadi vd. [12], Indonesian Sunda Strait köprüsü çalışmalarında proje süresi tahmini için PERT ve PERT'in farklı bir yorumu olan M-PERT yöntemlerini kullanarak çıkan sonuçların simülasyonlar sonucu çıkan sonuçlar ile karşılaştırılmasına yer vermişlerdir. Ahmad vd. [13], çalışmalarında proje takvimi oluşturma sürecini PERT metodu ve Gantt Şeması ile entegre edecek bir teknik üzerine yoğunlaşmışlar ve özellikle üretim planlaması için iyi bir yöntem olarak tavsiye etmişlerdir. Ahmed vd. [14], ürün geliştirme projelerinde risk yönetimini destekleyen tekniklerin bir incelemesini sunmayı amaçlamadıkları çalışmalarında PERT yönteminin proje süresini tahminine katkısı sebebiyle kritik yol yöntemi ile birlikte kullanılması durumunda proje yönetimine katkısını değerlendirmişlerdir.

Yapılan bu çalışmaların yanında askeri alanda gerçekleştirilen proje yönetimi çalışmaları da incelenmiştir ancak kısıtlı sayıda çalışmanın literatürde yer aldığı gözlemlenmiştir. Sadow [15], herhangi bir süre hesabının yapılmadığı bu çalışmada askeri bir uçak geliştirme projesinde PERT yönteminin nasıl kullanıldığı, farklı ağlarla yönetilen ve birçok farklı adımın olduğu büyük bir projede PERT entegrasyonunun nasıl organize edildiği ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Desticioğlu [16], çalışmasında savunma sanayisi alanında çalışmalar yürüten bir şirketin ilk defa geliştirdiği bir proje kapsamındaki genel planlama sürecini ele almış, aktivite sürelerinin ilk kez hayata geçirilecek bir projede tahmininin zor olması sebebiyle PERT yöntemini kullanmıştır ancak daha önce başka ülkeler tarafından gerçekleştirilmiş benzer projeler ile karşılaştırma yapılmamıştır.

Literatür araştırması sırasında araştırmacıların birçok farklı sektör için proje planlaması çalışmalarına katıldığı görülmüştür. Ancak bu araştırma sonucunda savunma sanayisi ve askeri havacılık alanında yapılan çalışmaların çok kısıtlı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle savaş uçağı geliştirme projesi kapsamında, aktivitelerin planlanması, aktiviteler arası öncüllük ilişkilerinin ve kritik aktivitelerin belirlenmesi ile projenin gerçekleştirilme süresinin öngörülmesi adına bu çalışma ortaya konulmuştur. Ayrıca genel olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde benzer projeler ile bir karşılaştırma yapılmaması da bu çalışmanın yapılmasında bir çıkış noktasıdır ve bulunan sonuçların yakınsadığı ve ayrıştığı noktalar üzerine yorum yapılarak literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

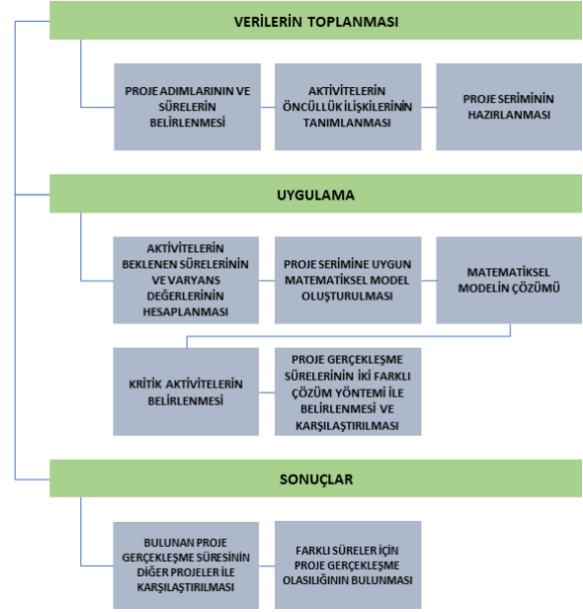
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Türk Savunma Sanayisine hizmet veren bir şirketin ilk defa geliştirmekte olduğu savaş uçağı projesinin indirgenmiş aktiviteleri ve bu aktivitelerin öncüllük ilişkileri üzerinden proje gerçekleşme süresi tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada ilk olarak, projenin ilk bloğu için oluşturulan ve on binlerce farklı aktiviteden oluşan detay takviminin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu takvim adımları, alanında uzman bir ekip tarafından 63 adımlık genel bir aktivite listesine indirgenmiştir. Bu aktiviteler yönetsel, analiz, test, üretim gibi farklı disiplinleri içermekte olup savaş uçağı geliştirilmesi için yapılması zorunlu aktiviteler olarak belirlenmiştir. Genel aktivitelerin belirlenmesinden sonra, gerçekleştirilmesi gereken aktiviteler arasındaki öncüllük ilişkileri tanımlanmış ve öncüllük ilişkilerinin tanımlanması ile birlikte, gerçekleştirilecek aktivitelerin önceden belirlenemeyen sebepler ile gecikmesi veya beklenenden çok daha erken bitmesi gibi olgular da hesaba katılarak iyimser, kötümser ve olası süreler tanımlanmıştır. Her aktivite için belirlenen iyimser, kötümser ve olası süreler bir araya getirilerek, iki farklı çözüm yöntemi ile proje aktivitelerinin süreleri hesaplanmıştır. Bu noktadan sonra aktiviteler arası öncüllük ilişkileri de göz önünde bulundurularak proje serimi oluşturulmuş ve bu serim üzerinden matematiksel model oluşturularak kritik aktiviteler ve beklenen proje gerçekleşme süresi elde edilmiştir. Bulunan bu süre, geçmişte hayata geçirilen diğer beşinci nesil savaş uçağı projelerinin gerçekleşme süreleri ile karşılaştırılarak, yapılan öngörülerin ne kadar uyumlu olduğu konusunda bir çıkarım yapılmıştır. Bu karşılaştırma proje başlangıcından ilk uçuşa kadar geçen süre ve ilk uçuştan envantere girişe kadar geçen süre olarak iki parametre üzerinden yapılmıştır. Bununla beraber, müşterinin ihtiyaç tarihini öne çekmesi durumunda farklı süreler için proje gerçekleşme olasılıkları hesaplanmıştır. Bulunan sürenin dünyadaki benzer uçakların geliştirme süreleri ile ne kadar örtüştüğü irdelenmiştir. Ayrıca bu sürenin kısaltılması durumunda proje başarı oranı hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen uygulamanın adımları Şekil 1’de verilmiştir.

2.1. Verilerin Toplanması

Savaş uçağı geliştirme projeleri tasarım, üretim, test ve doğrulama aktiviteleri gibi birçok farklı disiplinden aktivitenin bir arada yürütüldüğü projelerdir. Projenin geneline bakıldığında gerçekleştirilen aktivitelerin sayısı yüzbinleri bulmaktadır. Ancak böyle bir aktivite sayısı üzerinden çalışma gerçekleştirmek ve öngörü yapmak çok anlamlı olmayacağı için, savaş uçağı



Şekil 1. Çalışma adımları

projesinde çalışan konusunda uzman kişiler ile görüşülerek indirgenmiş aktiviteler belirlenmiştir. Bu aktiviteler belirlendikten sonra her bir aktivite için iyimser, kötümser ve olası süreler ile her bir aktivite için öncül aktiviteler belirlenmiştir.

Her bir aktivitenin olası süresi ve diğer aktiviteler ile olan öncüllük ilişkisi göz önünde bulundurularak proje serimi hazırlanmıştır.

2.2. Proje Yönetimi İçin Doğrusal Programlama Modeli

Proje serimi üzerinden farklı yollarla kritik aktivitelere ve kritik yol süresine ulaşılabilir. Ancak bu durum daha az aktivitenin oluşturduğu serimler için geçerli iken birçok aktiviteden oluşan karmaşık serimlerde, kritik aktivitelerin ve kritik yol süresinin bulunabilmesi için doğrusal programlamadan yararlanılabilir. Bu sayede herhangi bir bilgisayar programı ile kritik aktivitelere ve kritik yola ait süreye kolayca ulaşabiliriz.

Çalışmada matematiksel modelin oluşturulmasında kritik yol analizi için önerilen matematiksel model kullanılmıştır. Doğrusal programlama ile kritik yol analizinde kullanılan matematiksel modele ait karar değişkeni ve parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

Karar değişkeni

$$x_j \quad j \text{ olayının başlama zamanı} \quad j = 1, \dots, n$$

Parametreler

$$t_{ij} \quad (i, j) \text{ faaliyetinin süresi}$$

Matematiksel modelin genel hali ise aşağıda verildiği gibidir:

$$Enk z = x_n - x_1 \quad (1)$$

$$x_j \geq x_i + t_{ij} \quad \forall (j, i) : i, j' \text{ nin öncülü} \quad (2)$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

Kritik yol analizinde kullanılan matematiksel modelde **Eşitlik (1)** ile verilen amaç fonksiyonu projenin tamamlanma süresinin en küçüklenmesidir. **Eşitlik (2)** ile verilen kısıtlar her bir öncüllük ilişkisi için bir görevin tamamlanmadan diğer görevin başlamayacağını garanti etmektedir. **Eşitlik (3)** ile verilen kısıtlar ise karar değişkenlerinin negatif olmamasını sağlamaktadır.

2.3. Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği

PERT, herhangi bir sebeple projede gecikmelere sebep olabilecek aktiviteleri belirlemek için aktivitelerin gerçekleşme sürelerindeki belirsizliği, iyimser (t_a), olası (t_b) ve kötümser (t_c) şeklinde tanımlanmış tahminler üzerinden hesaplamak için kullanan bir yöntemdir [4]. Bu tahminler sonucunda proje gerçekleşme olasılığı için gereken beklenen süre (t_e), varyans (σ^2) ve standart sapma (S) değerlerine ulaşılır [17].

$$t_e = \frac{t_a + 4t_b + t_c}{6} \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \left[\frac{t_c - t_a}{6} \right]^2 \quad (5)$$

$$S = \frac{t_c - t_a}{6} \quad (6)$$

$$\sigma_{proje}^2 = \sum_{i \in \text{Kritik Aktiviteler}} \sigma_i^2 \quad (7)$$

$$S_{proje} = \sqrt{\sigma_{proje}^2} \quad (8)$$

Ayrıca PERT ile projenin hedeflenen bir sürede (t_d) tamamlanması olasılığı ile ilgili bir hesaplama da yapılabilir. Bu sebeple Z'ye ihtiyaç duyulur.

$$Z = \frac{t_d - t_e}{S} \quad (9)$$

2.4. Bulanık Kritik Yol Metodu

Problem parametrelerinin belirsiz olması durumunda bu değerleri bulanık sayılar olarak ele almak ve buna uygun çözüm yöntemleri kullanarak çözmek uygun olacaktır. Buna göre bu çalışmada proje aktivitelerine ait belirlenen iyimser, olabilir ve kötümser süreler üçgensel bulanık sayılar olarak ele alınmış ve bulanık

kritik yol metodu ile çözümü gerçekleştirilmiştir. Bunun için Chen (2006) tarafından önerilen bulanık kritik yol metodu kullanılmış ve sonuçlar elde edilmiştir [18]. Bunun için ilk olarak Alfa kesme yöntemi kullanılarak bulanık proje toplam süresi ve kritik yolu hesaplanmıştır. Sonrasında net değer dönüşümü için Durulaştırma yöntemlerinden Alanların merkezi yöntemi kullanılmıştır. Alfa kesme aralık değerleri $\alpha \in [0,1]$ aralığında 0'dan 1'e doğru 0,1 artırımlarla yapılmış ve her bir değer için süreler ve kritik yol belirlenmiştir. Net değer dönüşümüyle elde edilen proje toplam süresi ve kritik yolunun alfa kesim seviyesi belirlenmiştir. Bu yöntemde kullanılan eşitlikler aşağıda anlatılmaktadır.

Üçgen sayılı bulanık bir küme $T_{ij} = (a, m, b)$ olarak tanımlanır ise, Alfa kesme yöntemi ile elde edilecek yeni bulanık sayılar kümesi aşağıda verilen **Eşitlik (10)** ile tanımlanır [19]. Tam üyelikli küme elemanı "m" ile gösterilirken, "a" en küçük olası değeri, "b" ise en büyük olası değeri tanımlar.

$$(T_{ij})_\alpha = [a^\alpha, b^\alpha] = [(m - a)\alpha + a, (m - b)\alpha + b], \alpha \in [0,1] \quad (10)$$

Her alfa kesme değeri için proje süresi farklılaşmakta olup bu sebeple proje toplam süresinde de değişiklikler olacaktır ve her bir belirsiz proje adımı "D" için üyelik işlevi tanımı $\mu D((T_{ij})_\alpha) \geq \alpha$ şeklinde tanımlanır [18].

Eşitlik (11) ile bulanık değerler ve üyelik fonksiyonları kullanılarak, net sayı dönüşümü yapılır ve bu işlem durulaştırma olarak tanımlanır. $\mu_c(z)$ üyelik derecesini, z her bir aktivitenin bulanık süresini ve z * ise durulanan çıkarım değerini gösterir.

$$z^* = \frac{\sum \mu_c(z) * z}{\sum \mu_c(z)} \quad (11)$$

III. UYGULAMA

Proje adımlarının, aktivite sürelerinin ve öncüllük ilişkilerinin belirlenmesi için Türk Savunma Sanayisine hizmet veren bir şirketin geliştirdiği beşinci nesil savaş uçağı projesinde uygulanacak ana plan incelenmiştir. Yüzbinlerce farklı aktiviteden oluşan bu plan alanında uzman kişilerin yorumlarına ve görüşlerine de başvurularak 63 aktiviteye indirgenmiştir. Aynı ekip ile her aktivite için iyimser, olası ve kötümser aktivite süreleri belirlenmiş ve aktiviteler arası öncüllük ilişkileri kurulmuştur. İlgili bilgiler **Tablo 1**'de verilmiştir. Belirlenen aktiviteler ve öncüllük ilişkisine göre proje serimi hazırlanmıştır ve **Şekil 2**'de verilmiştir.

Tablo 1. Aktiviteler ve diğer bilgiler

Aktivite #	Aktivite	Öncül Aktiviteler	İyimsen Süre-t _a (Ay)	Olası Süre-t _b (Ay)	Kötümser Süre-t _c (Ay)	Aktivite #	Aktivite	Öncül Aktiviteler	İyimsen Süre-t _a (Ay)	Olası Süre-t _b (Ay)	Kötümser Süre-t _c (Ay)
1	Konsept Belirleme	-	4	6	8	27	Tam Boy Statik Yükleme Testleri	25	1	2	3
2	Farklı Alternatiflerin Analizi	1	6	8	12	28	Alt Sistem Entegrasyonu	25	1	2	3
3	Sözleşme İmzası	2	1	2	4	29	Elektrik Sistemi Testleri	28	1	2	3
4	Planform Seçimi	3	1	3	6	30	Yakıt Sistemi Testleri	29	1	2	3
5	Uçak Seviyesi Teknik Çizimler	4	6	6	8	31	Hidrolik Sistem Testleri	30	2	3	4
6	Rüzgâr Tüneli Testleri	5	8	12	14	32	Mekanik Sistem Testleri	31	3	6	8
7	Malzeme Testleri	3	9	12	15	33	Radar Sistemi Testleri	28	6	6	9
8	Detay Analizler	6	14	18	24	34	İletişim Sistemleri Testleri	33	3	4	6
9	Alt Sistem Tedarik Anlaşmaları	1	3	6	9	35	Elektro-Optik Testleri	28	4	6	8
10	Hammadde Tedariki	7, 8	9	12	18	36	Uçuş Kontrol Sistemleri Testleri	28	4	6	8
11	Teknik Çizimlerin Yayınlanması	8, 9	4	6	9	37	İniş Takımı Testleri	32	2	4	5
12	Montaj Ekipmanlarının Tedariki	11	4	6	8	38	Silah Sistemi Testleri	32	2	3	4
13	Alt Seviye Komponent Üretimleri	10	2	3	4	39	Motor Testleri	24	6	6	9
14	Kalite Kontrol	13	1	1	2	40	Kuş Çarpması Testleri	7, 15	1	2	2
15	Ön Gövde Montajı	12, 14	2	3	4	41	İklimlendirme Testleri	39	2	3	4
16	Ön Orta Gövde Montajı	15	2	3	4	42	İlk Enerjilendirme Öncesi Emniyet Değerlendirme Kurulu	30	1	1	2
17	Orta Gövde Montajı	16	3	4	5	43	Entegre Uçak Sistemleri Testleri	36, 37, 42	6	9	10
18	Ana Gövde Fuselage Montajı	17	2	3	4	44	Entegre Aviyonik Sistem Testleri	34, 35, 38, 41, 43	6	9	10
19	Kanat Birimlerinin Montajı	18	1	1	2	45	İlk Motor Çalıştırma Öncesi Emniyet Değerlendirme Kurulu	44	1	1	1
20	Arka Gövde Montajı	19	3	4	5	46	Kızıl-Ötesi Görünürlük Testleri	45	1	2	3
21	Gövde Birleşimi	20	1	1	1	47	Radar İzi Testleri	46	3	6	8
22	İniş Takımı Montajı	21	1	1	1	48	Yıldırım Testleri	47	1	2	3
23	Stabilizatör Montajı	22	1	1	1	49	Yerde Titreşim Testleri	45	1	1	2
24	Motor Entegrasyonu	23	1	1	1						
25	Montaj Hattı Testleri	24	1	2	3						
26	Tam Boy Yorulma Testleri	25	84	96	120						

Aktivite #	Aktivite	Öncül Aktiviteler	İyimsen Süre- t_a (Ay)	Olası Süre- t_b (Ay)	Kötümsen Süre- t_c (Ay)
50	Yağmur Testleri	25	1	1	2
51	Ağırlık Ve Balans Testleri	28	1	1	2
52	İlk Uçuş Öncesi Emniyet Değerlendirme Kurulu	40, 48, 49, 50, 51	1	2	2
53	Taksi Testleri	52	1	1	2
54	Sensor Kalibrasyon Uçuş Testleri	53	1	2	2
55	Güvenli Uçuş Testleri	54	2	3	4
56	Çevresel Koşullar Uçuş Testleri	55	1	2	3
57	Uçak Sistemleri Uçuş Testleri	56	4	4	6
58	Performans Uçuş Testleri	57	4	6	8
59	Yük Uçuş Testleri	27, 58	6	8	10
60	Aviyonik Sistemler Uçuş Testleri	57	8	8	12
61	Silah Sistemleri Uçuş Testleri	59, 60	18	24	24
62	Düşük Görünürlük Testleri	61	4	4	5
63	Kabul Uçuş Testleri	26, 62	3	3	4

PERT ile proje genelinde ve her bir aktivite için aktivite gerçekleşme süresi anlamında tahminler yapılabilir. **Tablo 1**'de verilen süreler göz önünde bulundurularak aktivite sürelerinin beklenen değerleri ve varyansları hesaplanmıştır ve ilgili değerler **Tablo 2**'de verilmiştir.

Şekil 2'de verilen serim üzerinden matematiksel model oluşturulmuş ve modelin çözümü CPLEX IBM ILOG 20.1.0 programı ile gerçekleştirilmiştir. Çözümler Intel Core 2 Duo 2.0 GHz CPU özelliğinde bilgisayarda elde edilmiştir. Beklenen proje tamamlanma süresi 202,17 olarak bulunmuş ve proje kritik aktiviteleri elde edilmiştir. Kritik ve kritik olmayan aktiviteler **Tablo 2**'de gri (kritik aktiviteler) ve beyaz (kritik olmayan aktiviteler) renk kodları ile belirtilmiştir.

Tablo 2. Proje aktivitelerinin beklenen süre / varyans değerleri

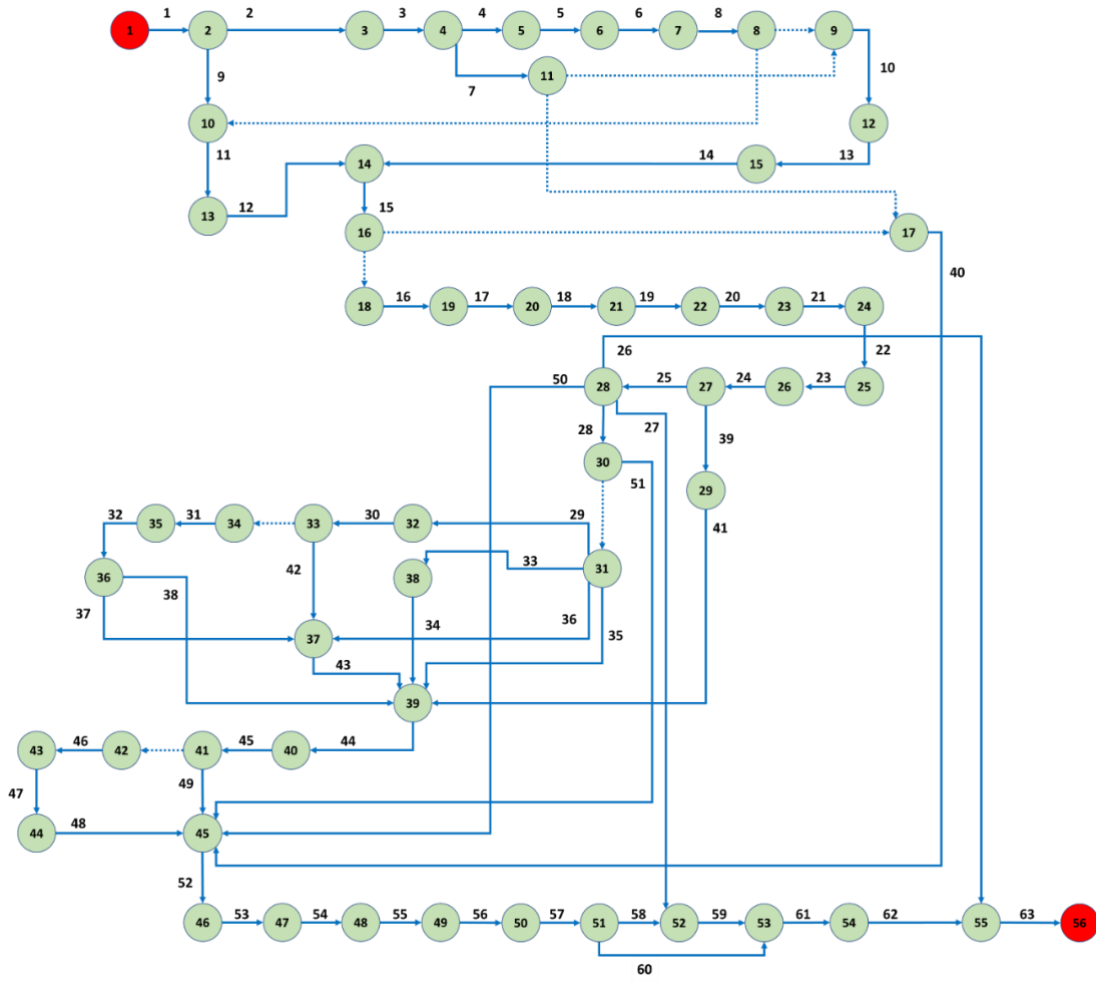
Aktivite #	Aktivite	Beklenen Süre (Ay)	Varyans
		$t_e = \frac{t_a + 4t_b + t_c}{6}$	$\sigma^2 = \left[\frac{t_c - t_a}{6} \right]^2$
1	Konsept Belirleme	6,00	0,44
2	Farklı Alternatiflerin Analizi	8,33	1,00
3	Sözleşme İmzası	2,17	0,25
4	Planform Seçimi	3,17	0,69
5	Uçak Seviyesi Teknik Çizimler	6,33	0,11
6	Rüzgâr Tüneli	11,67	1,00
7	Malzeme Testleri	12,00	1,00
8	Detay Analizler	18,33	2,78
9	Alt Sistem Tedarik Anlaşmaları	6,00	1,00
10	Hammadde Tedariki	12,50	2,25
11	Teknik Çizimlerin Yayınlanması	6,17	0,69
12	Montaj Ekipmanlarının Tedariki	6,00	0,44
13	Alt Seviye Komponent Üretimleri	3,00	0,11
14	Kalite Kontrol	1,17	0,03
15	Ön Gövde Montajı	3,00	0,11
16	Ön Orta Gövde Montajı	3,00	0,11
17	Orta Gövde Montajı	4,00	0,11
18	Ana Gövde Fuselage Montajı	3,00	0,11
19	Kanat Birimlerinin Montajı	1,17	0,03
20	Arka Gövde Montajı	4,00	0,11
21	Gövde Birleşimi	1,00	0,00
22	İniş Takımı Montajı	1,00	0,00
23	Stabilizatör Montajı	1,00	0,00
24	Motor Entegrasyonu	1,00	0,00
25	Montaj Hattı Testleri	2,00	0,11
26	Tam Boy Yorulma Testleri	98,00	36,00

Aktivite #	Aktivite	Beklenen Süre (Ay)	Varyans
		$t_e = \frac{t_a + 4t_b + t_c}{6}$	$\sigma^2 = \left[\frac{t_c - t_a}{6} \right]^2$
27	Tam Boy Statik Yükleme Testleri	2,00	0,11
28	Alt Sistem Entegrasyonu	2,00	0,11
29	Elektrik Sistemi Testleri	2,00	0,11
30	Yakıt Sistemi Testleri	2,00	0,11
31	Hidrolik Sistem Testleri	3,00	0,11
32	Mekanik Sistem Testleri	5,83	0,69
33	Radar Sistemi Testleri	6,50	0,25
34	İletişim Sistemleri Testleri	4,17	0,25
35	Elektro-Optik Testleri	6,00	0,44
36	Uçuş Kontrol Sistemleri Testleri	6,00	0,44
37	İniş Takımı Testleri	3,83	0,25
38	Silah Sistemi Testleri	3,00	0,11
39	Motor Testleri	6,50	0,25
40	Kuş Çarpması Testleri	1,83	0,03
41	İklimlendirme Testleri	3,00	0,11
42	İlk Enerjilendirme Öncesi Emniyet Değerlendirme Kurulu	1,17	0,03
43	Entegre Uçak Sistemleri Testleri	8,67	0,44
44	Entegre Aviyonik Sistem Testleri	8,67	0,44
45	İlk Motor Çalıştırma Öncesi Emniyet Değerlendirme Kurulu	1,00	0,00
46	Kızıl-Ötesi Görünürlük	2,00	0,11

Aktivite #	Aktivite	Beklenen Süre (Ay)	Varyans
		$t_e = \frac{t_a + 4t_b + t_c}{6}$	$\sigma^2 = \left[\frac{t_c - t_a}{6} \right]^2$
	Testleri		
47	Radar İzi Testleri	5,83	0,69
48	Yıldırım Testleri	2,00	0,11
49	Yerde Titreşim Testleri	1,17	0,03
50	Yağmur Testleri	1,17	0,03
51	Ağırlık Ve Balans Testleri	1,17	0,03
52	İlk Uçuş Öncesi Emniyet Değerlendirme Kurulu	1,83	0,03
53	Taksi Testleri	1,17	0,03
54	Sensor Kalibrasyon Uçuş Testleri	1,83	0,03
55	Güvenli Uçuş Testleri	3,00	0,11
56	Çevresel Koşullar Uçuş Testleri	2,00	0,11
57	Uçak Sistemleri Uçuş Testleri	4,33	0,11
58	Performans Uçuş Testleri	6,00	0,44
59	Yük Uçuş Testleri	8,00	0,44
60	Aviyonik Sistemler Uçuş Testleri	8,67	0,44
61	Silah Sistemleri Uçuş Testleri	23,00	1,00
62	Düşük Görünürlük Testleri	4,17	0,03
63	Kabul Uçuş Testleri	3,17	0,03

Kritik Aktiviteler
 Kritik Olmayan Aktiviteler

Elde edilen sonuçların karşılaştırmalı analizini gerçekleştirmek amacı ile bulanık kritik yol metodu ile sonuçlar elde edilmiştir. Alfa kesme yöntemi ile [0,1] aralığında farklı α değerleri için elde edilen sonuçlar ve bulanık süreli proje tamamlanma sürelerinin durulaştırma yöntemi ile elde edilen veriler **Tablo 3**'te sunulmuştur.



Şekil 2. Proje serimi

Tablo 3. Bulanık kritik yol metodu ile elde edilen sonuçlar

A	Proje Gerçekleşme Süresi	Durulaştırma yöntemi ile elde edilen süre $z^* = \frac{\sum \mu_c(z) * z}{\sum \mu_c(z)}$
0,0	202,5	202,15
0,1	202,45	
0,2	202,4	
0,3	202,35	
0,4	202,3	
0,5	202,25	
0,6	202,2	
0,7	202,15	
0,8	202,1	
0,9	202,05	
1,0	202	

Tablo 3'te elde edilen süreler incelendiğinde proje gerçekleşme süresi 202,15 olarak elde edilmiş ve bu değer alfa kesim aralığında 0,7 değerine karşılık gelmektedir. Ayrıca her bir α değerinde elde edilen

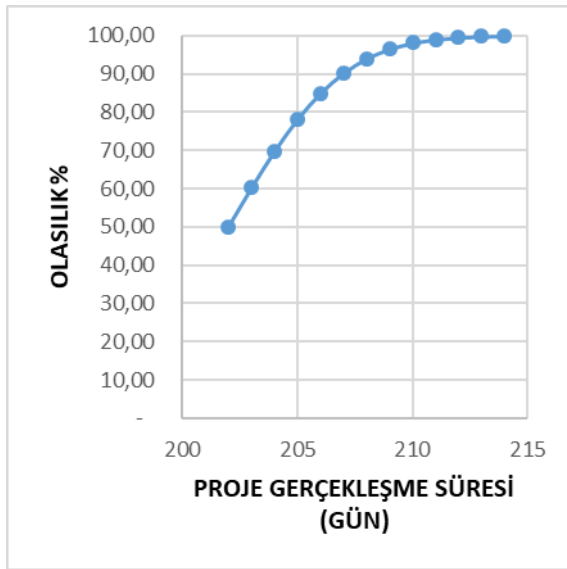
kritik yollar aynıdır ve PERT yönteminde bulunan kritik yola karşılık gelmektedir. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde aynı kritik yol elde edilmesi ile birlikte projenin gerçekleşme sürelerinin çok yakın olduğu görülmektedir.

Müşterinin ihtiyaç tarihini öne alması veya proje süresinin uzaması gibi bir durumda projenin gerçekleşme olasılığının nasıl değişeceğini bulmak için farklı güven düzeylerine (0,99-0,50) ait sonuçlar hesaplanmış ve Tablo 4 ile verilmiştir. Ayrıca bu farklı güven düzeylerine göre grafiksel gösterimi ise Şekil 3'te verilmiştir.

Yapılan öngörülerini diğer beşinci nesil savaş uçağı projeleri ile karşılaştırmak adına dünyada mevcut durumda operasyonel olarak kullanılan ve beşinci nesil olarak kabul edilebilecek tek uçak olan Amerika Birleşik Devletleri'nin geliştirdiği F-22 ve F-35 uçakları ile Rusya Federasyonu'nun geliştirdiği SU-57 savaş uçakları incelenmiştir.

Tablo 4. Süreye bağlı proje gerçekleştirme olasılıkları

Proje gerçekleştirme Süresi (Ay)	Olasılık (%)
202	50,00
203	60,21
204	69,77
205	78,13
206	84,98
207	90,22
208	93,98
209	96,50
210	98,08
211	99,01
212	99,52
213	99,78
214	99,91

**Şekil 3.** Süreye bağlı proje gerçekleştirme olasılıkları

ABD hava kuvvetleri ilerleyen süreçte F-15 ve F-16 savaş uçaklarının yerini alacak ve dünyadaki tehdit algılamalarına cevap verebilemesi amacıyla önceliği hava üstünlüğü sağlayabilecek bir savaş uçağı geliştirilmesi için konsept belirleme çalışmalarına 1983 yılında başlamıştır. 2 yılın ardından 1985 yılında konsept geliştirme faaliyetlerini bitirerek F-22 projesini başlattı. İlk uçuşunu Eylül 1997 yılında yapan F-22 savaş uçağı, Aralık 2005 yılında ABD hava kuvvetlerine teslim edilerek envantere girmiştir. F-22 projesi Konsept belirleme çalışmaları ile başlayıp envantere giriş ile son bularak toplamda yaklaşık 22 yıl sürmüştür [20].

ABD hava kuvvetleri 1993 yılında devam eden Çok Rollü Avcı Uçağı ve Gelişmiş Savaş Uçağı projelerini iptal ederek Ortak Gelişmiş Saldırı Teknolojisi programını başlattı. Bu projede amaç yeni bir uçak geliştirmek değil, uygun teknolojileri daha da

geliştirmek ve gelişmiş taarruz savaş konseptlerini göstermekti. Bu kapsamda ortaya çıkarılan F-35 savaş uçağı ilk uçuşunu Aralık 2006'da yapmış olmasına rağmen Temmuz 2015 yılında envantere girebilmiştir. F-35 projesi 1993 yılında başlatılan JAST programı dahil edilerek toplamda yaklaşık 22 yıl sürmüştür [21].

Rusya Federasyonu'nun geliştirdiği SU-57 savaş uçağı ile ilgili ilk çalışmalar 1980'lerin sonunda Sovyetler dönemine dayanmaktadır ancak siyasi gelişmeler bu projenin 2000'lere kadar başlatılmamasına sebep olmuştur. 2003 yılında başlatılan proje kapsamında Ocak 2010 yılında ilk uçuş yapılmış ve ilk uçak Aralık 2020 yılında envantere girmiştir. SU-57 projesi 2003-2020 yılları arasında toplam 18 yıl sürmüştür [22].

Dünyada gerçekleştirilmiş diğer projelerin ilk uçuş için ihtiyaç duyduğu sürelerden F-22'nin 165 aylık süresini kötümser (t_c), SU-57'nin 84 aylık süresini iyimser (t_a) ve F-35'in 155 aylık süresini olası (t_b) süre olarak kabul eder ve **Eşitlik (4)** kullanırsa t_c değerine yaklaşık 145 ay olarak ulaşırız. Bu süre **Tablo 5**'te görüleceği üzere Türkiye'de geliştirilen savaş uçağı projesi ile ilgili olarak 146 ay olarak öngörülmüştür. Aynı şekilde ilk uçuştan envantere giriş için geçen süre için ilgili hesaplamalar tekrarlandığında ise 102 aylık bir t_c değerine ulaşılır. **Tablo 5**'te de görüleceği üzere Türk savaş uçağı projesinde bu süre 56 ay olarak görece daha kısa bir süre olarak tahmin edilmektedir.

Tablo 5. Savaş uçağı projelerinde süreler

AKTİVİTELER	F-22	F-35	SU-57	t_c (F-22/F-35/SU-57)	Türk Savaş Uçağı Öngörü
Proje Başlangıcından İlk Uçuşa Kadar Geçen Süre	165 Ay	155 Ay	84 Ay	145 Ay	146 Ay
İlk Uçuştan Envantere Girişe Kadar Geçen Süre	99 Ay	90 Ay	131 Ay	102 Ay	56 Ay

Türkiye'de geliştirilen beşinci nesil savaş uçağı projesi incelendiğinde, proje gerçekleştirme süresi 202 ay olarak bulunmuştur. Kritik aktiviteler incelendiğinde ise genellikle üretim ve test aktivitelerinin proje süresi üzerinde yüksek etkisinin olduğu görülmüştür. Böyle büyük kapsamlı ve bazı teknolojilerin ilk defa kullanılacağı bir projede test süreçlerinde tahmin edilemeyecek hataların alınması ve bu süreçlerde beklenen sürelerin üzerine çıkılabileceği sürelerin kısaltılmaya çalışılması her ne

kadar mümkün görülsede riskleri attıracağı görülmüştür. Daha önce de bahsedildiği gibi sektörde bu tarz bir proje daha önce gerçekleştirilmediği için kurulacak alt yapıların ve ilk defa gerçekleştirilecek aktivitelerin de proje süresi üzerinde sonucu belirsiz etkileri olacaktır.

Konsept belirleme çalışmalarına 2011 tarihinde başlanan Türk savaş uçağı projesinde; ilk uçuş için yaklaşık 12 yıl, ilk uçuş sonrası envantere giriş için ise 56 aylık bir süre öngörülmektedir. Bu öngörülere göre ilk uçuşun 2023 yılı içerisinde yapılması beklenmekte olup, envantere giriş için ise 2027 yılı hedef gösterilmektedir.

Dünyada diğer ülkeler tarafından gerçekleştirilmiş projeler ile karşılaştırıldığında Türkiye’de geliştirilen savaş uçağı projesinin 146 aylık bir süre içerisinde uçurulması öngörüsü, ABD ve Rusya Federasyonunun geçmişte hayata geçirdiği birçok savaş uçağı projesi olduğu da göz önünde bulundurulduğunda, Türk Savunma Sanayisi için gayet iyimser ve zorlu bir hedefdir.

Diğer projelerin ilk uçuş sonrası genel doğrulama faaliyetlerini ve envantere giriş sürecini incelediğimizde diğer projelerde 91 aylık bir süre değerine ulaşılmakta olup, Türk savaş uçağı projesinde bu süre 56 ay olarak görece daha kısa bir süre olarak tahmin edilmektedir. Bu sürenin diğer projelerden çok daha kısa olmasına Türk Savunma Sanayisinin, savaş uçağı geliştirme stratejisinde kullandığı bloklandırma bakış açısı etkili olmuştur. Blok yaklaşım; projenin tüm ihtiyaç ve isteklerinin tek seferde karşılanması yerine birden fazla fazda, peyderpey ihtiyaç ve isteklerin yerine getirilmesini amaçlar. Bu strateji özellikle ilk defa geliştirilen projelerde çokça kullanılan ve başarı getiren bir stratejidir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Savaş uçağı geliştirme projeleri sadece bir tasarım, üretim veya test aktivitesi olarak görülmemelidir. Bu tarz projelerde birbirleri ile etkileşimli, birbirleri ile bağlantılı ve öncül ardıl ilişkileri olan birçok aktivitenin belirli bir takvim ve plan çerçevesinde ilerletilmesi gerekmektedir. Hatta proje ile direkt olarak ilgisi olmayan alt yapıların inşası, o altyapılarda kullanılacak olan ekipmanların tedariki ve yıllar sonra yapılması planlanan testler için iş gücü ve bilgi birikiminin planlanması gibi çok farklı konuların da projeyi destekler nitelikte gerçekleştirilebilmesi için proje yönetimi çok önemlidir.

Bu çalışmada, Türkiye’nin geliştirdiği ilk savaş uçağı projesi kapsamında gerçekleştirilmesi gereken

aktiviteler üzerinden yapılan süre öngörülerinin muadil projelerin gerçekleştirme süreleri ile uyumu irdelenmiş uyumlar ve uyumsuzluklar üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

Türk Savunma Sanayisi tarafından geliştirilmekte olan beşinci nesil savaş uçağının tasarım, üretim ve test faaliyetlerini kapsayan, proje başlangıcından ilk uçuşa kadar öngörülen sürenin daha önce gerçekleştirilmiş savaş uçağı projeleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. ABD ve Rusya Federasyonu gibi daha önce birçok proje geliştirmiş ülkeler ile uyumlu takvim tahmini yapılabilmesi Türk Savunma Sanayisi için bir risk olarak görülsede gelişen üretim, tasarım ve analiz metotlarının geçmişe göre daha etkin olması bu noktada pozitif etki yaratmıştır.

İlk uçuş sonrası gerçekleştirilen aktivitelerde de aynı etki pozitif olarak sürelerin kısaltılmasında etkili olsa da asıl büyük etki blok yaklaşımı ile operasyonel kabiliyetlerin peyderpey artırılarak ilk etapta müşterinin isteklerine en etkin ve en hızlı çözümü sunma stratejisidir.

Bu çalışmada herhangi bir kaynak kısıtı olmadan proje gerçekleştirme süresi hesaplanmıştır. Gelecek çalışmalarda maliyet, kaynak kısıtı vb. durumlarda modellere entegre edilebilir, farklı noktalarda optimizasyonlar yapılabilir

KAYNAKLAR

- [1] Korkmaz, G. (2022). Gelecek Öngörülleri ve Alınan Dersler Çerçevesinde Savunma Tedarik Projeleri. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 1(41), 163-204.
- [2] Ercan Erşahin, N. (2019). *Sivas uçağı geliştirme programlarını olumsuz etkileyen faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesi* (Master's thesis, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [3] Aksoy, A., Akansel, M., Atalay, C., Çamlıbel, A. M., Yaşar, D., Keseroğlu, D., & Vanlıoğlu, S. (2019). Proje Yönetiminde Zaman ve Maliyet Odaklı Bütünleşik Planlama Yaklaşımı ve Bir Uygulama. *Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 8(1), 1-20.
- [4] Farida, Y., & Anenda, L. P. (2022). Network Planning Analysis on Road Construction Projects by CV. X Using Evaluation Review Technique (PERT)-Critical Path Method (CPM) and Crashing Method. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(4), 377-390.
- [5] Bintang, M. R., Sungkono, K. R., & Sarno, R. (2019). Time and cost optimization in feasibility test of CCTV project using CPM and PERT. In *2019 International Conference on Information*

- and Communications Technology (ICOIACT) (pp. 678-683). IEEE.
- [6] Budiawati, G. I., & Sarno, R. (2019). Time and cost optimization of business process RMA using PERT and goal programming. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 17(2), 781-787.
- [7] Agyei, W. (2015). Project planning and scheduling using PERT and CPM techniques with linear programming: case study. *International journal of scientific & technology research*, 4(8), 222-227.
- [8] Temiz Kutlu, N. (2001). Proje planlama teknikleri ve PERT tekniğinin inşaat sektöründe uygulanması üzerine bir çalışma.
- [9] Karahan, M., & Ezin, Y. (2014). PERT-CPM Tekniğiyle Bir İnşaatın Yapım Süresi ve Maliyetlerinin Optimizasyonu. *Bartın University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences/Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(10).
- [10] Coşkun, O., & Ekmekçi, İ. (2012). Bir inşaat projesinin evreleri ile zaman ve maliyet analizinin proje yönetim teknikleri vasıtasıyla incelenmesi. *İstanbul ticaret üniversitesi fen bilimleri dergisi*, 10(20), 39-53.
- [11] Daniel, D. P., & Gabriela, N. (2013). Estimating the Duration of a Project Using PERT Technique. *Ovidius University Annals, Series Economic Sciences*, 13(2).
- [12] Ashadi, R. F., Husin, A. E., & Guntorojati, I. (2022). Infrastructure Construction Projects Scheduling Using Manual-Program Evaluation and Review Technique (M-PERT) Method, *Jurnal Teknik Sipil*, 29(2), 125-132.
- [13] Ahmad, S. H., Bon, A. T., Rasi, R. Z. R. M., Kek, S. L., Raja, P., & Pahat, B. Project Management Scheduling through Integrated PERT and Gantt Chart.
- [14] Ahmed, A., Kayis, B., & Amornsawadwatana, S. (2007). A review of techniques for risk management in projects. *Benchmarking: An International Journal*, 14(1), 22-36.
- [15] Sadow, R. M. (1964). How PERT was used in managing the X-20 (Dyna-Soar) program. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (4), 138-154.
- [16] Desticioğlu, B. (2022). Project planning with CPM and PERT methods: Example of defence industry. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 18(2), 363-385.
- [17] Alharkan, I. M. (2005). Algorithms for sequencing and scheduling. *Industrial Engineering Department, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia*.
- [18] Chen, S. P. (2007). Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times. *European Journal of Operational Research*, 183(1), 442-459.
- [19] Elizabeth, S., & Sujatha, L. (2013). Critical path problem under fuzzy environment. *International Journal of Computer Applications*, 75(1), 7-11.
- [20] Jenkins, D. R. (2001). *Lockheed secret projects: Inside the skunk works*. Zenith Imprint.
- [21] Steidle, C. E. (1997). The joint strike fighter program. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 18(1), 7.
- [22] Butowski, P. (2021). *Su-57 Felon*, Key Publishing.