

## İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) ÜRETİMİNİN PROGRAM DEĞERLENDİRME VE GÖZDEN GEÇİRME TEKNİĞİ (PERT) VE HEDEF PROGRAMLAMA İLE PLANLANMASI\*

Mahmut ATLAS<sup>2</sup>, Fahrettin KIZIL<sup>3</sup>

### Öz

Bu araştırmada son zamanlarda ülkemizde ve dünyada askeri ve sivil alanda kullanımı ve önemi hızla artan İnsansız Hava Araçları (İHA) uygulama alanı olarak seçilmiştir. Bu yönüyle bugüne kadar yapılmış olan çalışmalardan ayrılmaktadır. Araştırmada şebeke analizi tekniklerinden olan Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT-Program Evaluation and Review Technique) ile Hedef Programlama (HP) tekniği uygulanmaya çalışılmıştır. İlk olarak 22 faaliyetten oluşan bir mini insansız hava aracı (İHA) yapım süreci PERT tekniği ile planlanarak zaman ve maliyet analizi yapılmış, sonrasında problem hedef programlama tekniği ile yeniden çözümlenerek her iki teknikte bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Araştırmada PERT analizi ve hedef programlama çözümleri için WINQSB programı kullanılmıştır. WINQSB programı ile normal faaliyet süreleri kullanılarak yapılan analiz sonucunda projenin tamamlanma süresi 137,67(hızlandırılma ile 120.67) gün, standart sapması ise 5,59 gün olarak hesaplanmış ve kritik yol A-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-V faaliyetleri olarak belirlenmiştir. Projenin normal maliyeti ise 20.320 \$(hızlandırılma ile 22.280 \$) olarak hesaplanmıştır. Hedef programlama ile bulunan sonuçlar da PERT ile bulunan sonuçlarla aynıdır.

**Anahtar Kelimeler:** PERT, Hedef Programlama, Şebeke Analizi

**JEL Kodları:** C44, C60

## PLANNING OF UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) WITH PROGRAM EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE (PERT) AND GOAL PROGRAMMING

### Abstract

In this research, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), whose use and importance in the military and civil fields in our country and in the world have increased rapidly, have been chosen as the application area. With this aspect, it differs from the work done to date. In the research, Program Evaluation and Review Technique (PERT-Program Evaluation and Review Technique) technique and Goal Programming (GP) technique are explained. First, a mini unmanned aerial vehicle (UAV) construction process consisting of 22 activities was planned with PERT technique, time and cost analysis were made, then the problem was solved again with the goal programming technique and compared with the results found with both techniques. In the research, WINQSB package program was used for PERT analysis and goal programming solutions. As a result of the analysis using normal activity durations with WINQSB program, the completion time of the project was calculated as 137.67 days (120.67 with acceleration), the standard deviation was calculated as 5.59 days and the critical path was determined as A-L-M-N-N-O-P-Q-R-S-T-V activities. The normal cost of the project was calculated as \$20,320 (\$22,280 with acceleration). The results found with goal programming are the same as the results found with PERT.

**Keywords:** PERT, Goal Programming, Network Analysis

**JEL Codes:** C44, C60

\* Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı'nda Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ATLAS danışmanlığında Fahrettin KIZIL tarafından "İnsansız Hava Aracı (İHA) Yapımının Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) ile Planlanması" başlığı ile tamamlanarak Ocak 2020 tarihinde savunulan Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir.

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, [matlas@anadolu.edu.tr](mailto:matlas@anadolu.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0002-0242-569X>

<sup>3</sup> Yüksek lisans öğrencisi, [fahrettinkizil@gmail.com](mailto:fahrettinkizil@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0958-5773>

## GİRİŞ

Üretim endüstrisi; anlaşılması, düşünülmesi, planlaması kolay olmayan gittikçe daha karmaşık yapılı bir sisteme dönüşmektedir. Günümüz yönetim anlayışı, rekabet gücü yüksek endüstrilerin karakteristik özellikleri olan karmaşıklıklarla, veri yığınlarıyla ve teslim tarihleriyle başa çıkabilmek için sürekli olarak yeni ve daha iyi planlama ve kontrol teknikleri arayışındadır. Bu amaçla kullanılan etkin tekniklerden ikisi: Şebeke analizi ve Hedef programlamadır.

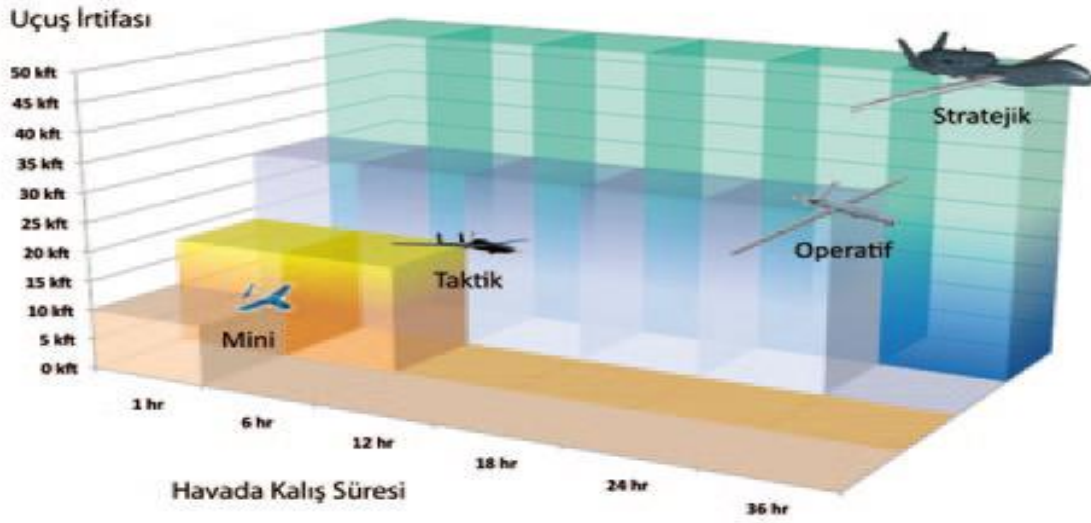
Şebeke analizi bir projenin en kısa sürede ve en az maliyetle gerçekleştirebilmesi için yapılması gereken faaliyetler ve olayların sıra ve mantık ilişkisini gösteren proje programlama tekniğidir. Günümüzde şebeke analizi büyük projelerin yanı sıra; bilgisayar bilimleri, siber, iletişim ve ulaşım sistemleri, AR-GE projeleri, üretim çizelgeleme, sosyal grup yapıları, kimyasal bağlar, dil yapıları vb. alanlarda kullanılmaktadır (Hillier ve Lieberman, 2001, s. 405). Şebeke analizinde etkin olarak kullanılan iki teknik: PERT-Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (Program Evaluation and Review Technique) ve CPM-Kritik Yol Tekniğidir (Critical Path Method) (Kerzner, 2009, s. 493).

Diğer taraftan üretim endüstrisinde amaçlar; maksimum kâr, maksimum üretim, minimum maliyet vb. birden çok olabilmektedir. Çok amaçlı bir problemi, doğrusal programlama ile modellemek ve çözmek pek mümkün değildir. Bu nedenle çok amaçlı problemi tek amaçlı bir probleme dönüştürerek çözmek için hedef programlama tekniği kullanılmaktadır. Hedef programlama, birbiriyle çelişen tüm amaçlar için uygun çözümü bulmaya yarayan etkin çözüm tekniğidir (Taha, 2000, s. 343).

Bu araştırmada son zamanlarda ülkemizde ve dünyada askeri ve sivil alanda kullanımı ve önemi hızla artan İnsansız Hava Araçlarının (İHA) üretim süreci planlanmaya çalışılacaktır. Şekil 1’de görülebileceği gibi İHA’lar; büyüklüklerine ve havada kalış sürelerine göre dört farklı sınıfa ayrılmaktadır. Bu çalışmada uygulama alanı olarak “Mini İHA” üretim süreci planlaması örnek uygulama olarak ele alınacaktır. Şekil 1’de görüldüğü üzere mini İHA, 10kft (3.048 metre) yükseklikte üç saate kadar havada kalabilen araçtır.

Mini İHA üretim, çok sayıda faaliyetten oluşan bir süreçtir. Üretimin en kısa sürede ve en az maliyetle gerçekleştirilmesi için yapılması gerekli olan faaliyetlerin; süresini, başlangıcını, tamamlanmasını, sırasını, birbiriyle olan mantıksal ilişkisini kolaylıkla gösterebilmek amacıyla şebeke analiz tekniği kullanılmaktadır. Bu nedenle mini insansız hava aracı (İHA) yapım süreci şebeke analizi ile planlanacaktır. Yapım sürecindeki faaliyet süreleri tahmini olarak bilindiğinden araştırmada, şebeke analizinin etkin tekniklerinden biri olan PERT tekniği kullanılmıştır.

Şekil 1: Sınıflarına göre İHA çeşitleri



PERT ile bulunan çözüme ek olarak mini İHA üretim sürecinin Hedef Programlama tekniği ile de yönetilebileceği incelenmiştir. Bunun için Hedef Programlama modeli için “birincisi: projenin toplam tamamlanma süresinin PERT ile hesaplanan süreyi geçmemesi, ikincisi: kritik yol üzerindeki faaliyetlerin süreleri içinde tamamlanması” olmak üzere iki amaç belirlenmiştir.

Son olarak mini İHA üretim sürecinin PERT ve Hedef Programlama teknikleri çözüm sonuçları sunulacaktır.

## LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde üretim süreçleri, proje programlama vb alanlarda, şebeke analizi teknikleri ve hedef programlamanın, geliştirilerek etkin kullanılmaya devam edeceğini söylemek yanlış olmayacaktır.

### Literatür Araştırması (PERT ile Proje Planlama)

Proje yönetimi alanındaki çalışmalar ve konunun ayrı bir alan olarak değerlendirilmesi, ilk olarak İkinci Dünya Savaşı sonrasında başlamıştır. Sonraki dönemlerde ise özellikle silah sistemleriyle ilgili projelerin en iyi şekilde yönetilmesi gerekliliğinden dolayı, teknolojinin ilerlemesiyle ve mühendislikteki önemli gelişmelerle birlikte farklı bilim adamları tarafından CPM ve PERT teknikleri geliştirilmiştir (Davis, 1983). Geliştirildiği ilk yıllarda askeri alanda silah

geliştirilmesi amacıyla kullanılan bu teknikler sonrasında endüstriyel projelerde de kullanılmaya başlanmıştır. (Burke, 2003, s. 26). Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve yazılımların gelişmesiyle birlikte karmaşık ve büyük işler için proje yönetimi tekniklerinin işletmelerde kullanılması kolaylaşmış ve yaygınlaşmıştır (Albayrak, 2016, s. 15).

Sarıca (2006), “CPM ve PERT teknikleriyle proje planlama ve bir işletmede uygulanması” adlı yüksek lisans tezi çalışmasında, Proje yönetiminin en önemli üç aşaması CPM ve PERT teknikleri ile incelemiş ve PERT tekniği kullanılarak “Olimpik Buz Pateni Pisti” inşaat projesinin analizi yapmıştır. Analiz sonucunda, projede oluşacak muhtemel gecikme senaryoları ve ceza maliyetleri ile alternatif hızlandırma senaryoları ve maliyetlerin karşılaştırmasının yapabileceği bir kıyaslama yöntemi geliştirilmiştir.

Duran (2007), “CPM - PERT modeller ve uygulaması” adlı yüksek lisans tezi çalışmasında, CPM/PERT tekniğini matbaa üretim aşamalarına uygulamıştır.

Karadeniz (2007), “PERT-CPM ile proje planlama, değerlendirme ve bir işletme uygulaması” adlı yüksek lisans tezi çalışmasında, CPM tekniği ile; Halkalı-Gebze arasındaki mevcut demiryolu hattının iyileştirilmesi ve kapasitesinin artırılması amacıyla başlatılan inşaat projesinin iş programı oluşturmuştur.

Yalkı (2009), “Proje yönetimi ve CPM-PERT teknikleri üzerine bir uygulama” adlı yüksek lisans tezi çalışmasında, çelikخانه tesislerinin kapasite artırımı ve güçlendirilmesi için projenin tamamlanma süresinin yanı sıra projenin tamamlanma süresine etki eden faaliyetler belirlenmiştir.

Kocabıyık (2010), “Gemi inşa sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede PERT ve bulanık PERT uygulaması” adlı yüksek lisans tezi çalışmasında, kimyasal tanker gemisi güverte projesini proje yönetimi çerçevesinde incelemiştir. Çalışma sonucunda her iki teknikle de aynı kritik yol bulunmuştur.

Karahan ve Ezin (2014), “PERT-CPM tekniğiyle bir inşaatın yapım süresi ve maliyetlerinin optimizasyonu” konulu çalışmasında, inşaat sektörü üzerinde yapılan bir projeyi ele almıştır.



Mazlum ve Güneri (2015) “CPM, PERT and project management with fuzzy logic technique and implementation on a business” konulu çalışmada, online internet şube projesinin planlanmasında klasik PERT ve CPM ile bulanık proje yönetiminde kullanılan bulanık PERT (FPERT) ve bulanık CPM (FCPM) tekniklerini kullanmıştır.

Yıldız (2015), “Farklı coğrafi bölgelerde petrol kuyusu açma maliyetlerinin PERT-CPM proje planlama teknikleri ile karşılaştırmalı analizi” adlı yüksek lisans tezi çalışmasında, bir petrol şirketi tarafından farklı coğrafi bölgelerde açılması planlanan biri dikey diğeri yatay sondaj ile açılacak olan iki farklı petrol kuyusu projesinin maliyeti ve proje süresini PERT-CPM teknikleri ile incelemiştir.

Temiz ve Dursun (2016), “PERT tekniğinin liman deniz hizmetleri otomasyonu projesine uygulanması” adlı araştırma çalışmasında, 19 faaliyetten oluşan liman deniz hizmetleri otomasyonu projesini PERT tekniği ile planlamıştır.

Bakışkan (2019), “CPM-PERT proje yönetim tekniklerinin Karadeniz tipi balıkçı gemileri inşa sürecini incelemiştir.

### **Literatür Araştırması (Hedef Programlama ile Proje Planlama)**

Hedef programlama, doğrusal programın çok amaçlı ve esnek kısıtlı problemlerin çözümünde yetersiz kalması sonucunda 1950’li yıllarda Charnes ve Cooper tarafından geliştirilmiştir. Lee (1972) ve Ignizio (1976) tarafından yapılan çalışmalarda, hedef programlamanın geniş kapsamlı uygulamalarıyla ilgilenmiştir (Sharma, 2008, s. 87). Hedef programlama modelinde yer alan parametrelerdeki belirsiz bilgileri göstermek amacıyla 1980’lerin başında bulanık kümeler kullanılmıştır (Öztürk, 2009, s. 275).

Atlas ve Keçek (2000) “Hedef programlama ve bir seramik işletmesinde uygulama denemesi” konulu çalışmasında, çoklu ve birbiriyle çelişen 8 adet öncelikli hedef ve kısıtlayıcılar belirlenerek bir doğrusal hedef programı modeli kurup, çözmüşlerdir.

Vatansver (2008), “Proje planlamasında bulanık hedef programlama yaklaşımı” konulu yüksek lisans çalışmasında, kritik yol ve bulanık hedef programlama teknikleri, ayakkabı üretimi yapan bir firmanın üreteceği yeni bir ayakkabı modeli üretim projesinde uygulanmıştır.

Çetin (2008), “PERT modellerinin hedef programlama ile hızlandırılması ve inşaat sektörüne bir uygulama” konulu yüksek lisans tezi çalışmıştır.

Öztürk (2019), “PERT tabanlı proje planlamasında hedef programlama: Sağlık sektöründe bir uygulama” konulu yüksek lisans çalışmasında Ankara Halk Sağlığı Müdürlüğü’ne bağlı Toplum Sağlığı Merkezi Entegre Devlet Hastanesinin bilgi işlem altyapısının oluşturulması projesi PERT ve hedef programlama teknikleri kullanılarak yönetilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalara incelendiğinde üretim, dağıtım, sağlık, inşaat, vb., bir çok alanda PERT ve Hedef Programlama teknikleri ile proje planlaması ve uygulaması her geçen gün gelişerek devam etmektedir.

## **YÖNTEM**

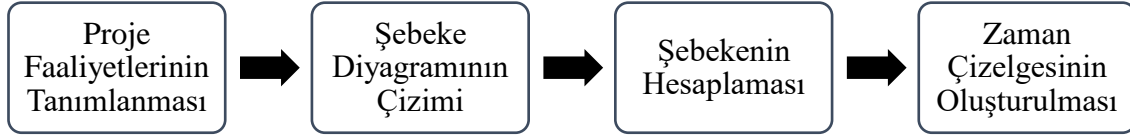
Araştırmada, mini İnsansız Hava Aracı (İHA) yapım sürecinin programlanması için, PERT ve Hedef Programlama teknikleri kullanılacaktır.

### **İHA Yapım Sürecinde PERT Kullanımı**

PERT, şebekede faaliyet sürelerini kesin olarak bilinmediği durumlarda kullanılan etkin bir tekniktir. Şebeke, olaylar ve faaliyetlerden oluşan bir programın, projenin ya da problemin olay ve faaliyetlerinin birbirleriyle olan bağlantı ve ilişkilerini ok şeklinde çizilen şekiller veya diyagramlar yardımıyla gösteren şemalardır (Öztürk, 2016, s.525). Analiz, araştırma problemlerini çözmek amacıyla verilerin; sıralanması, sınıflandırılması, matematiksel ve istatistiksel işlemler yapılması ve sonucunda özetlenmesi olarak tanımlanabilir (Atlas,2003, s. 39).

PERT, projelerin planlanması, çizelgelenmesi ve kontrolüne yardımcı olmak üzere tasarlanmış şebeke esaslı modellerdir. Şekil 2.’de şebeke analizinde PERT kullanım aşamaları gösterilmiştir (Taha, 2000, s. 258).

**Şekil 2:** Şebeke analizinde *PERT* aşamaları



İlk olarak 1957 yılında ABD Donanması'ndaki “Polaris Missiles” projesini iki yıl erken bitirmek amacıyla kullanılan “Program Evaluation and Review Technique” kelimelerinin baş harflerinden oluşan PERT tekniği, temel olarak bir proje planlama ve kontrol aracıdır. PERT tekniği, faaliyet sürelerinin ve kaynakların olasılık kullanılarak tahmin edildiği projelerde kullanılır (Roy, 2005, s. 192). PERT, projenin başarısını doğrudan etkileyen unsurlardan olan; zamanı, maliyeti ve performansı analiz etmek için zamanı ortak bir payda olarak kullanır.

PERT tekniğinde şebeke diyagramının oluşturulması için, faaliyetlerin sıralaması, başlangıç ve tamamlanma zamanları ile her faaliyetin öncelik ilişkisinin bilinmesi gerekmektedir.

- Hangi faaliyet hangi faaliyetten önce geliyor?
- Hangi faaliyeti hangi faaliyet takip ediyor?
- Hangi faaliyetler aynı anda yapılabilir?

Sorularının cevaplarıyla, projeler kolayca PERT için şebeke diyagramlarına dönüştürülebilir.

Çok sayıda faaliyetten başlangıcını, tamamlanmasını, sırasını, birbiriyle olan mantıksal ilişkisini kolaylıkla gösterebilmek amacıyla şebeke analiz teknikleri kullanılmaktadır. Bu nedenle mini İnsansız Hava Aracı (İHA) yapım süreci şebeke analizi ile incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan süreler ve diğer veriler birincil veriler olarak, mini İHA yapımında görev alan bu konuda uzman proje ekibinin görüşleri doğrultusunda derlenmiştir. Yapım sürecindeki faaliyet süreleri tahmini olarak bilindiğinden çalışmada, şebeke analizi tekniklerinden biri olan PERT tekniği kullanılmıştır.

Mini İHA yapımında gerçekleştirilmesi planlanan faaliyetler ve faaliyet öncelikleri Tablo 1’de verilmiştir. Buna göre yapım sürecinde A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-N-O-P-Q-R-S-U-V olarak adlandırılan 22 faaliyetin gerçekleştirilmesi planlanmıştır.

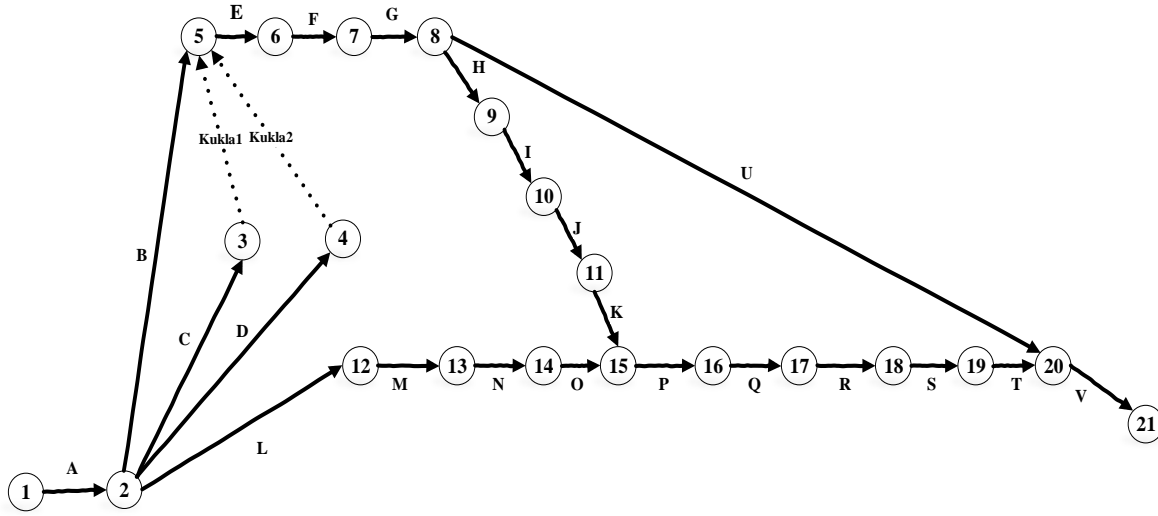
**Tablo 1:** Faaliyetler ve faaliyetlerin öncelik ilişkileri

Faaliyet Adı	Faaliyetler	Faaliyet Önceliği
A	İHA'nın kullanım amacının belirlenmesi (Keşif, gözetleme, foto, imha vs.)	-
B	Uçuş kontrol kartının belirlenmesi	A
C	Kameranın ve görüntü aktarma sistemi gibi yan donanımların belirlenmesi	A
D	Kumanda ve telemetri sisteminin belirlenmesi	A
E	Güç ihtiyacına göre batarya kapasitesinin belirlenmesi ve batarya seçimi	B, C, D
F	Ağırlığa ve amaca göre İHA platformunun ve motorunun belirlenmesi	E
G	İhtiyaç duyulan malzemelerin tedariki	F
H	İHA'nın gövde montajı (kamera ve görüntü aktarma sistemi olmadan)	G
I	Uçuş öncesi yer kontrolleri (kamera ve görüntü aktarma sistemi olmadan)	H
J	İlk uçuş denemesinin yapılması ve uçuş parametrelerinin ayarlanması	I
K	Otonom ve diğer uçuş modlarının denenmesi	J
L	Görüntü işleme yazılımının hazırlanması	A
M	Yer istasyon kontrol yazılımının hazırlanması	L
N	Donanımların (kamera, görüntü aktarım) montajı ve yazılım entegrasyonu	M
O	Tam donanımlı olarak yerde yazılım denemelerinin yapılması	N
P	Tam donanımlı olarak ikinci test uçuşunun yapılması	K, O
Q	İHA sistemiyle verilerin toplanması (İHA'nın amacına yönelik kullanımı)	P
R	Yeni verilerle görüntü ve yer kontrol yazılımlarının iyileştirilmesi	Q
S	İHA donanımlarının kolay kullanım iyileştirilmesi	R
T	Kullanıcı el kitabının hazırlanması	S
U	İHA ve donanımın korunması ve taşınması amaçlı çantaların hazırlanması	G
V	İHA'nın teslimi	T, U

Yapım süreci için planlanan 22 faaliyet ile bu faaliyetlerin birbiriyle olan mantıksal ilişkileri için şebeke diyagramı Şekil 3'de oluşturulmuştur. Şekil 3'de de görüleceği üzere şebeke diyagramı çiziminde oklarla gösterilen 22 adet faaliyetin yanı sıra, iki adet kukla faaliyet (toplam 24 faaliyet) ve 21 adet olay (düğüm) kullanılmıştır.



Şekil 3: Faaliyetlerin öncelik ilişkilerinin şebeke diyagramında gösterimi



Şebeke faaliyet süreleri, mini İHA yapımında görev alan bu konuda uzman proje ekibinin (3 mühendis, 2 teknisyen ve 1 pilot) görüşleri doğrultusunda derlenmiştir. 22 adet faaliyet için belirlenen üç tahmini süre (En iyimser-a, en yüksek olasılıklı-m ve en kötümser süre-b) Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2’nin son sütununda ise  $\beta$ -dağılımına<sup>4</sup> göre faaliyetlerin ortalama süreleri hesaplanmıştır. Örneğin “A” faaliyeti için ortalama süre  $(3+ 4x4+ 7)/6= 4,333$  şeklinde hesaplanmıştır.

" $\beta$ -dağılımında faaliyetlerin ortalama süresi:  $(\bar{x} = a+4m+b / 6)$ " formülü ile hesaplanır

Aynı şekilde hesaplanan tüm faaliyetlerin ortalama süreleri Tablo 2’de gösterilmektedir.

<sup>4</sup> Beta dağılımı; en iyimser, en yüksek olasılıklı ve en kötümser süreler ile ortalama ve varyans değerlerini hesaplamaya olanak veren bir dağılımdır(daha geniş bilgi için bkz. Öztürk, 2016, s.541).

**Tablo 2:** Üçlü tahmini süreler ve hesaplanan ortalama süreler

Faaliyet Adı	En İyimser Süre- a (gün)	En Yüksek Olasılıklı Süre -m (gün)	En Kötümser Süre -b (gün)	Ortalama süre $\bar{x}=(a+4m+b)/6$
A	3	4	7	4,333
B	1	2	3	2,000
C	2	4	5	3,833
D	2	3	4	3,000
E	1	2	3	2,000
F	2	4	6	4,000
G	21	30	50	31,833
H	3	4	5	4,000
I	1	2	3	2,000
J	2	4	5	3,833
K	1	3	4	2,833
L	20	30	40	30,000
M	20	30	40	30,000
N	5	8	11	8,000
O	5	8	11	8,000
P	4	7	13	7,500
Q	10	12	16	12,333
R	10	13	19	13,500
S	2	3	4	3,000
T	15	18	20	17,833
U	3	5	7	5,000
V	2	3	5	3,167

Tablo 2’de verilen; faaliyetlerin süreleri, faaliyetler arası mantıksal ilişkiler ile en iyimser, en yüksek olasılıklı ve en kötümser süreler WINQSB paket programı kullanılarak PERT tekniği ile analiz edilmiştir.

WINQSB programı ile elde edilen sonuçlar Tablo 3’deki gibidir.

**Tablo 3:** WINQSB ile yapılan PERT analizi sonuçları

12-01-2019 15:46:13	Activity Name	On Critical Path	Activity Mean Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	Activity Time Distribution	Standard Deviation
1	A	Yes	4,3333	0	4,3333	0	4,3333	0	3-Time estimate	0,6667
2	B	no	2	4,3333	6,3333	27,8333	29,8333	23,5000	3-Time estimate	0,3333
3	C	no	3,8333	4,3333	8,1667	26,0000	29,8333	21,6667	3-Time estimate	0,5
4	D	no	3	4,3333	7,3333	26,8333	29,8333	22,5000	3-Time estimate	0,3333
5	E	no	2	8,1667	10,1667	29,8333	31,8333	21,6667	3-Time estimate	0,3333
6	F	no	4	10,1667	14,1667	31,8333	35,8333	21,6667	3-Time estimate	0,6667
7	G	no	31,8333	14,1667	46	35,8333	67,6667	21,6667	3-Time estimate	4,8333
8	H	no	4	46	50	67,6667	71,6667	21,6667	3-Time estimate	0,3333
9	I	no	2	50	52	71,6667	73,6667	21,6667	3-Time estimate	0,3333
10	J	no	3,8333	52	55,8333	73,6667	77,5	21,6667	3-Time estimate	0,5
11	K	no	2,8333	55,8333	58,6667	77,5	80,3333	21,6667	3-Time estimate	0,5
12	L	Yes	30	4,3333	34,3333	4,3333	34,3333	0	3-Time estimate	3,3333
13	M	Yes	30	34,3333	64,3333	34,3333	64,3333	0	3-Time estimate	3,3333
14	N	Yes	8	64,3333	72,3333	64,3333	72,3333	0	3-Time estimate	1
15	O	Yes	8	72,3333	80,3333	72,3333	80,3333	0	3-Time estimate	1
16	P	Yes	7,5	80,3333	87,8333	80,3333	87,8333	0	3-Time estimate	1,5
17	Q	Yes	12,3333	87,8333	100,1667	87,8333	100,1667	0	3-Time estimate	1
18	R	Yes	13,5	100,1667	113,6667	100,1667	113,6667	0	3-Time estimate	1,5
19	S	Yes	3	113,6667	116,6667	113,6667	116,6667	0	3-Time estimate	0,3333
20	T	Yes	17,8333	116,6667	134,5	116,6667	134,5	0	3-Time estimate	0,8333
21	U	no	5	46	51	129,5	134,5	83,5	3-Time estimate	0,6667
22	V	Yes	3,1667	134,5	137,6667	134,5	137,6667	0	3-Time estimate	0,5
	Project	Completion	Time	=	137,67	DAYs				
	Number of	Critical	Path(s)	=	1					

Tablo 3’de, tüm faaliyetlerin ortalama tamamlanma süreleri (Activity Mean Time), En Erken Başlama-EB (Earliest Start-ES), En Geç Başlama-GB (Latest Start-LS), En Erken Tamamlama-ET (Earliest Finish-EF) ve En Geç Tamamlama-GT (Lastest Finish-LF) zamanları, faaliyetlerin boşluk / bolluk değerleri (Slack/LS-ES), standart sapmaları (Standart Deviation), projenin beklenen tamamlanma süresi (Project Completion Time) ve projenin kritik yol sayısı (Number of Critical Paths) gösterilmektedir. Bununla birlikte hangi faaliyetlerin kritik yol üzerinde bulunduğu da (On Critical Path) “Yes-no” şeklinde tabloda belirtilmiştir. Tablonun ikinci sütunu (On Critical Path) ile kesişen satırlardaki “Yes” ifadesi, ilgili faaliyetin kritik yol üzerinde bulunduğunu, “no” ise kritik yol üzerinde bulunmadığını ifade etmektedir. Ayrıca



tabloda, “Yes” ile belirtilen kritik faaliyetlerin boşluk değerinin (Slack ; LS - ES) sıfır (0), kritik olmayan faaliyetlerin ise 21,667 ile 83,5 gün arasında olduğu da görülmektedir.

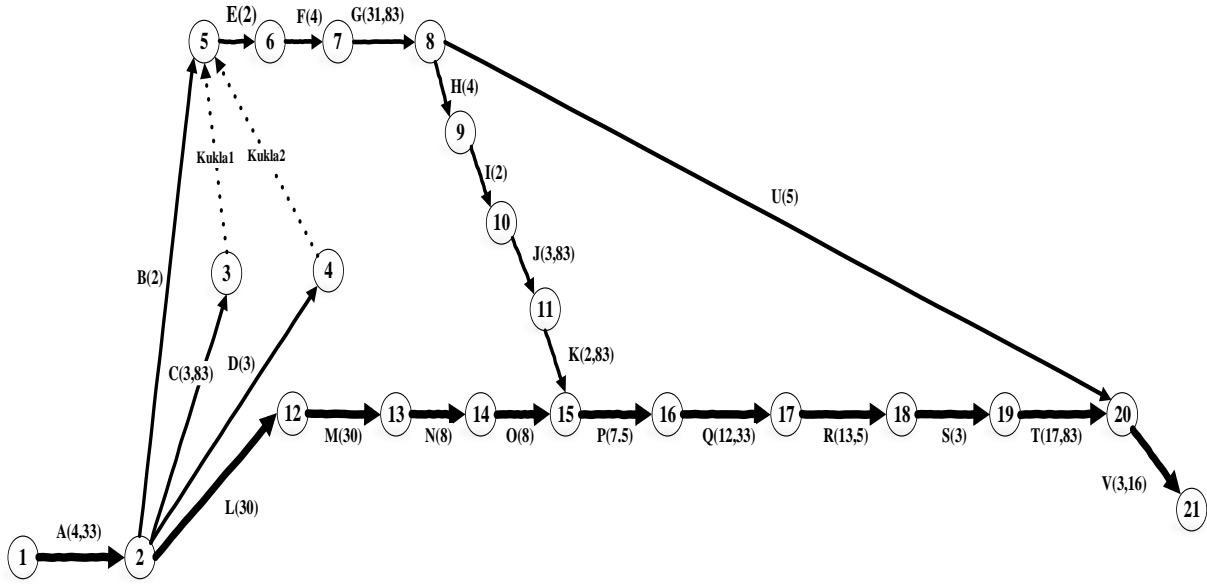
WINQSB programı ile analiz sonucuna göre İHA üretim projesinin tamamlanma süresi ortalama 137,67 gün olarak bulunmuştur. Standart sapması ise 5,59 gündür. Kritik yol Tablo 4’deki A-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-V faaliyetlerinden oluşmaktadır.

**Tablo 4:** Kritik faaliyetler

<b>Faaliyet Adı</b>	<b>Faaliyetler</b>
A	İHA'nın kullanım amacının belirlenmesi (Keşif, gözetleme, foto, imha vs.)
L	Görüntü işleme yazılımının hazırlanması
M	Yer istasyon kontrol yazılımının hazırlanması
N	Donanımların (kamera ve görüntü aktarım) montajı ve yazılım entegrasyonu
O	Tam donanımlı olarak yerde yazılım denemelerinin yapılması
P	Tam donanımlı olarak ikinci test uçuşunun yapılması
Q	İHA sistemiyle verilerin toplanması (İHA'nın amacına yönelik kullanımı)
R	Yeni verilerle görüntü ve yer kontrol yazılımlarının iyileştirilmesi
S	İHA donanımlarının kolay kullanım iyileştirilmesi
T	Kullanıcı el kitabının hazırlanması
V	İHA'nın teslimi

Kritik yolu, Şekil 4’de görüldüğü üzere kalın çizgilerle çizilmiş faaliyetlerden (A-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-V) oluşmaktadır.

Şekil 4: Kritik yolun şebeke diyagramı üzerinde gösterimi



Projelerde öngörülemeyen nedenlerle zaman veya maliyet aşmaları yaşanabilir. Bu durumlarda projenin hızlandırılması gerekebilir. Projenin hızlandırılması, faaliyetlere daha fazla kaynak (işgücü, ekipman, malzeme vs.) tahsis edilerek yapılabilir. Mini İHA yapım sürecinde zaman ve maliyet aşmaları, faaliyetlerin ortalama süreleri, normal işgücü maliyetleri, hızlandırma yapılabilecek faaliyetler, hızlandırılacak süreler ve hızlandırılma maliyetleri Tablo 5’de görülmektedir. Tablo 5’de, 22 faaliyet içerisinde G, H, L, M, N, Q, R ve T faaliyetlerine sırasıyla maksimum 5, 1, 5, 3, 2, 2, 3 ve 2 gün hızlandırma işlemi yapılabileceği belirlenmiştir.

**Tablo 5:** Hızlandırılabilir süreler ve maliyetleri

<b>Faaliyet Adı</b>	<b>Ortalama Süre</b>	<b>Faaliyetin İşgücü Maliyeti (\$/gün)</b>	<b>Hızlandırılabilen Süre (gün)</b>	<b>Birim Hızlandırma Maliyeti (\$/gün)</b>	<b>Hızlandırma Maliyeti (\$/gün)</b>	<b>Hızlandırılmış Maliyet (\$/gün)</b>
A	4,333	520	0	0	0	520
B	2,000	240	0	0	0	240
C	3,833	460	0	0	0	460
D	3,000	360	0	0	0	360
E	2,000	240	0	0	0	240
F	4,000	480	0	0	0	480
G	31,833	550	5	80	400	950
H	4,000	400	1	130	130	530
I	2,000	260	0	0	0	260
J	3,833	498	0	0	0	498
K	2,833	368	0	0	0	368
L	30,000	3.600	5	140	700	4.300
M	30,000	3.600	3	120	360	3.960
N	8,000	800	2	110	220	1.020
O	8,000	960	0	0	0	960
P	7,500	975	0	0	0	975
Q	12,333	1.603	2	90	180	1.783
R	13,500	540	3	60	180	720
S	3,000	360	0	0	0	360
T	17,833	2.853	2	160	320	3.173
U	5,000	400	0	0	0	400
V	3,167	253	0	0	0	253

Hızlandırma işlemi sonucunda çözüm değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Buna göre hızlandırma işlemi kritik yol üzerindeki maliyeti minimize eden R, Q, N, M, L ve T faaliyetlerine sırasıyla uygulanmıştır. Normal tamamlama süresi 137,67 gün ve normal tamamlanma süresindeki maliyeti 20.320 \$ olan yapım işinin kritik yol üzerinde yer alan hızlandırılabilir tüm faaliyetlerine hızlandırma işlemi yapıldıktan sonra projenin tamamlanma süresi 17 gün erkene çekilerek 120,67 gerilemiştir. Ancak 17 gün hızlandırma sonucunda 1.960 \$ maliyet artışı ile projenin hızlandırılmış maliyeti toplamda 22.280 \$’a yükselmiştir.

**Tablo 6:** İHA yapım sürecinin 17 (on yedi) gün hızlandırılmasının sonuçları

12-14-2019 20:01:36	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	A	Yes	4,333	0	4,333	0	4,333	0
2	B	no	2	4,333	6,333	17,834	19,834	13,501
3	C	no	3,833	4,333	8,166	16,001	19,834	11,668
4	D	no	3	4,333	7,333	16,834	19,834	12,501
5	E	no	2	8,166	10,166	19,834	21,834	11,668
6	F	no	4	10,166	14,166	21,834	25,834	11,668
7	G	no	31,833	14,166	45,999	25,834	57,667	11,668
8	H	no	4	45,999	49,999	57,667	61,667	11,668
9	I	no	2	49,999	51,999	61,667	63,667	11,668
10	J	no	3,833	51,999	55,832	63,667	67,5	11,668
11	K	no	2,833	55,832	58,665	67,5	70,333	11,668
12	L	Yes	25	4,333	29,333	4,333	29,333	0
13	M	Yes	27	29,333	56,333	29,333	56,333	0
14	N	Yes	6	56,333	62,333	56,333	62,333	0
15	O	Yes	8	62,333	70,333	62,333	70,333	0
16	P	Yes	7,5	70,333	77,833	70,333	77,833	0
17	Q	Yes	10,333	77,833	88,166	77,833	88,166	0
18	R	Yes	10,5	88,166	98,666	88,166	98,666	0
19	S	Yes	3	98,666	101,666	98,666	101,666	0
20	T	Yes	15,833	101,666	117,499	101,666	117,499	0
21	U	no	5	45,999	50,999	112,499	117,499	66,5
22	V	Yes	3,167	117,499	120,666	117,499	120,666	0
	Project	Completion	Time	=	120,67	days		
	Total	Cost of	Project	=	\$22.280	(Cost on	CP =	\$18.024)
	Number of	Critical	Path(s)	=	1			

Hızlandırma sonucu zaman ve maliyet ilişkisine bakılarak, hızlandırma istenip, istemeyeceğine karar verebilir.

### İHA Yapım Sürecinde Hedef Programlama Kullanımı

Hedef programlamada; bir hedefin üzerinde gerçekleşmesi olan pozitif ( $d^+$ ) sapma ile hedefin altında kalınması olan negatif ( $d^-$ ) sapma değerleri toplamının en küçüklenmesi, tek amaç olarak belirlenir. Temelde hedef programlama ile amaçlanan, modelin hedeflerini doğrulayacak bir çözüm bulmaktır. Başka bir deyişle, hedef programlama ile en iyi çözüm bulunur. Bu nedenle de hedef programla ile bulunan çözümler optimum çözüm olmayabilir (Taha, 2000, s. 313). Hedef programlama modelinin en genel



gösterimi aşağıdaki şekilde verilebilir (Render, ve Stair 1987'den aktaran Doğan, Doğan ve Akcan, 2000, s, 236)

Hedef programlama modeli:

$$\text{Min } Z = [p_1 h_1 (d_1^-, d_1^+), p_2 h_2 (d_2^-, d_2^+), \dots, p_k h_k (d_k^-, d_k^+)]$$

Kısıtlayıcılar

$$f_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, q$$

$$g_j(x) + d_j^- - d_j^+ = b_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$d_i^-, d_i^+, d_j^-, d_j^+ \geq 0$$

Bu modelde

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  : Karar değişkenlerini,

$p_i$ : i. hedef için karar verici tarafından belirlenmiş önceliği,

$h_i (d_i^-, d_i^+)$  : i. hedef için doğrusal erişim fonksiyonunu,

$d_i^-$ : i. hedeften negatif sapma değerini,

$d_i^+$ : i. hedeften pozitif sapma değerini,

$d_j^-$ : j. kaynaktan negatif sapma değerini,

$d_j^+$  : j. kaynaktan pozitif sapma değerini,

k: Hedef sayısını,

$f_i$ : i. amaç fonksiyonunu,

$b_i$ : i. amaç fonksiyonu için karar verici tarafından belirlenmiş hedefi,

$g_j$ : j. kaynak kısıtını,

$b_j$ : j. kısıtın sağ taraf değerini,

Araştırmanın bu bölümünde, mini İHA yapım sürecinin Hedef Programlama tekniği ile de yönetilebileceği incelenecektir. Bunun için Hedef Programlama modelinde kullanılmak üzere aşağıda belirtilen iki amaç belirlenmiştir.





**Birinci Amaç:** Projenin toplam tamamlanma süresinin PERT ile hesaplanan süreyi (normal süreler için 137,67 günü, hızlandırılmış süreler için 120,67 günü) geçmemesi.

**İkinci Amaç:** Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin süreleri içinde tamamlanması.

Hedef programlamada karar değişkeni olarak  $X_i$  gösterimi kullanılmaktadır.

$X_i$  : i. Faaliyetin süresi

Bu nedenle de A, B, C, D,.....,V harfleriyle gösterilen faaliyetler hedef programı çözümünde  $X_i$  ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{24}$ ) şeklinde gösterilecektir.

### **i. Normal faaliyet süreleri kullanılarak çözüm**

**Birinci Amaç:** Projenin toplam tamamlanma süresinin PERT ile hesaplanan süre olan 137,67 günü geçmemesine yönelik kısıt:

$$X_1 + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{22} \leq 137,67$$

**İkinci Amaç:** Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin (A-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-V) süreleri içinde tamamlanmasına yönelik kısıtlar:

$$X_1 = 4,333$$

$$X_{12} = 30,000$$

$$X_{13} = 30,000$$

$$X_{14} = 8,000$$

$$X_{15} = 8,000$$

$$X_{16} = 7,500$$

$$X_{17} = 12,333$$

$$X_{18} = 13,500$$

$$X_{19} = 3,000$$

$$X_{20} = 17,833$$

$$X_{22} = 3,167$$



Amaçların matematiksel gösterimi tamamlandıktan sonra projenin hedef programlama modelinin oluşturulabilmesi için amaç fonksiyonlarına aşağıda gösterildiği şekilde sapma değerleri eklenip birer kısıt haline getirilmiştir. Hedef değerinin aşılması durumu (pozitif sapma)  $d^+$  şeklinde, hedef değerinin altında olması durumu ise (negatif sapma)  $d^-$  şeklinde gösterilmiştir. Amaç değerleri birer kısıt olarak değerlendirilerek modele eklenmiş ve hedef programlama modeli aşağıdaki gibi kurulmuştur.

Modelde yer alan kritik faaliyetler eşitlik, projenin tamamlanma süresini gösteren birinci kısıt küçük eşit ( $\leq$ ), diğer kısıtlar ise büyük eşit ( $\geq$ ) şeklinde gösterilmiştir. Bu kısıtlara ait pozitif ve negatif sapma değerleri, hedef programlama modeline negatif ve pozitif sapma değerlerinin en küçüklenmesi için dâhil edilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = d_1^+ + d_2^+ + d_2^- + d_3^+ + d_3^- + d_4^+ + d_4^- + d_5^+ + d_5^- + d_6^+ + d_6^- + d_7^+ + d_7^- + d_8^+ + d_8^- + d_9^+ + d_9^- + d_{10}^+ + d_{10}^- + d_{11}^+ + d_{11}^- + d_{12}^+ + d_{12}^-$$

Hedeflere Yönelik Kısıtlar:

1.  $X_1 + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{22} - d_1^+ + d_1^- \leq 137,67$
2.  $X_1 - d_2^+ + d_2^- = 4,333$  (Kritik Faaliyet)
3.  $X_{12} - d_3^+ + d_3^- = 30,000$  (Kritik Faaliyet)
4.  $X_{13} - d_4^+ + d_4^- = 30,000$  (Kritik Faaliyet)
5.  $X_{14} - d_5^+ + d_5^- = 8,000$  (Kritik Faaliyet)
6.  $X_{15} - d_6^+ + d_6^- = 8,000$  (Kritik Faaliyet)
7.  $X_{16} - d_7^+ + d_7^- = 7,500$  (Kritik Faaliyet)
8.  $X_{17} - d_8^+ + d_8^- = 12,333$  (Kritik Faaliyet)
9.  $X_{18} - d_9^+ + d_9^- = 13,500$  (Kritik Faaliyet)
10.  $X_{19} - d_{10}^+ + d_{10}^- = 3,000$  (Kritik Faaliyet)
11.  $X_{20} - d_{11}^+ + d_{11}^- = 17,833$  (Kritik Faaliyet)
12.  $X_{22} - d_{12}^+ + d_{12}^- = 3,167$  (Kritik Faaliyet)
13.  $X_2 \geq 2,000$  (Kritik Faaliyet Değil)
14.  $X_3 \geq 3,833$  (Kritik Faaliyet Değil)



- |     |                     |                         |
|-----|---------------------|-------------------------|
| 15. | $X_4 \geq 3,000$    | (Kritik Faaliyet Değil) |
| 16. | $X_5 \geq 2,000$    | (Kritik Faaliyet Değil) |
| 17. | $X_6 \geq 4,000$    | (Kritik Faaliyet Değil) |
| 18. | $X_7 \geq 31,833$   | (Kritik Faaliyet Değil) |
| 19. | $X_8 \geq 4,000$    | (Kritik Faaliyet Değil) |
| 20. | $X_9 \geq 2,000$    | (Kritik Faaliyet Değil) |
| 21. | $X_{10} \geq 3,833$ | (Kritik Faaliyet Değil) |
| 22. | $X_{11} \geq 2,833$ | (Kritik Faaliyet Değil) |
| 23. | $X_{21} \geq 5,000$ | (Kritik Faaliyet Değil) |
| 24. | $X_{23} \geq 0$     | (Kukla Faaliyet)        |
| 25. | $X_{24} \geq 0$     | (Kukla Faaliyet)        |

$$X_i \geq 0, i=1,2,3,\dots,25 \quad d_j^+, d_j^- \geq 0, j=1,2,3,\dots,12$$

Görüleceği üzere problemin çözümünde hedeflere herhangi bir ağırlık ve öncelik verilmemiştir. Problem için hedef programlama türlerinden biri olan “Eşit ağırlıklı çok hedefli programlama” modeli oluşturulmuştur. Modelin çözümünde WINQSB paket programı kullanılmıştır. 26 iterasyonda ulaşılan çözüm sonucu Tablo 7’de görülmektedir.

**Tablo 7:** Hedef programlama modelinin WINQSB ile çözümü çıktısı örneği

14:07:25		Wednesday			Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS	ShadowPrice Goal 1
	Goal Level	Decision Variable	Solution Value									
				1	C1	137,67	=	137,67	0	137,67	M	0
1	G1	X1	4,33	2	C2	4,33	=	4,33	0	0	4,34	0
2	G1	X2	2,00	3	C3	30,00	=	30,00	0	0	30,00	0
3	G1	X3	3,83	4	C4	30,00	=	30,00	0	0	30,00	0
4	G1	X4	3,00	5	C5	8,00	=	8,00	0	0	8,00	0
5	G1	X5	2,00	6	C6	8,00	=	8,00	0	0	8,00	0
6	G1	X6	4,00	7	C7	7,50	=	7,50	0	0	7,50	0
7	G1	X7	31,83	8	C8	12,33	=	12,33	0	0	12,34	0
8	G1	X8	4,00	9	C9	13,50	=	13,50	0	0	13,50	0
9	G1	X9	2,00	10	C10	3,00	=	3,00	0	0	3,00	0
10	G1	X10	3,83	11	C11	17,83	=	17,83	0	0	17,84	0
11	G1	X11	2,83	12	C12	3,17	=	3,17	0	0	3,17	0
12	G1	X12	30,00	13	C13	2,00	>=	2,00	0	0	M	0
13	G1	X13	30,00	14	C14	3,83	>=	3,83	0	0	M	0
14	G1	X14	8,00	15	C15	3,00	>=	3,00	0	0	M	0
15	G1	X15	8,00	16	C16	2,00	>=	2,00	0	0	M	0
16	G1	X16	7,50	17	C17	4,00	>=	4,00	0	0	M	0
17	G1	X17	12,33	18	C18	31,83	>=	31,83	0	0	M	0
18	G1	X18	13,50	19	C19	4,00	>=	4,00	0	0	M	0
19	G1	X19	3,00	20	C20	2,00	>=	2,00	0	0	M	0
20	G1	X20	17,83	21	C21	3,83	>=	3,83	0	0	M	0
21	G1	X21	5,00	22	C22	2,83	>=	2,83	0	0	M	0
22	G1	X22	3,17	23	C23	5,00	>=	5,00	0	0	M	0
23	G1	X23	0,00									

Yapılan analiz sonucu karar değişkenleri için hesaplanan değerler ve sonuçlar Tablo 7'nin ilk üç sütununda, kısıt değerlerine ilişkin sonuçlar ise diğer sütunlarda gösterilmiştir. Sonuç tablosundan da görüleceği gibi PERT tekniği ile 137,67 gün olarak hesaplanan proje tamamlama süresine, hedef programlama tekniği (C1- Hedefi) ile de ulaşılmıştır.

WINQSB programı ile ulaşılan diğer sonuçlara; kritik yoldaki faaliyetlerin toplam tamamlanma süresi, yani projenin tamamlanma süresinin daha önce PERT tekniği ile hesaplanmış olan 137,37 günü aşmaması hedefi ile her bir kritik faaliyetin belirlenen sürede tamamlanması şeklinde belirlenen hedef kısıtları hedef programlama yöntemi ile de sağlanmıştır. Bunun yanı sıra pozitif veya negatif sapmanın en küçüklenmesi olarak oluşturulan amaç fonksiyonu, yani hedeften sapma değeri de Min. Z=0 (sıfır) olarak hesaplanmıştır.

### Hızlandırılmış faaliyet süreleri kullanılarak çözüm

Ek olarak hızlandırılmış süreler kullanılarak hedef programlama ile çözüm yapılmıştır. Buna göre PERT ile hesaplanan hızlandırılmış proje tamamlanma süresi 120,67 gün ve hızlandırılmış faaliyet süreleri hedef olarak alınacaktır.

**Birinci Amaç:** Projenin toplam tamamlanma süresinin hızlandırılmış süre olan 120,67 günü geçmemesine yönelik kısıt:

$$X_1 + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{22} \leq 120,67$$

**İkinci Amaç:** Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin (A-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-V) ve bu kritik faaliyetlerden hızlandırma yapılacak olanların (L, M, N, Q, R ve T) hızlandırılmış süreleri içinde tamamlanmasına yönelik kısıtlar:

$$X_1 = 4,333$$

$$X_{12} = 25,000 \text{ (L faaliyeti 5 gün hızlandırılacak)}$$

$$X_{13} = 27,000 \text{ (M faaliyeti 3 gün hızlandırılacak)}$$

$$X_{14} = 6,000 \text{ (N faaliyeti 2 gün hızlandırılacak)}$$

$$X_{15} = 8,000$$

$$X_{16} = 7,500$$

$$X_{17} = 10,333 \text{ (Q faaliyeti 2 gün hızlandırılacak)}$$

$$X_{18} = 10,500 \text{ (R faaliyeti 3 gün hızlandırılacak)}$$

$$X_{19} = 3,000$$

$$X_{20} = 15,833 \text{ (T faaliyeti 2 gün hızlandırılacak)}$$

$$X_{22} = 3,167$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = d_1^+ + d_2^+ + d_2^- + d_3^+ + d_3^- + d_4^+ + d_4^- + d_5^+ + d_5^- + d_6^+ + d_6^- + d_7^+ + d_7^- + d_8^+ + d_8^- + d_9^+ + d_9^- + d_{10}^+ + d_{10}^- + d_{11}^+ + d_{11}^- + d_{12}^+ + d_{12}^-$$

Hedeflere Yönelik Kısıtlar:

$$1. \quad X_1 + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{22} - d_1^+ + d_1^- \leq 137,67$$



2.  $X_1 - d_2^+ + d_2^- = 4,333$  (Kritik Faaliyet)
  3.  $X_{12} - d_3^+ + d_3^- = 25,000$  (Hızlandırılacak Kritik Faaliyet)
  4.  $X_{13} - d_4^+ + d_4^- = 27,000$  (Hızlandırılacak Kritik Faaliyet)
  5.  $X_{14} - d_5^+ + d_5^- = 6,000$  (Hızlandırılacak Kritik Faaliyet)
  6.  $X_{15} - d_6^+ + d_6^- = 8,000$  (Kritik Faaliyet)
  7.  $X_{16} - d_7^+ + d_7^- = 7,500$  (Kritik Faaliyet)
  8.  $X_{17} - d_8^+ + d_8^- = 10,333$  (Hızlandırılacak Kritik Faaliyet)
  9.  $X_{18} - d_9^+ + d_9^- = 10,500$  (Hızlandırılacak Kritik Faaliyet)
  10.  $X_{19} - d_{10}^+ + d_{10}^- = 3,000$  (Kritik Faaliyet)
  11.  $X_{20} - d_{11}^+ + d_{11}^- = 15,833$  (Hızlandırılacak Kritik Faaliyet)
  12.  $X_{22} - d_{12}^+ + d_{12}^- = 3,167$  (Kritik Faaliyet)
  13.  $X_2 \geq 2,000$  (Kritik Faaliyet Değil)
  14.  $X_3 \geq 3,833$  (Kritik Faaliyet Değil)
  15.  $X_4 \geq 3,000$  (Kritik Faaliyet Değil)
  16.  $X_5 \geq 2,000$  (Kritik Faaliyet Değil)
  17.  $X_6 \geq 4,000$  (Kritik Faaliyet Değil)
  18.  $X_7 \geq 31,833$  (Kritik Faaliyet Değil)
  19.  $X_8 \geq 4,000$  (Kritik Faaliyet Değil)
  20.  $X_9 \geq 2,000$  (Kritik Faaliyet Değil)
  21.  $X_{10} \geq 3,833$  (Kritik Faaliyet Değil)
  22.  $X_{11} \geq 2,833$  (Kritik Faaliyet Değil)
  23.  $X_{21} \geq 5,000$  (Kritik Faaliyet Değil)
  24.  $X_{23} \geq 0$  (Kukla Faaliyet)
  25.  $X_{24} \geq 0$  (Kukla Faaliyet)
- $X_i \geq 0, i=1,2,3,\dots,24$   $d_j^+, d_j^- \geq 0, j=1,2,3,\dots,12$

Modelin, hızlandırılmış sürelerle çözümünde WINQSB paket programı kullanılmıştır. 24 iterasyonda ulaşılan çözüm sonucu Tablo 8’de görülmektedir.

**Tablo 8:** Hedef programlama modelinin hızlandırma sonucu WINQSB ile çözümü çıktısı örneği

15:05:53		Wednesday		01-15-2020		Left Hand		Right Hand	Slack	Shadow Price
Goal Level	Decision Variable	Solution Value	15:08:52	Constraint	Side	Direction	Side	or Surplus	Goal 1	
			1	C1	120,67	=	120,67	0	0	
			2	C2	4,33	=	4,33	0	0	
1	G1	X1	4,33							
2	G1	X2	2,00							
3	G1	X3	3,83							
4	G1	X4	3,00							
5	G1	X5	2,00							
6	G1	X6	4,00							
7	G1	X7	31,83							
8	G1	X8	4,00							
9	G1	X9	2,00							
10	G1	X10	3,83							
11	G1	X11	2,83							
12	G1	X12	25,00							
13	G1	X13	27,00							
14	G1	X14	6,00							
15	G1	X15	8,00							
16	G1	X16	7,50							
17	G1	X17	10,33							
18	G1	X18	10,50							
19	G1	X19	3,00							
20	G1	X20	15,83							
21	G1	X21	5,00							
22	G1	X22	3,17							
23	G1	X23	0,00							
			13	C13	2,00	>=	2,00	0	0	
			14	C14	3,83	>=	3,83	0	0	
			15	C15	3,00	>=	3,00	0	0	
			16	C16	2,00	>=	2,00	0	0	
			17	C17	4,00	>=	4,00	0	0	
			18	C18	31,83	>=	31,83	0	0	
			19	C19	4,00	>=	4,00	0	0	
			20	C20	2,00	>=	2,00	0	0	
			21	C21	3,83	>=	3,83	0	0	
			22	C22	2,83	>=	2,83	0	0	
			23	C23	5,00	>=	5,00	0	0	

Hızlandırılmış sürelerle göre yapılan analiz sonucu karar değişkenleri için hesaplanan değerler Tablo 8’nin ilk üç sütununda, kısıt değerlerine ilişkin sonuçlar ise diğer sütunlarda gösterilmiştir. Sonuç tablosundan da görüleceği gibi PERT tekniği ile 120,67 gün olarak hesaplanan proje tamamlama süresine, hedef programlama tekniği (C1- Hedefi) ile de ulaşılmıştır. Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin (A-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-V) ve bu kritik faaliyetlerden hızlandırma yapılacak olanların (L, M, N, Q, R ve T) hızlandırılmış süreleri içinde tamamlanmasına yönelik ikinci hedef de sağlanmıştır.

WINQSB programı ile ulaşılan diğer sonuçlara; kritik yoldaki faaliyetlerin toplam tamamlanma süresi, yani projenin tamamlanma süresinin daha önce PERT tekniği ile hesaplanmış olan 120,37 günü aşmaması hedefi ile her bir kritik faaliyetin belirlenen sürede tamamlanması şeklinde belirlenen hedef kısıtları hedef programlama yöntemi ile de sağlanmıştır. Bunun yanı sıra pozitif veya negatif sapmanın en



küçüklenmesi olarak oluşturulan amaç fonksiyonu, yani hedeften sapma değeri de  $Min. Z=0$  (sıfır) olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçla; PERT tekniği ile belirlenen hızlandırılmış proje süresinin aşılması ve kritik faaliyetlerin süreleri içerisinde tamamlanması hedeflerinin her ikisinin de gerçekleştiğini göstermektedir.

## SONUÇ

Günümüzde büyük ölçekli projelerin planlanması, programlanması ve kontrolü proje başarısı için önemli ve gerekli hale gelmiştir. Projelerin karmaşık olması, gerekli işlemleri, programı ve kaynakların atanmasını da kapsayan uyumlu ve eşgüdümlü bir planı gerektirir. Bu amaçla proje için yapılması gerekli olan faaliyetlerin süresini, başlangıcını, bitişini, sırasını, birbiriyle olan mantıksal ilişkisini kolaylıkla gösterebilen şebeke analiz teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerden en yaygın olarak kullanılanları ise CPM ve PERT teknikleridir. Bunun birlikte çoklu ve birbirleriyle çelişen hedeflerin (zaman, maliyet vb.) olduğu durumlarda en uygun çözüm için kullanılan tekniklerden biri de hedef programlama tekniğidir.

Bu araştırmada son zamanlarda ülkemizde ve dünyada askeri ve sivil alanda kullanımı ve önemi hızla artan insansız hava araçları (İHA) uygulama alanı olarak seçilmiştir. Bu yönüyle bugüne kadar yapılmış olan çalışmalardan ayrılmaktadır.

Araştırmada ilk olarak 22 faaliyetten oluşan bir mini insansız hava aracı (İHA) yapım süreci PERT tekniği ile planlanarak normal sürelerle zaman ve maliyet analizi yapılmış, sonrasında projeye hızlandırma işlemi yapılmıştır. Normal ve hızlandırılmış sürelerle yapılan PERT analizi sonucunda projenin; toplam tamamlanma süresi, kritik faaliyetleri, kritik yolu, faaliyetlerin standart sapması, projenin varyansı ile maliyeti hesaplanmıştır. Sonrasında, projenin hedef programlama tekniği ile yönetilebilirliği göstermek için hedef programlama tekniği kullanılmıştır. PERT tekniği ve hedef programlama tekniği ile bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında aynı değerlere ulaşıldığı görülmüştür.

Normal Sürelerle Yapılan PERT Analizi Aşaması: PERT tekniğinde sırasıyla, yapım sürecinde gerçekleştirilecek faaliyetler ve bu faaliyetlerin öncelik ilişkileri belirlenmiş, proje ekibinden alınan bilgilerle her bir faaliyet için en iyimser, en kötümser ve en yüksek olasılıklı süre tahminleri yapılmış, bu üç süreden yola çıkarak her bir faaliyetin ortalama süreleri hesaplanmıştır. Sonrasında ise faaliyetler, faaliyetlerin öncelik ilişkileri, faaliyetlerin en iyimser, en yüksek olasılıklı ve en kötümser sürelerinden oluşan veriler WINQSB programına girilerek analiz yapılmıştır. Buna göre, WINQSB programı ile normal faaliyet süreleri kullanılarak yapılan analiz sonucunda projenin tamamlanma süresi 137,67 gün, standart



sapması ise 5,59 olarak hesaplanmış ve kritik yol A-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-V faaliyetleri olarak belirlenmiştir. Projenin normal maliyeti ise 20.320 \$ olarak hesaplanmıştır.

Hızlandırılmış Sürelerle Yapılan PERT Analizi Aşaması: Projede 8 adet (G, H, L, M, N, Q, R ve T) hızlandırma işlemi yapılacak faaliyet belirlenmiştir. Ancak bu faaliyetlerden 2 tanesi (G ve H) kritik yol üzerinde olmadığından kritik yol üzerinde bulunan 6 adet faaliyete hızlandırma işlemi yapılmıştır. Hızlandırma işleminde üç tahmini süre (en iyimser, en yüksek olasılıklı, en kötümser) yerine faaliyetlerin ortalama süreleri ( $\bar{x}$ ) kullanılmıştır. L, M, N, Q, R ve T faaliyetlerine sırasıyla maksimum 5, 3, 2, 2, 3 ve 2 gün hızlandırma işlemi yapılabileceği belirlenmiştir. Birim hızlandırma maliyeti en düşükten en yükseğe doğru sırasıyla R, Q, N, M, L ve T (60 \$, 90 \$, 110 \$, 120 \$, 140 \$, 160 \$) olacak şekilde yapılan hızlandırma işlemi sonucunda A-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-V faaliyetlerinden oluşan kritik yol değişmemiş, proje süresi 17 gün kısaltılarak 137,67 günden 120,67 güne indirilmiş, ancak proje maliyeti 1.960 \$ artış ile 22.280 \$'a yükselmiştir. Böylece hızlandırma işlemi için, bolluk süresine sahip olan faaliyetlerinden, bolluk süresi sıfır olan yani kritik faaliyetlere, işgücü ve kaynak aktarımı yapılabileceği görülmüştür.

Hedef Programlama Tekniği ile Yapılan Analiz Aşaması: PERT tekniğinde kullanılan veriler kullanılarak problem hedef programlama tekniği ile tekrar çözülmüştür. Bunun için;

- Birinci Amaç: Projenin toplam tamamlanma süresinin PERT tekniğinde bulunan süreyi (Normal süre: 137,67 gün, hızlandırılmış süre: 120,67 gün) geçmemesi,
- İkinci Amaç: Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin süreleri içinde tamamlanması,

şeklinde iki amaç belirlenerek, bu amaçlara yönelik hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Modelde yer alan değişkenler ve kısıtlar WINQSB programına girilerek çözüm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hedef programlama için belirlenen her iki hedefe de sıfır (0) sapma ile ulaşıldığı, normal ve hızlandırma süreleriyle yapılan analiz sonucunda, PERT ve hedef programlama teknikleri ile bulunan sonuçların örtüştüğü, dolayısıyla projenin hedef programlama tekniği ile de yönetilebileceği görülmüştür.

#### **YAZAR BEYANI / AUTHOR STATEMENT**

Araştırmacı(lar) makaleye ortak olarak katkıda bulunduğunu bildirmiştir. Araştırmacı(lar) herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

#### **KAYNAKÇA**



- Albayrak, B. (2016). *Proje yönetimi, analizi ve danışmanlık*. Ankara: Nobel Yayınevi.
- Atlas, M. (2003). Bilimsel bir araştırmanın adımları. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 25-41.
- Atlas, M., & Keçek, G. (2000). Hedef programlama ve bir seramik işletmesinde uygulama denemesi. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1), 81-104.
- Bakışkan, E. (2019). *CPM-PERT proje yönetim tekniklerinin Karadeniz tipi balıkçı gemileri inşa sürecine uygulanması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Barutçugil, İ. (2008). *Proje yönetimi*. (1. Baskı). İstanbul: Kariyer Yayıncılık.
- Burke, R. (2003). *Project management planning and control techniques*. New York: John Wiley and Sons Ltd.
- Cinemre, N. (2011). *Yöneylem araştırması*. (2. Baskı). İstanbul: Evrim Yayınevi.
- Çetin, H. (2008). *PERT modellerinin hedef programlama ile hızlandırılması ve inşaat sektörüne bir uygulama* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Davis, E. W. (1983). *Project management: techniques, applications and managerial issues*. Georgia: *Industrial Engineering & Management Press*.
- Doğan, İ., Doğan, N. & Akcan, A. (2000). Rasyonel ve ekonomik hayvan beslemede hedef programlamadan yararlanma. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 24, 233-238.
- Duran, C. (2007). *CPM - PERT modeller ve uygulaması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Halaç, O. (1992). *Kantitatif karar verme teknikleri*. İstanbul: İ.Ü. Yayınları.
- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction to operations research*. (7. Baskı). New York: McGraw-Hill.
- Karadeniz, C. Ö. (2007). *PERT-CPM ile proje planlama, değerlendirme ve bir işletme uygulaması*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Karahan, M. ve Ezin Y. (2014). PERT-CPM tekniğiyle bir inşaatın yapım süresi ve maliyetlerinin optimizasyonu. *Bartın Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi* 5(10), 73-89.
- Kerzner, H. (2009). *Project management a system approach to planning, scheduling and controlling*. (10. Baskı). New Jersey: John Wiley.
- Kocabıyık, E. (2010). *Gemi inşaat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede PERT ve bulanık PERT uygulaması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.



- Mazlum, M. & Güneri, A. F. (2015). CPM, PERT and project management with fuzzy logic technique and implementation on a business. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 210, 348-357.
- Öztürk, A. (2016). *Yöneylem araştırması* (16. Baskı). Bursa: Ekin Yayınevi.
- Öztürk, V. V. (2019). *PERT tabanlı proje planlamasında hedef programlama: Sağlık sektöründe bir uygulama* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Roy, R. N. (2005). *Modern approach to operations management*. New Delhi: New Age International Ltd.
- Sarıca, İ. (2006). *CPM ve PERT teknikleriyle proje planlama ve bir işletmede uygulanması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Sharma, A. (2008). *Operations research*. New Delhi: Global Media
- Taha, H. A. (2000). *Yöneylem araştırması* (6. Baskı) (Çev: Ş.A. Baray ve Ş. Esnaf). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Taylor, B. W. (2007). *Introduction to management science*. (9. Baskı). New Jersey: Pearson Education
- Temiz, N. ve Dursun, E. (2016). PERT tekniğinin liman deniz hizmetleri otomasyonu projesine uygulanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 8(1), 1-30.
- Vatansever, R. (2008). *Proje planlamasında bulanık hedef programlama yaklaşımı* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Yalkı, İ. (2009). *Proje yönetimi ve CPM-PERT teknikleri üzerine bir uygulama* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Sosyal Bilimler Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Yıldız, A. (2015). *Farklı coğrafi bölgelerde petrol kuyusu açma maliyetlerinin PERT-CPM proje planlama teknikleri ile karşılaştırmalı analizi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.