
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

BİR SAVUNMA SANAYİ ŞİRKETİNDE PROJE YÖNETİM TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

Mahide Begüm ÇİÇEK ASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mahide Begüm ÇİÇEK ASLAN

07/11/2023

BİR SAVUNMA SANAYİ ŞİRKETİNDE PROJE YÖNETİM TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Mahide Begüm ÇİÇEK ASLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2023

ÖZET

Savunma Sanayi projeleri, ülkelerin savunması ile ilgili olduğundan oldukça önemlidir. Projelerin amaçlarına ve hedeflediği noktaya ulaşabilmesi için, projelerin etkin bir şekilde planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir. Savunma sanayi sektöründe proje yönetiminin önceliği, müşteri beklentilerini ve hedeflerini karşılayarak gelişmiş askeri sistem ve teknolojilerin zamanında ve verimli şekilde teslim edilmesini sağlamaktır. Bu çalışmada Savunma Sanayinde hizmet veren TUSAŞ firmasının karmaşık bir yapıya sahip olan savunma sanayi projesinin belli bir tarih aralığında ve belirlenen pilot faaliyetleri için karar vericilerin istekleri doğrultusunda proje yönetim tekniklerinden ve hedef programlamadan yararlanılarak iyileştirilme çalışmaları yapılmıştır.

Bilim Kodu : 90610
Anahtar Kelimeler : Proje, proje yönetimi, PERT, Gantt şeması, hedef programlama
Sayfa Adedi : 74
Danışman : Prof. Dr. Cevriye GENCER

APPLICATION OF PROJECT MANAGEMENT TECHNIQUES IN A DEFENSE INDUSTRY COMPANY

(M. Sc. Thesis)

Mahide Begüm ÇİÇEK ASLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2023

ABSTRACT

Defense Industry projects are very important as they are related to the defense of countries. In order for the projects to reach their goals and the targeted point, the projects must be managed and planned effectively. The priority of project management in the defense industry sector is to ensure timely and efficient delivery of advanced military systems and technologies by meeting customer expectations and targets. In this study, improvement efforts were made for a defence industry project project, which has a complex structure of the TAI company serving in the Defense Industry, within a certain date range and in line with the requests of the decision makers for the determined pilot activities, by using project management techniques and target programming.

Science Code : 90610
Key Words : Project, project management, PERT, Gannt chart, goal programming
Page Number : 74
Supervisor : Prof. Dr. Cevriye GENCER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca sonsuz sabır göstererek değerli zamanını bana ayıran, daima yol gösteren, elini hep üzerimde hissettiğim hocadan da öte aile sıcaklığını gördüğüm kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cevriye GENCER' e minnetlerimi sunarım. Hayatımın her aşamasında her koşulda beni destekleyen, bana vizyon katan, maddi manevi desteklerini benden asla esirgemeyen, her anımda yanımda olan bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi annem Ayşegül ÇİÇEK, babam Durmuş ÇİÇEK ve yol gösteren meslektaşım ablam İremnur ÇİÇEK' e anlayışları için teşekkürü borç bilirim. Ve son olarak çalışmam boyunca ben vazgeçtiğim anlarda bile beni daima motive eden, beni destekleyen ve yüreklendiren sevgili eşim, hayat arkadaşım, Dr. Caner ASLAN' a bütün desteği ve varlığı için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ viii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix

SİMGELER VE KISALTMALAR x

1. GİRİŞ 1

2. PROJE YÖNETİMİ VE HEDEF PROGRAMLAMA 3

2.1. Proje Yönetiminin Tanımı 3

2.2. Proje Yönetiminin tarihçesi 4

2.3. Savunma Sanayinde Proje Yönetimi 5

2.4. Proje Yönetimi Teknikleri 6

2.4.1. Gantt şeması 6

2.4.2. Kritik yol metodu (CPM) 7

2.4.3. Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (PERT) 8

2.5. Zaman Maliyet Analizi 10

2.6. Hedef Programlama 13

3. UYGULAMA 17

3.1. Problemin Tanımı 17

3.2. Projedeki Faaliyetler ve Kritik Yol Hesaplamaları 18

3.3. Zaman ve Maliyet Analizi 25

3.4. Hedef Programlama 39

4. SONUÇ VE ÖNERİLER 45

KAYNAKLAR 47

EKLER 49

ÖZGEÇMİŞ 73

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Faaliyet verileri..... 18

Çizelge 3.2. Faaliyetler, zamanlar ve standart sapma..... 21

Çizelge 3.3. Faaliyet erken tamamlanma zamanı, geç tamamlanma zamanı..... 24

Çizelge 3.4. Faaliyetlerin normal ve hızlandırılmış zaman, maliyet ve eğimleri..... 26

Çizelge 3.5. Hızlanan faaliyetler ve hızlanma süreleri..... 28

Çizelge 3.6. Hızlandırılmış faaliyetlerde kaynak miktarları..... 30

Çizelge 3.7. Personel aşımı..... 31

.

Çizelge 3.8. Belirlenen yeni zaman- maliyet ve eğimler..... 32

Çizelge 3.9. Hızlanan faaliyetler ve hızlanma süreleri..... 33

Çizelge 3.10. Hızlandırılmış faaliyetlerde kaynak miktarları..... 36

Çizelge 3.11. Hedef programlama modeli çözümüne göre
hızlanan faaliyetler, maliyetleri ve kaynaklar..... 40

Çizelge 3.12. Personel aşımı..... 43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Zaman maliyet eğrisi..... 11

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
CPM	Kritik Yol Metodu
PERT	Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği
TAI	Turkish Aerospace Industry
TUSAŞ	Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı

1. GİRİŞ

Proje yönetimi, belirli proje amaç ve hedeflerinin başarıyla tamamlanmasını sağlamak için kaynakları planlama, organize etme ve yönetme disiplinidir. Proje yönetimi, savunma sanayi sektöründe askeri sistemlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, üretilmesi ve sunulması için esastır.

Proje yönetimi, genellikle son derece karmaşık ve teknik açıdan zorlu projeler üzerinde çalışan büyük, çok disiplinli ekipleri yönetme yeteneğini gerektirir. Maliyet, zaman ve performansın çelişen taleplerini uzlaştırma ihtiyacı, askeri sektördeki proje yönetiminde en önemli konulardan biridir. Bu; kapsamlı planlama, risk yönetimi ve değişen koşullara ve taleplere uyum sağlama kapasitesini gerektirir.

Savunma sanayi sektöründe, proje yönetimi, müşteri beklentilerini ve diğer organizasyonel hedefleri karşılayan askeri sistemlerin ve teknolojilerin zamanında ve etkili şekilde teslim edilmesini sağlamaktan birincil derecede sorumludur. Proje yönetiminde projenin en kısa tamamlanma zamanının hesaplanmasında CPM ve PERT yöntemleri kullanılmaktadır.

CPM ve PERT, bir projeyi tamamlamak için gerekli faaliyetleri ve bunların karşılıklı bağımlılıklarını incelemek ve görselleştirmek için kullanılan tekniklerdir. Görevlerin sırasını ve her işin beklenen süresini görüntüleyen bir şebeke çizmeyi gerektirir. Bir projenin kritik yolu veya faaliyetlerin tamamlanması gereken sıra, projenin zaman çizelgesini etkileyebilecek olası darboğazlar veya gecikmeler CPM ve PERT kullanılarak bulunabilir. Proje yöneticilerinin olası riskleri ve sorunları tanımalarını, faaliyetler arasındaki bağlantıları daha iyi anlamalarını ve bu riskleri azaltmak için yedekleme planları oluşturmalarını sağlar.

İki yöntem aynı amaca hizmet etmekle birlikte; aralarında farklılıklar bulunmaktadır ve aralarındaki en önemli farklılık faaliyetlerin sürelerinin tanımlanmasındadır. CPM yönteminde her faaliyetin süresi bir zaman birimi ile ifade edilirken; PERT yönteminde a-m-b (iyimser-muhtemel- kötümser) olmak üzere üç farklı birimde ifade edilir. CPM ve PERT, savunma sanayinde, birbirine bağlı çeşitli faaliyetler ve paydaşlarla büyük, karmaşık projeleri yönetmek için özellikle yararlı olabilir.

Hedefi en üst düzeye çıkarmayı veya en aza indirmeyi içeren sorunların aksine, hedef programlama, birden fazla ve çelişen hedeflerin hedef işlevine dahil edilmesine izin verir. Hedef programlamanın amacı, tüm kısıtlamaları karşılayan ve mümkün olduğunca çok hedefe ulaşan bir çözüm bulmaktır.

Bu çalışma Savunma Sanayi şirketlerinden biri olan TUSAŞ'ta gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, bir savunma sanayi projesinde, proje yönetimi üzerinde çalışılarak zaman, maliyet ve kaynak açısından iyileştirme sağlanabilmesini sağlamaktır. Proje yönetimi çalışması yapılırken faaliyetlerin sürelerinin kesin belli olmaması nedeni ile PERT yöntemi kullanılmıştır. Projeden belirli bir tarih aralığı içinde seçilen pilot faaliyetlerin gerçekleşme süreleri hesaplanmış, öncüllük ve ardıllık durumları belirlenmiş ve bu faaliyetlerle birlikte PERT metodolojisi kullanılmıştır.

Çalışmanın İkinci bölümünde proje yönetimi ve hedef programlama hakkında genel bilgiler; üçüncü bölümünde uygulama çalışması ve son bölümde sonuç yer almaktadır.

2. PROJE YÖNETİMİ VE HEDEF PROGRAMLAMA

Bu bölümde, proje yönetimi ve hedef programlamanın genel tanımından, proje yönetim tekniklerinden ve literatürde yer alan çalışmalara uygun olarak kullanım alanlarından bahsedilmiştir.

2.1. Proje Yönetiminin Tanımı

Proje yönetimi, projelerin hedeflerine ulaşarak tamamlanması için kaynakların planlanması, tedarik edilmesi ve yönetilmesidir. Projeler, belirli benzersiz hedeflere ulaşmak, faydalı değişiklikler getirmek veya değer katmak için kullanılır. Uygun teknolojinin kullanılması ve gerekli kaynakların tahsis edilmesinin yanı sıra, projelerin hedeflerine başarılı bir şekilde ulaşabilmeleri için etkin ve başarılı bir proje yönetimi gerekmektedir. Proje yönetimi uygulanırken, planlanan faaliyetlerin yönetim teknikleri kullanılır. Proje yaşam döngüsü 5 aşamadan oluşmakta olup aşamalar aşağıda açıklanmaktadır.

Tanım aşaması, projenin tanımlanması, finansman çalışmaları, projenin gerçekleştirilmesine ilişkin kararın verilmesi, proje grubunun oluşturulması gibi süreçleri kapsamaktadır. Ayrıca bu aşamada gereksinimler ve beklentiler ortaya konulmalıdır. Gereksinimler ideal hedef göz önünde bulundurularak belirlenmeli, beklentiler gerçekçilikten uzaklaşmayarak belirlenmelidir.

Planlama aşaması, projenin birkaç ana ve alt faaliyete bölünmesiyle başlamaktadır. Projeyi oluşturan faaliyetlerin ve aralarındaki ilişkilerin belirlenmesi, proje faaliyetlerinin süresi, kaynağı ve maliyetinin analiz edilmesi gerekmektedir. Planlama aşaması en önemli aşamadır. Çünkü projede yer alacak her bir faaliyetin süresinin hesaplanması, bu faaliyetin gerçekleştirilmesi için gerekli kaynakların belirlenmesi, faaliyetlerin gerçekleştirilmesinden sorumlu kişi, birim ve faaliyetlerin tamamlanacağı tarihlerin belirlenmesi gerekmektedir. Böylece proje planının bir modeli oluşturulur ve uygulamaya hazır hale getirilir.

Uygulama aşamasında proje, planlama aşamasında kararlaştırılan plana göre uygulanmaya başlanmaktadır. Proje faaliyetleri, sorumlu kişiler tarafından tahmini süre ve kaynaklar dahilinde yürütülmektedir.

İzleme ve kontrol aşaması, projenin ilerleyişi hakkında veri toplamayı, gerçek veriler ile planlanan verileri karşılaştırmayı, sapma durumunda sapmaları düzeltmek için gerekli aksiyonları almayı ve daha fazla sapmayı önlemek için önlemler almayı içermektedir.

Son aşama olan tamamlama aşaması, proje çıktıları üretildikten ve paydaşlar bunları doğrulayıp onayladıktan sonra gerçekleşir. Bu aşamada müşteriye proje ile ilgili gerekli tüm belgeler verilmiş ve tüm mali işlemler tamamlanmış olmalıdır. Sonuçlandırma aşamasındaki faaliyetler, ana hat planında belirtilmelidir.

2.2. Proje Yönetiminin tarihçesi

Proje yönetimi, Mısır piramitleri ve tarih öncesi erken zamanlarda yaratılan Çin Seddi gibi büyük projelerin inşaat dönemine kadar uzanmaktadır. Günümüzde kullanılan modern formda proje yönetiminin temelleri 20. yüzyıla kadar uzanmaktadır. Günümüzde kullanılan proje yönetimi teknikleri ile tarih öncesi çağlarda kullanılan proje yönetimi teknikleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu nedenle Manhattan Projesi, proje yönetiminin modern başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Bu proje, atom bombasının ABD askeri kuvvetleri tarafından geliştirildiği projedir.

İlk olarak, Frederick Taylor, 1900'lü yıllarda proje yönetimi tekniklerinin analiz edilebileceğini ve geliştirilebileceğini keşfetmiş ve proje yönetimine bilimsel bir yaklaşım getirmiştir. Taylor, iş süreçlerini analiz ederek daha verimli hale getirmiştir. Gantt şeması Henry Gantt tarafından 1917'de geliştirilmiştir.

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, kayıplar nedeniyle işgücü azalmıştır ve bu sayede ortaya çıkan işgücü açığı kaynaklı yeni proje yönetimi teknikleri oluşmuştur. 1957 ve 1958 yıllarında sırasıyla CPM ve PERT kullanılmaya başlanmış ve böylece proje yönetimleri daha basit ve anlaşılması daha kolay hale gelmiştir. 1970'lerde proje yönetimi bağımsız bir meslek olarak görülmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte mevcut teknikler geliştirilmiş ve yeni teknikler üretilmiştir. 1970'li yıllarda geliştirilen proje yönetimi teknikleri savunma sanayinde kullanılmaya başlanmıştır. 1986 yılında yayınlanan "Project Management Body of Knowledge (PMBOK)" kitabında proje yönetiminin bilgi alanları genişletilmiştir (Kömürlü & Toltar, 2018). Günümüzde teknoloji ile desteklenen proje yönetimi teknikleri birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3. Savunma Sanayinde Proje Yönetimi

Ülkelerin bulundukları coğrafyada ayakta kalabilmek için güçlü bir savunma sanayine ihtiyaçları vardır. Savunma sanayii, en ileri teknolojilerin kullanıldığı ve geliştirildiği alanlardandır. Savunma tedarik projeleri ile geliştirilen bu teknolojiler sadece ülke savunmasında değil, sivil alanlarda da kullanılmaktadır (Solmaz, 2004). Geniş tanımı ile savunma tedarik projesi, savunma ürünlerinin gereksinimlerin belirlenmesinden depo dışına çıkarılmasına kadar geçen yaşam döngüsü yönetim süreci olarak tanımlanabilir. Araştırma ve ürün geliştirme, üretim, satın alma, kullanım, işletme ve bakım bu sürecin bir parçasıdır. Savunma tedarik projeleri, çoğunlukla savunma sanayi tarafından uygulanan projeler olduğu için "savunma sanayi projeleri" olarak da adlandırılmaktadır (Korkmaz, 2022).

Savunma projeleri karmaşık projelerdir ve genellikle gelişen tehditlere karşı kullanıcının ihtiyaçlarına cevap vermek için yeni veya kanıtlanmamış teknolojiler kullanan, entegrasyon gerektiren, bağımsız, etkileşimli unsurlardan oluşan ve dinamik bir insan kaynakları ortamından oluşan iki veya daha fazla paydaşı içermektedir (Meier, 2013: 24). Kamu kaynaklarının yoğun kullanımı ve yüksek riskli yatırımlar, savunma tedarik projelerini özel kılmaktadır. Savunma projeleri çoğunlukla özel olarak geliştirilmiş ürünlerden temin edilmektedir. Sınırlı sayıda üreticinin, yani savunma sanayi firmalarının serbest piyasa koşullarından ziyade alternatifler sunabildiği projelerdir. Bu nedenle maliyet, performans ve süreç kriterlerinin diğer projelere göre daha ön plana çıktığı ve çoğu zaman daha riskli olduğu projelerdir. Bu projelerin karmaşık ve maliyetli projeler olması, savunma tedarik projelerinin etkin bir şekilde yürütülmesi gerekliliğini beraberinde getirmektedir (Korkmaz, 2022 & Roulston, 2004: 1329). Tedarik projelerinin belirlenen performans kriterlerine zamanında ve hedeflenen maliyet sınırları içinde ulaşabilmesi için etkin ve başarılı bir proje yönetimi yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır (Topcu, 2021). Projelerde başarı, teknik yardım ve danışmanlık ekipleri tarafından desteklenen, proje koşullarının gerektirdiği niteliklere sahip, verimli, etkin ve profesyonel personelden oluşan, iyi tanımlanmış bir proje ve proje yönetim sistemi ile sağlanmaktadır (Solmaz, 2004).

2.4. Proje Yönetimi Teknikleri

Günümüz yönetim anlayışı; projelerin son teslim tarihlerini, verileri ve karmaşıklıkları iyi yönetebilmek ve şirketlerin rekabet gücünü artırabilmek için yeni yönetim teknikleri aramaktadırlar (Kızıl, 2020). Proje yönetiminde yaygın olarak kullanılan teknikler aşağıdadır:

1. Gantt şeması
2. Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği-PERT
3. Kritik Yol Yöntemi-CPM
4. Denge çizgisi
5. Grafik Değerlendirme ve İnceleme Tekniği-GERT

Bu çalışmada CPM, PERT ve Gantt Şeması tekniklerinden bahsedilmiştir.

2.4.1. Gantt şeması

Bir işin mümkün olan en kısa zamanda bitirilmesi işletme yöneticilerini çok eskiden beri ilgilendiren bir konudur. 1910 yılında Amerikalı Henry Laurence Gantt, bir projede yer alan bütün işlemler arasındaki ilişkileri araştırmış ve bugün yaygın biçimde uygulanan proje izleme ve değerlendirme yöntemlerinin temelini oluşturan "Gantt Şeması" (grafikleri, çizelgeleri) nı geliştirmiştir.

Gantt Şemaları, projede yer alan faaliyetler sayı itibariyle az olan küçük boyutlu projeleri tanımlamak, izlemek ve projeyi rapor etmek için uygun bir yöntemdir. Yatayda zaman, dikeyde faaliyetlerin yer aldığı Gantt şeması, faaliyetlerin sırasının yukarıdan aşağıya veya aşağıdan yukarıya, zaman akışının soldan sağa doğru olduğu; planlanan işin faaliyetleri süreleriyle orantılı uzunlukta yatay çizgi ya da şeritlerle bire bir ölçekli hazırlanan ve faaliyetlerin başlangıcını, bitişini ve süresini gösteren bir şemadır. Bununla beraber bir faaliyetteki gecikmenin kendisinden sonra gelen diğer faaliyetlere nasıl etki yapacağını göstermez; faaliyetler arasındaki ilişkiler şema üzerinden belirlenemez ve hazırlanması vakit alıcıdır.

Projelerin karmaşıklaşmasıyla birlikte Gantt şeması yetersiz kalmış, yeni teknikler ihtiyaç duyulmuş ve ilk olarak 1957 yılında CPM, ardından 1958 yılında PERT yöntemleri geliştirilmiştir.

2.4.2. Kritik yol metodu (CPM)

CPM Yöntemi ilk olarak 1957 yılında "E.I.du Pont de Nemours" şirketi tarafından kimyasal bakım fabrikalarının kurulması ve bakımı için kullanılmıştır. "Dr.Mauchly", CPM yönteminin geliştirilmesinde büyük etkisi olan bilim adamıdır (Gür, 2006). CPM yöntemi, projeyi tamamlamak için tüm kritik faaliyetler de dahil olmak üzere en uzun yolu belirler. CPM'in temel kuralı, devam eden projenin kritik yolunu belirlemek ve daha sonra projeyi bu kritik yol üzerinden yürütmektir. Bu nedenle projede karar vermenin ilk adımı kritik yolun belirlenmesidir.

Projeyi tamamlamak için gereken en uzun yola kritik yol denir. Tanımlanan kritik yol (en uzun yol) aynı zamanda projenin tamamlanabileceği en kısa süredir. Kritik faaliyet, projedeki tüm işler tamamlandığında gecikmeye neden olan gecikme faaliyetlerine verilen addır. Kaynak tahsisi gibi durumlarda, bu faaliyetlere öncelik verilebilir. Kritik yol üzerindeki son noktaya istenilen zamanda ulaşılabilmesi için kritik yolun belirlenmesi ve faaliyet dönemlerinin değişmesi durumunda ortaya çıkabilecek alternatiflerin incelenmesi amaçlanmaktadır. Kritik yol yönteminin bilinmesi gereken başka tanımları da vardır.
Bunlar;

1. Başlangıç: Bir etkinliğin başlayabileceği en erken zamandır.
2. Bitiş: Bir faaliyetin en erken başlangıç zamanı ve aktivitesinin süresinin eklenmesiyle elde edilen süredir.
3. Geç Başlangıç: Bir faaliyetin projenin toplam süresini artırmadan tamamlanabileceği en son zamandır.
4. Bitiş: Bir faaliyetin süresinin, bir faaliyetin en son bitirme zamanından çıkarılmasıyla elde edilen süredir.

Projelerde izlenmesi gereken belirli adımlar vardır. İlk adımı, proje faaliyetlerini tanımlamaktır. Bu adımda birçok etkinliği içinde barındıran projeyi en iyi temsil edecek

faaliyetlerin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra faaliyetler arasındaki ilişkiler, projedeki faaliyetlerin tam sırasına göre belirlenmektedir. Üçüncü adımında, ikinci adımda belirlenen ilişkiler temel alınarak şebekeler oluşturulur. Şebeke oluşturulduktan sonra, kaynaklar ve maliyetler projedeki faaliyetleri en uygun şekilde atanır. Faaliyetlere kaynak ve maliyet ataması gerçekleştirildikten sonra, faaliyet süreleri hesaplanır. Şebekedeki kritik yol, faaliyetler ile faaliyet süreleri arasındaki ilişkiler belirlendikten sonra CPM ile hesaplanır.

CPM yöntemi kullanışlı ve tercih edilebilir bir yöntemdir. Bu yöntemin yararlı olmasının birçok nedeni vardır. Bu nedenler (Duran, 2007) aşağıda listelenmektedir;

1.CPM, projenin iç ilişkilerini ve iş akışını göstermektedir.
2.CPM yöntemi, proje maliyetinin kontrolünü ve maliyet tasarrufunu sağlamaktadır.
3.CPM yöntemi, projede uygulanacak adımları etkin bir şekilde yönetmektedir.
4.CPM yöntemi, proje içinde tekrarı önlemektedir.
5.CPM yöntemi projeyi daha anlaşılır hale getirmektedir.
6.CPM yöntemi, projedeki kritik iş akışını ve proje tamamlanma süresini belirlemektedir.

Kritik yol yöntemini uygulamadan önce, projede dikkate alınması gereken bazı özellikler vardır. Bu özelliklerden en önemlisi, bu yöntemin uygulanabilmesi için faaliyetlerin öncelikli olması gerektiğidir.

2.4.3. Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (PERT)

PERT, 1958 yılında Booz, Allen ve Hamilton tarafından, Polaris denizaltı güdümlü füze araştırma ve geliştirme programı çerçevesinde Amerika Birleşik Devletleri Deniz Kuvvetleri tarafından geliştirilmiştir.

PERT (Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği), proje yönetiminde yer alan görevleri analiz etmek, temsil etmek, planlamak ve kontrol etmek için tasarlanmış istatistiksel bir yöntemdir. Genel olarak PERT yöntemi, beklenen zaman hesaplaması, ileriye dönük hesaplama, geriye dönük hesaplama, boşluk sürelerinin hesaplanması ve kritik yolun belirlenmesi ile özetlenmektedir (Akan& Bayar, 2021).

PERT yöntemini bir projeye uygulamak için, önce CPM yönteminde olduğu gibi proje şebekesinin çizilmesi gerekir. Proje şebekesi, projenin süreçlerini planlamak, zamanlamak ve izlemek için tasarlanmıştır.

İşlem sürelerinin belirlenmesi çoğu projede sorun olabilmektedir. Proje alanı daha önce gerçekleşmiş ve bilinen konuları içeriyorsa, hangi faaliyetin gerçekleşeceği ve ne kadar süreceği önceki deneyimlere dayanarak belirlenebilmektedir. Bu durumda, faaliyetlerin süresi kesindir. Ancak, projenin kapsamı daha önce yapılmamışsa ve yeni bir konu ise, faaliyetin süresini deneyime dayanarak belirlemek mümkün değildir.

Böyle bir durumla karşılaşıldığında faaliyetlerin öncelik sırası ve işlemlerin süresi genellikle uzmanlar tarafından belirlenir. Bunun için farklı yöntemler kullanılabilir. Örneğin Scrum Poker veya Delphi Metodu gibi tahmin yöntemleri kullanılabilmekte, tahmin edilmesinin zor olduğu durumlarda işi alt işlere bölmek veya benzer işlerin sürelerini kullanmak gibi yaklaşımlar uygulanabilmektedir (Şeker, 2015 & Uzuntaş, 2010).

CPM ile PERT aynı amaca hizmet etmek için geliştirilmiş yöntemler olup farklı bilim adamları tarafından geliştirildiği için aralarında doğal olarak farklılıklar bulunmaktadır. Aralarındaki en önemli fark faaliyetlerin sürelerinin belirlenmesinde ortaya çıkmaktadır. CPM yönteminde faaliyetlerin süreleri tek bir zaman birimi ile ifade edilirken PERT yönteminde faaliyet süreleri olasılıklarla iyimser- muhtemel- kötümser olmak üzere üç farklı biçimde ifade edilmektedir.

İyimser Zaman: "Faaliyetin iyimser zamanı, söz konusu faaliyet için en iyi koşulların bir sonucu olarak faaliyetin en kısa sürede tamamlanacağı süreyi ifade etmektedir. Bu dönemde en ufak bir aksilik yaşanmaz. Faaliyet açısından her şeyin yolunda gittiği varsayılmaktadır. Bu nedenle, faaliyet %99 olasılıkla bu süreden daha önce tamamlanamaz. "a" harfi ile gösterilir.

Kötümser Zaman: Faaliyetin kötümser zamanı, faaliyetin gerçekleştirilmesi sırasında ortaya çıkabilecek tüm aksaklıkların meydana gelmesi halinde, söz konusu faaliyet için tüm koşulların en kötüsü varsayılarak, faaliyetin tamamlanabileceği en uzun süreyi ifade

etmektedir. Tüm aksaklıklar hesaba katıldığından, bu faaliyetin gerçekleşme süresi %99 olasılıkla faaliyetin en kötümser döneminden daha uzun olamaz. "b" harfi ile gösterilir.

Muhtemel Zaman: Etkinliğin gerçekleşmesi için en olası zaman. Normal koşullar altında etkinliğin tamamlanmasının ne kadar sürdüğünü gösterir. "m" harfi ile ifade edilir (Dyer, 1981).

PERT tekniğinde kullanılan aktivite süreleri belirsiz olduğundan, olasılıksal sürelerin dağılımının beta dağılımına uygun olduğu bulunmuştur. PERT tekniğinde, aktivite sürelerini hesaplarken beta dağılımını kullanmak bir kural haline gelmiştir (Taylor, 2007). Beta dağılımı, iyimser, muhtemel ve kötümser sürelerin yanı sıra ortalama ve varyans değerlerinin hesaplanmasına izin veren bir dağılımdır.
PERT tekniğinde, faaliyet süresi olarak tahmini üç sürenin (iyimser-a, muhtemel-m ve kötümser-b) ortalaması ($\bar{x}$) kullanılır. Beta dağılımının ortalaması olan bu süre aşağıdaki denklemle hesaplanır;

1. Ortalama tamamlanma süresi: $\bar{x}= \frac{a+4m+b}{6}$
2. Zamanların standart sapma ve varyans değerleri aşağıdaki denklemlerin yardımıyla bulunur:
3. Tamamlanma zamanının standart sapması: $s = \frac{(b-a)}{6}$
4. Varyans: $s^2 = (\frac{b-a}{6})^2$

PERT tekniğinde, her bir aktivite için beklenen ortalama süre ($\bar{x}$) belirlenerek projenin kritik yolu bulunabilir. Projenin başından sonuna kadar olan yollar arasında beklenen ortalama süre toplamını ($\bar{x}$) ve varyansı (s2) en yüksek veren yol kritik yoldur. Proje tamamlanma süresi, kritik yol üzerindeki faaliyetlerin ortalama sürelerinin toplamıdır. Proje tamamlanma süresi ve varyansı aşağıda verilen denklemlerle hesaplanır. Buradaki "$\bar{x}$" ve "s2" değerleri sadece kritik yol üzerindeki faaliyetlerin değerlerini temsil etmektedir.

2.5. Zaman Maliyet Analizi

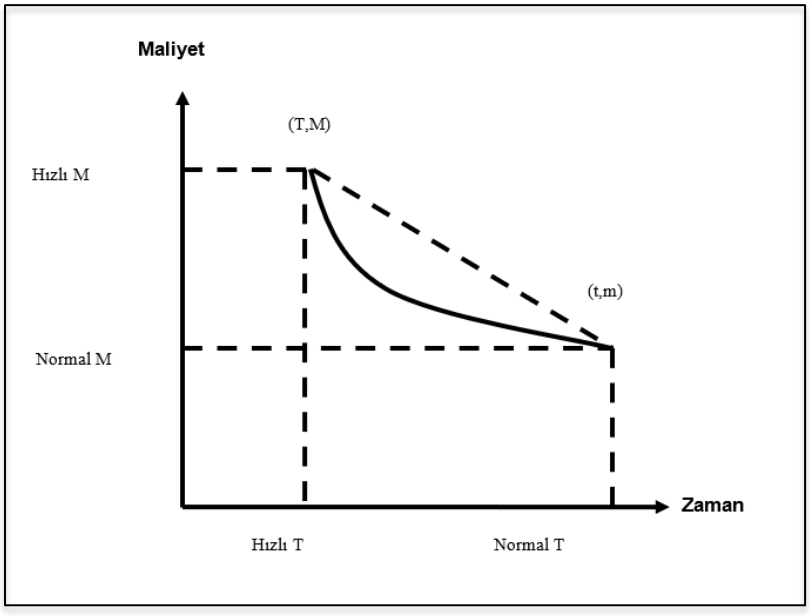
Projeler, öngörülemeyen nedenlerden dolayı zaman veya maliyet aşımları yaşayabilirler. Bu durumda belirlenen tamamlanma zamanında projenin teslim edilebilmesi için proje

faaliyetlerinin hızlandırıldığı zaman maliyet analizi uygulanabilir. Ancak hızlandırma sırasında kullanılan kaynaklar projenin toplam maliyetini de arttırdığı için proje personeli tarafından dikkatli bir şekilde planlanması gerekmektedir.

Bir faaliyetin en uygun maliyetle tamamlandığı süreye normal süre, faaliyetin normal süredeki maliyetine normal maliyet; faaliyetin tamamlandığı en kısa süreye sıkıştırılmış veya hızlandırılmış süre, faaliyetin sıkıştırılmış süredeki maliyetine ise sıkıştırılmış veya hızlandırılmış maliyet adı verilir.

Hızlandırılmış sürenin elde edilmesi, fazla mesailer, arttırılan primler, ikramiyeler ve kiralanan araç-gereçlerle sağlanabilmektedir.

Maliyet bakımından en uygun faaliyeti veya proje süresini belirlemek için, her faaliyetin zaman-maliyet ilişkisinin ortaya konulmuş olması gerekir. Diğer bir ifade ile her faaliyetin normal süresi ve normal maliyeti ile hızlandırılmış süresi ve hızlandırılmış maliyeti belirlenmelidir. Normal-hızlandırılmış süre ve normal-hızlandırılmış maliyet arasındaki ilişki Şekil 2.1 de verildiği gibi zaman maliyet eğrisi ile tanımlanabilir.



Şekil 2.1. Zaman maliyet eğrisi

Zaman maliyet eğrisi, farklı zamanlarda maliyet olasılıklarını vermektedir. Söz konusu eğri, zamanın maliyetlerle doğrudan ilişkisini göstermektedir. Projenin maliyet analizi, projedeki

her faaliyetin zaman –maliyet tanımıyla başlar. Faaliyetin normal süresi, faaliyete tahsis edilen kaynakları arttırarak sıkıştırılabilir ve böylece de doğrudan maliyet artar. Ancak faaliyet süresini gelişi güzel azaltmak söz konusu değildir. Sürenin azaltılmasında bir sınır vardır. Bu sınıra hızlı süre sınırı denir.

Hızlı süre noktalarında (t,m) ve (T,M) noktaları kaynaklarda herhangi bir artış, faaliyet süresini ve maliyeti artırır. Bu iki nokta arasındaki kesikli doğrusal çizgi maliyet artış faktörünü (Eğimi) göstermektedir.

1. Sij = (i,j) faaliyetini bir zaman birimi azaltmanın veya arttırmanın maliyeti olarak tanımlanır.
2. Sij = (M - m) / (t - T) ile hesaplanır.

Proje süresinin kısalması halinde proje maliyeti de artar. Bu nedenle maliyet artışı göz önüne alınarak sırasıyla eğimi en küçük olan kritik işlemleri sıkıştırmak gerekir. Eğimi büyük olan işlemler ise eğimi daha küçük olan işlemlerden sonra hızlandırılmalıdır.

Zaman-maliyet ilişkisi, maliyeti dengeli bir biçimde en aza indirme yöntemidir. Proje süresini bir zaman birimi kısaltmak gerekirse, bunun için en uygun yaklaşım kritik yoldaki sıkıştırmanın en ekonomik olduğu işlemi bir zaman birimi sıkıştırmaktır. Bu şekilde yapılan sıkıştırmalar sonucunda yeni kritik yollar oluşabilir. Eğer sıkıştırma işlemine devam edilmek isteniyorsa bu kritik yollar göz önüne alınmalıdır.

Projelerin istenen tamamlanma zamanında tamamlanması için kullanılan doğrusal modelin genel yapısı aşağıdaki gibidir;

$$Min\ Z\ =\ \sum S_{ij}\ *\ M \qquad (i,j) \tag{2.1}$$

Kısıtlar:

$$M\ \leq\ t_{ij} - T_{ij}\,Y\ (i\ ,j) \tag{2.2}$$

$$X_j\ \geq\ X_i\ +\ t_{ij} - MY\ (i\ ,j) \tag{2.3}$$

$$X_{\ n} \leq\ T \tag{2.4}$$

$$M, X_j\ \geq\ 0 \tag{2.5}$$

Bu modelde;

S_{ij}: (i,j) faaliyetinin eğimini

M: (i,j) faaliyetinin hızlanabileceği süreyi

X_i: (i,j) faaliyetinin başlama zamanını

X_j: (i,j) faaliyetinin tamamlanma zamanını

T: projenin istenen tamamlanma zamanını göstermektedir.

Modelde (2.1) kısıtı istenen T tamamlanma zamanında projenin en kısa tamamlanma maliyetini; (2.2) kısıtı (i,j) faaliyetinin en fazla hızlandırılabileceği süreyi; (2.3) kısıtı (i,j) faaliyetinin en fazla hızlandırılabileceği M süresi kadar azalması durumunda tamamlanma zamanını; (2.4) kısıtı projenin istenen T tamamlanma zamanının da tamamlanmasını ve (2.5) kısıtı işaret kısıtlarını göstermektedir.

2.6. Hedef Programlama

Hedef programlama, birden fazla çelişen hedefin dikkate alınması gereken karar verme problemlerini çözmek için kullanılan bir tür matematiksel optimizasyon tekniğidir. Hedef programlama yaklaşımı ilk olarak 1960'larda Sang M. Lee ve David L. Olson tarafından, yalnızca tek bir amaç için optimize edebilen geleneksel doğrusal programlama yöntemlerinin sınırlamalarını ele almanın bir aracı olarak tanıtılmıştır (Lee & Olson, 1967). Hedef programlamada, karar verici bir dizi amaç veya hedef belirler ve model bu hedefleri mümkün olduğunca yakından karşılayan bir çözüm bulmaya çalışır. Hedefler çelişkili olabilir, yani hepsini aynı ölçüde tatmin etmek mümkün olmayabilir (Gass, 1986). Bu durumda, model farklı hedefler arasında bir denge bulmalıdır.

Hedef programlamanın temel özelliklerinden biri, karar vericinin her bir hedefin göreceli önemini belirtmesine izin vermesidir. Bu, her hedefe atanan "ağırlıklar" veya "önem katsayıları" kullanılarak yapılır. Model daha sonra hedefleri atanan ağırlıklarıyla orantılı olarak karşılayan bir çözüm bulmaya çalışır (Tamiz &; Jones, 1995). Hedef programlama, karar vericilerin önceden belirlenmiş tek bir nesnel fonksiyonun optimizasyonuna güvenmek yerine kendi amaçlarını veya hedeflerini belirlemelerini sağlar (Tamiz &; Jones, 1995). Bu, farklı önceliklere veya çelişen hedeflere sahip birden fazla paydaşın olduğu durumlarda özellikle yararlı olmasını sağlar.

Bir hedef programlama modelinde, karar verici, her bir hedefin göreceli önemi ile birlikte, optimize etmek istediği bir dizi amaç veya hedefi belirtir (Jones &; Tamiz, 2006). Bu hedefler daha sonra istenen sonuca ulaşmak için yerine getirilmesi gereken bir dizi kısıtlamaya dönüştürülür.

Hedef programlamanın temel avantajlarından biri, karar vericinin geleneksel optimizasyon modellerinde olduğu gibi sadece tek bir hedefe odaklanmak yerine, birden fazla hedefi açıkça göz önünde bulundurmasına izin vermesidir (Dantzig &; Thapa, 1997). Bu, farklı hedeflere veya tercihlere sahip birden fazla paydaşın olduğu durumlarda özellikle yararlı olmasını sağlar. Hedef programlamanın ekonomi, mühendislik ve yönetim bilimi de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda bir dizi uygulaması vardır (Lee & Olson, 1967). Genellikle bir şirketin kaynaklarının farklı departmanlar veya projeler arasında en uygun dağılımını belirlemek gibi kaynak tahsisi sorunlarını çözmek için kullanılır (Lee & Olson, 1967). Ayrıca, nakliye ve zamanlama sorunlarını çözmek ve ürünlerin veya sistemlerin tasarımını optimize etmek için de kullanılabilir.

n adet değişken ve m adet hedeften oluşan hedef programlama modelinin genel yapısı aşağıda verilmiştir;

$$\text{Min. } Z = \sum_{k=1}^{q} \sum_{i=1}^{m} P_k \, (d_i^- + d_i^+) \tag{2.6}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \, x_j + (d_i^- - d_i^+) = b_i \, (i = 1, 2, \ldots, m) \tag{2.7}$$

$$x_j, \, d_i^-, \, d_i^+ \geq 0 \, (i = 1, 2, \ldots, m), \, (j = 1, 2, \ldots, n) \tag{2.8}$$

Bu modelde;

b_i : inci hedefin değerini

d_i^-: inci hedeften negatif yöndeki sapma miktarını

d_i^+: inci hedeften pozitif yöndeki sapma miktarını

ifade etmektedir. Görüldüğü gibi di–, di+ değişkenleri sırasıyla hedeften negatif ve pozitif yöndeki sapma miktarlarını göstermektedir. Bu sebeple bu değişkenlere sapma değişkeni denir.

Ayrıca hedef programlama modelinin amaç fonksiyonu sadece negatif veya pozitif yöndeki sapmaların minimizasyonu şeklinde olursa, bu modele tek yönlü hedef programlama modeli denir.

Yukarıda verilen hedef programlama modelinin genel yapısındaki amaç fonksiyonunda yapılacak bazı değişikliklere göre, hedef programlama aşağıdaki şekilde iki gruba ayrılır.

1.Önceliksiz (ağırlıklı) hedef programlama.
2.Öncelikli hedef programlama.

Ağırlıklı hedef programlama olarak da bilinen önceliksiz hedef programlamada her hedef için bir ağırlık belirlenerek bu ağırlıklara göre amaç fonksiyonu oluşturulur.
m adet hedeften oluşan bir hedef programlama probleminin inci hedefi;

$$Min\ G_i\ (i = 1, 2, \ldots, m)$$

olarak ifade edildiği durumda problemin birleşik amaç fonksiyonu;

$$Min\ z = w_1\ G_1 + w_2\ G_2 + \ldots + w_m\ G_m \qquad (2.9)$$

şeklinde tanımlanır.

Öncelikli hedef programlamada karar vericinin en önemliden (1nci hedeften) en önemsize (minci hedefe) doğru hedeflerini sıralaması gerekmektedir. i hedefine ait değişkenin amaç fonksiyonu katsayısı olarak Pi kullanılacak olursa;

P1 >> P2 >> P3 >> …>>Pm (2.10)

olduğu varsayılır. Yani 1nci hedefin ağırlığı 2nci hedefin ağırlığından çok büyük, 2nci hedefin ağırlığı 3ncü hedefin ağırlığından çok büyük olmak üzere hedefler arasında öncelikler oluşturulur. P1 >> P2 >> P3 >> …>>Pm ile ilgili bu tanım karar vericinin önce en önemli hedefi (1nci hedefi) gerçekleştirmeye çalışmasını sağlar. Daha sonra 1nci hedefi

sağlayan noktalar arasından 2nci hedefe mümkün olduğu kadar yaklaştıran çözümü elde etmeye çalışır ve süreç bu şekilde devam eder.

3. UYGULAMA

Bu bölümde proje yönetim tekniklerinin TUSAŞ savunma sanayi sektöründe bir montaj projesinde yapılan örnek bir çalışmasının genel hatlarıyla tanımına, çözümüne ve sonuçlarına yer verilmiştir.

3.1. Problemin Tanımı

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ) birçok ürün çeşidinde siparişe göre üretim yapan bir firmadır. Şirketin bu gruptaki ürün gamlarından biri olan proje Türkiye'nin ilk yerli uçaklarındandır. Projenin ilk üretiminin tamamlanması ve uçağının uçuşunu 18 Mart 2023 tarihinde gerçekleştirmesi planlanmaktadır.

Proje yönetimi, seri üretime geçmeden sipariş bazlı üretim gerçekleştiren üretim türlerinde kritik rol oynamaktadır. Proje yönetimi, belirlenen süre içerisinde kapsam ve maliyet hedeflerine ulaşmak için gereken tüm adımların planlanması, uygulanması ve kontrolünü içermektedir. Bahsi geçen savunma sanayi projesi, birden fazla sistemin entegrasyonunu gerektirmekte ve karmaşık bir yapıya sahip birçok iş kırılımından oluşmaktadır. Bu açıdan proje yönetiminde uygulanan metodoloji ve uygulamanın detaylandırılması önem arz etmektedir.

Kurum çalışmasına göre projelerin sipariş teslim zamanları ve planları belirlenmekte ancak gerçekleştirilecek faaliyetlerin ince detay planları yapılmamaktadır. Adı geçen savunma sanayi projesi de incelendiğinde, projenin faaliyetlerinin belirlendiği ancak faaliyet önceliklerinin ve sürelerinin belirlenmediği görülmüştür.

Savunma sanayi projesinin belirlenen pilot detay faaliyetlerinde hızlandırma yapılması istenmiştir. Bu nedenle mevcut proje işleyiş çalışmaları yerine projelerin takibi için geliştirilen proje yönetimi tekniklerine ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda öncelikle proje faaliyet sürelerinin belirlenmesi hedeflenmiş; faaliyet sürelerinin belirsiz olması nedeni ile de proje yönetimi tekniklerinden PERT yönteminin çalışmada kullanılması uygun bulunmuştur.

Öncelikli amaç, proje faaliyetinin süresini uygun teknikle belirlemektir. Daha sonra faaliyetlerin öncüllük ve ardıllık durumlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Belirlenen faaliyet süre ve sıralarına göre projenin kritik yolunun belirlenmesi ve sürenin iyileştirilmesine yönelik yeni bir metodolojinin uygulanması temel hedef olarak belirlenmiştir.

Proje yönetimi çalışmaları yapılarak iyileştirilmesi beklenen diğer konular ise maliyet ve kaynak sorunlarıdır. Belirlenen pilot faaliyetlerde hızlandırma yapılması istenmesi nedeni ile zamanı hızlandırmak için zaman maliyet analizi yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda proje yönetimi zaman maliyet analizi ile proje süresinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

3.2. Projedeki Faaliyetler ve Kritik Yol Hesaplamaları

Proje milli bir savunma sanayi projesi olduğu için projenin çalışmaları yüksek bir gizlilikle yürütülmektedir. Bu nedenle çalışma belirli bir tarih aralığında yer alan sadece 88 proje faaliyeti için pilot olarak uygulanmıştır. Projenin gizlilik politikası gereği projedeki faaliyetler belirtilmemiş ve rakamlarla gösterilmiştir. Çalışmada yer alan 88 pilot faaliyetin sıralı ilişkileri, iyimser, kötümser ve muhtemel süreleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Faaliyetlerin iyimser, kötümser ve muhtemel süreleri Delphi tekniği kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Faaliyet verileri

Faaliyet Adı	İyimser Zaman (saat)	Muhtemel Zaman (saat)	Kötümser Zaman (saat)	Öncüller
1	39,20	40,00	42,00	3
2	23,04	24,00	24,72	4
3	31,36	32,00	33,92	5
4	31,68	32,00	32,64	5
5	31,04	32,00	33,60	6
6	30,40	32,00	32,32	7
7	15,52	16,00	16,48	8
8	15,20	16,00	16,80	9
9	31,36	32,00	32,96	10;11

Çizelge 3.1. (devam) Faaliyet verileri

Faaliyet Adı	İyimser Zaman (saat)	Muhtemel Zaman (saat)	Kötümser Zaman (saat)	Öncüller
10	23,76	24,00	24,24	12
11	23,28	24,00	25,20	12
12	38,40	40,00	40,40	13
13	38,40	40,00	41,60	14
14	38,80	40,00	41,20	16
15	15,84	16,00	16,32	17
16	38,00	40,00	41,20	18
17	38,80	40,00	42,00	19
18	39,20	40,00	41,20	20
19	30,72	32,00	32,32	21
20	31,68	32,00	32,96	22
21	31,36	32,00	33,28	23
22	15,52	16,00	16,48	17
23	38,80	40,00	40,80	25
24	39,20	40,00	42,00	26
25	38,80	40,00	41,20	27
26	31,68	32,00	33,28	28
27	31,04	32,00	32,32	29
28	30,72	32,00	32,64	30
29	7,76	8,00	8,24	24
30	7,68	8,00	8,08	31
31	7,76	8,00	8,24	32
32	15,20	16,00	16,16	33
33	15,52	16,00	16,80	35
34	15,68	16,00	16,64	36
35	15,36	16,00	16,32	34
36	15,36	16,00	16,16	38
37	15,52	16,00	16,48	39
38	-	-	-	40
39	15,36	16,00	16,48	12
40	7,76	8,00	8,16	41
41	15,52	16,00	16,80	43
42	7,92	8,00	8,32	44
43	39,20	40,00	41,20	45
44	77,60	80,00	80,80	46
45	15,52	16,00	16,80	47;50

Çizelge 3.1. (devam) Faaliyet verileri

Faaliyet Adı	İyimser Zaman (saat)	Muhtemel Zaman (saat)	Kötümser Zaman (saat)	Öncüller
46	15,52	16,00	16,32	48
47	77,60	80,00	82,40	46
48	15,36	16,00	16,48	50
49	15,52	16,00	16,32	51
50	30,40	32,00	32,96	49;52
51	23,28	24,00	24,72	53
52	77,60	80,00	84,00	54
53	23,28	24,00	24,48	54
54	77,60	80,00	82,40	56
55	15,52	16,00	16,64	57
56	15,52	16,00	16,48	55;57
57	15,52	16,00	16,16	60
58	15,84	16,00	16,48	55;57
59	31,04	32,00	32,96	58;60;61
60	7,60	8,00	8,16	88
61	7,76	8,00	8,24	60
62	7,68	8,00	8,08	61
63	15,84	16,00	16,16	64
64	23,28	24,00	24,72	65
65	7,76	8,00	8,24	88
66	47,04	48,00	49,44	67;68
67	45,60	48,00	48,96	68
68	7,76	8,00	8,40	69
69	7,92	8,00	8,32	71
70	7,68	8,00	8,08	72
71	7,76	8,00	8,24	70
72	7,60	8,00	8,32	74
73	7,84	8,00	8,16	75
74	46,56	48,00	50,88	73
75	47,52	48,00	49,44	76
76	7,76	8,00	8,32	77
77	7,60	8,00	8,16	78
78	15,52	16,00	16,48	79
79	15,68	16,00	16,80	80
80	7,76	8,00	8,24	81
81	7,60	8,00	8,32	82
82	15,52	16,00	16,16	83
83	15,52	16,00	16,48	84

Çizelge 3.1. (devam) Faaliyet verileri

Faaliyet Adı	İyimser Zaman (saat)	Muhtemel Zaman (saat)	Kötümser Zaman (saat)	Öncüller
84	15,04	16,00	16,64	85;86
85	15,52	16,00	16,48	87
86	15,84	16,00	16,80	88
87	15,36	16,00	16,16	88
88(Final)	-	-	-	0

Bu veriler doğrultusunda çizilen proje şebekesi Ek 1'de verilmektedir.

PERT çalışması için, proje faaliyetlerinin beklenen sürelerini ve standart sapmalarının hesaplanması gerekmektedir. Çizelge 3.2.'de, faaliyetlerin beklenen süresini ve standart sapmalarını göstermektedir.

Çizelge 3.2. Faaliyetler, zamanlar ve standart sapma

Faaliyet Adı	İyimser Zaman (saat)	Muhtemel Zaman (saat)	Kötümser Zaman (saat)	Öncüller	Standart Sapma
1	39,20	40,00	42,00	3	0,47
2	23,04	24,00	24,72	4	0,28
3	31,36	32,00	33,92	5	0,43
4	31,68	32,00	32,64	5	0,17
5	31,04	32,00	33,60	6	0,43
6	30,40	32,00	32,32	7	0,32
7	15,52	16,00	16,48	8	0,17
8	15,20	16,00	16,80	9	0,27
9	31,36	32,00	32,96	10;11	0,27
10	23,76	24,00	24,24	12	0,08
11	23,28	24,00	25,20	12	0,32
12	38,40	40,00	40,40	13	0,33
13	38,40	40,00	41,60	14	0,53
14	38,80	40,00	41,20	16	0,40
15	15,84	16,00	16,32	17	0,08
16	38,00	40,00	41,20	18	0,53
17	38,80	40,00	42,00	19	0,53
18	39,20	40,00	41,20	20	0,33
19	30,72	32,00	32,32	21	0,27
20	31,68	32,00	32,96	22	0,22
21	31,36	32,00	33,28	23	0,32

Çizelge 3.2. (devam) Faaliyetler, zamanlar ve standart sapma

Faaliyet Adı	İyimser Zaman (saat)	Muhtemel Zaman (saat)	Kötümser Zaman (saat)	Öncüller	Standart Sapma
22	15,52	16,00	16,48	17	0,17
23	38,80	40,00	40,80	25	0,33
24	39,20	40,00	42,00	26	0,47
25	38,80	40,00	41,20	27	0,40
26	31,68	32,00	33,28	28	0,27
27	31,04	32,00	32,32	29	0,22
28	30,72	32,00	32,64	30	0,32
29	7,76	8,00	8,24	24	0,08
30	7,68	8,00	8,08	31	0,07
31	7,76	8,00	8,24	32	0,08
32	15,20	16,00	16,16	33	0,17
33	15,52	16,00	16,80	35	0,22
34	15,68	16,00	16,64	36	0,17
35	15,36	16,00	16,32	34	0,17
36	15,36	16,00	16,16	38	0,13
37	15,52	16,00	16,48	39	0,17
38	-	-	-	40	0
39	15,36	16,00	16,48	12	0,18
40	7,76	8,00	8,16	41	0,07
41	15,52	16,00	16,80	43	0,22
42	7,92	8,00	8,32	44	0,07
43	39,20	40,00	41,20	45	0,33
44	77,60	80,00	80,80	46	0,53
45	15,52	16,00	16,80	47;50	0,22
46	15,52	16,00	16,32	48	0,13
47	77,60	80,00	82,40	46	0,80
48	15,36	16,00	16,48	50	0,18
49	15,52	16,00	16,32	51	0,13
50	30,40	32,00	32,96	49;52	0,43
51	23,28	24,00	24,72	53	0,23
52	77,60	80,00	84,00	54	1,07
53	23,28	24,00	24,48	54	0,20
54	77,60	80,00	82,40	56	0,80
55	15,52	16,00	16,64	57	0,18
56	15,52	16,00	16,48	55;57	0,17
57	15,52	16,00	16,16	60	0,10
58	15,84	16,00	16,48	55;57	0,10
59	31,04	32,00	32,96	58;60;61	0,32

Çizelge 3.2. (devam) Faaliyetler, zamanlar ve standart sapma

Faaliyet Adı	İyimser Zaman (saat)	Muhtemel Zaman (saat)	Kötümser Zaman (saat)	Öncüller	Standart Sapma
60	7,60	8,00	8,16	88	0,10
61	7,76	8,00	8,24	60	0,08
62	7,68	8,00	8,08	61	0,07
63	15,84	16,00	16,16	64	0,05
64	23,28	24,00	24,72	65	0,23
65	7,76	8,00	8,24	88	0,08
66	47,04	48,00	49,44	67;68	0,40
67	45,60	48,00	48,96	68	0,57
68	7,76	8,00	8,40	69	0,10
69	7,92	8,00	8,32	71	0,07
70	7,68	8,00	8,08	72	0,07
71	7,76	8,00	8,24	70	0,08
72	7,60	8,00	8,32	74	0,12
73	7,84	8,00	8,16	75	0,05
74	46,56	48,00	50,88	73	0,72
75	47,52	48,00	49,44	76	0,32
76	7,76	8,00	8,32	77	0,10
77	7,60	8,00	8,16	78	0,10
78	15,52	16,00	16,48	79	0,17
79	15,68	16,00	16,80	80	0,18
80	7,76	8,00	8,24	81	0,08
81	7,60	8,00	8,32	82	0,12
82	15,52	16,00	16,16	83	0,10
83	15,52	16,00	16,48	84	0,17
84	15,04	16,00	16,64	85;86	0,27
85	15,52	16,00	16,48	87	0,17
86	15,84	16,00	16,80	88	0,17
87	15,36	16,00	16,16	88	0,13
88(Final)					

Faaliyetlerin ortalama zamanları hesaplandıktan sonra şebekedeki öncüllük ilişkisine göre her faaliyetin erken ve geç tamamlanma zamanları hesaplanır. Faaliyetin erken ve geç tamamlanma zamanlarının eşit olması, faaliyetin kritik yolda olduğunu gösterir. Kritik yol şebekesi Ek 2'de yer almaktadır. Projenin en kısa tamamlanma zamanını veren Gannt Şeması Ek 3 verilmektedir.

Çizelge 3.3. Faaliyet erken tamamlanma zamanı, geç tamamlanma zamanı

Faaliyet Adı	En Erken Tamamlanma Zamanı (saat)	En Geç Tamamlanma Zamanı (saat)	Faaliyet Adı	En Erken Tamamlanma Zamanı (saat)	En Geç Tamamlanma Zamanı (saat)
1	40,20	40,20	46	1072,39	1072,39
2	23,97	40,37	47	1056,42	1056,42
3	72,42	72,42	46	1072,39	1072,39
4	56,02	72,42	47	1056,42	1056,42
5	104,52	104,52	48	1088,36	1088,36
6	136,30	136,30	49	1136,23	1152,56
7	152,30	152,30	50	1120,26	1120,26
8	168,30	168,30	51	1160,23	1176,56
9	200,35	200,35	52	1200,53	1200,53
10	224,35	224,43	53	1184,20	1200,53
11	224,43	224,43	54	1280,53	1280,53
12	264,23	264,23	55	1312,56	1312,56
13	304,23	304,23	56	1296,53	1296,53
14	344,23	344,23	57	1328,51	1328,51
15	360,26	472,27	58	48,05	1296,53
16	384,10	384,10	59	32,00	1280,48
17	512,40	512,40	60	1336,48	1336,48
18	424,17	424,17	61	40,00	1328,51
19	544,23	544,23	62	7,97	1320,51
20	456,27	456,27	63	16,00	1304,48
21	576,33	576,33	64	40,00	1328,48
22	472,27	472,27	65	48,00	1336,48
23	616,26	616,26	66	48,08	1000,43
24	736,36	736,36	67	95,85	1048,20
25	656,26	656,26	68	103,88	1056,23
26	768,53	768,53	69	111,91	1064,26
27	688,16	688,16	70	127,88	1080,23
28	800,43	800,43	71	119,91	1072,26
29	696,16	696,16	72	135,86	1088,21
30	808,40	808,40	73	192,09	1144,44
31	816,40	816,40	74	184,09	1136,44
32	832,30	832,30	75	240,26	1192,61
33	848,35	848,35	76	248,28	1200,63
34	880,35	880,35	77	256,25	1208,60
35	864,30	864,30	78	272,25	1224,60
36	896,27	896,27	79	288,33	1240,68
37	16,00	208,46	80	296,33	1248,68

Çizelge 3.3. (devam) Faaliyet erken tamamlanma zamanı, geç tamamlanma zamanı

Faaliyet Adı	En Erken Tamamlanma Zamanı (saat)	En Geç Tamamlanma Zamanı (saat)	Faaliyet Adı	En Erken Tamamlanma Zamanı (saat)	En Geç Tamamlanma Zamanı (saat)
38	896,27	896,27	81	304,31	1256,66
39	31,97	224,43	82	320,26	1272,61
40	904,25	904,25	83	336,26	1288,61
41	920,30	920,30	84	352,21	1304,56
42	8,03	976,69	85	368,21	1320,56
43	960,37	960,37	86	368,31	1336,48
44	87,76	1056,42	87	384,13	1336,48
45	976,42	976,42	88	1336,48	1336,48

Projenin en kısa tamamlanma zamanı 1.336,48 saat olup projedeki tüm görevlerin maliyeti 774.853.2492 TL'dir. Projenin kritik yolu 0-1-3-5-6-7-8-9-11-12-13-14-16-18-20-22-17-19-21-23-25-27-29-24-26-28-30-31-32-33-35-34-36-38-40-41-43-45-47-46-48-50-52-54-56-55-57-60-88 dir.

Gantt şemasında belirlenen pilot faaliyetler için çalışmaların 04.02.2023 tarihinde başlamış olup, faaliyetlerin 01.04.2023 tarihinde tamamlanması gerektiği hesaplanmıştır. Ancak 17.02.2023 tarihinde yapılan kontrolde projenin %20 sinin tamamlanması gerekirken %10 tamamlandığı tespit edilmiştir. Bu noktada projenin zamanında teslim edilebilmesi için hızlandırılması gerektiğine karar verilmiş olup zaman maliyet analizine ihtiyaç doğmuştur.

3.3. Zaman ve Maliyet Analizi

Karar vericiler tarafından projenin 30 gün erken tamamlanması istenmiş olup; hesaplamalarda kullanılmak üzere her faaliyetin normal-hızlandırılmış zaman ve maliyetleri; zaman ve maliyetlere bağlı olarak hesaplanan eğimleri aşağıda Çizelge 3.4.'te verilmektedir.

Çizelge 3.4. Faaliyetlerin normal ve hızlandırılmış zaman, maliyet ve eğimleri

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Normal Maliyet (tl)	Hızlandırılmış Maliyet (tl)	Eğim
1	40,20	37,19	20.100,00	21.607,50	500,00
2	23,97	23,97	3.994,84	3.994,84	
3	32,22	29,64	10.739,89	11.599,08	333,33
4	32,05	32,05	8.012,18	8.012,18	
5	32,10	28,41	18.724,89	20.878,26	583,33
6	31,78	28,92	13.241,77	14.433,53	416,67
7	16,00	14,80	4.000,00	4.300,00	250,00
8	16,00	14,40	5.333,28	5.866,61	333,33
9	32,05	29,01	16.024,68	17.547,02	499,99
10	24,00	22,20	3.999,84	4.299,83	166,66
11	24,08	22,27	10.033,17	10.785,66	416,66
12	39,80	36,62	19.900,00	21.492,00	500,00
13	40,00	36,40	16.666,40	18.166,38	416,66
14	40,00	35,80	13.333,20	14.733,19	333,33
15	16,03	16,03	4.007,34	4.007,34	
16	39,87	36,88	13.289,87	14.286,61	333,33
17	40,13	36,52	16.720,57	18.225,42	416,66
18	40,07	36,06	20.035,00	22.038,50	500,00
19	31,83	28,49	10.609,89	11.723,93	333,33
20	32,10	29,37	8.024,68	8.706,78	249,99
21	32,10	28,41	10.699,89	11.930,38	333,33
22	16,00	14,40	3.999,84	4.399,82	249,99
23	39,93	36,94	16.637,23	17.885,03	416,66
24	40,20	35,58	20.100,00	22.411,50	500,00
25	40,00	36,40	10.000,00	10.900,00	250,00
26	32,17	29,76	10.723,23	11.527,47	333,33
27	31,90	28,71	15.950,00	17.545,00	500,00
28	31,90	28,87	7.975,00	8.732,63	250,00
29	8,00	7,20	2.666,64	2.933,30	333,33
30	7,97	7,29	3.985,00	4.323,73	500,00
31	8,00	7,36	1.333,28	1.439,94	166,66
32	15,90	14,47	3.975,00	4.332,75	250,00
33	16,05	14,36	6.687,55	7.389,75	416,67
34	16,05	14,61	4.012,50	4.373,63	250,00
35	15,95	14,67	5.316,61	5.741,94	333,33
36	15,92	14,57	7.960,00	8.636,60	500,00
37	16,00	16,00	3.999,84	3.999,84	

Çizelge 3.4. (devam) Faaliyetlerin normal ve hızlandırılmış zaman, maliyet ve eğimleri

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Normal Maliyet (tl)	Hızlandırılmış Maliyet (tl)	Eğim
38	-	-	-	-	
39	15,97	15,97	5.323,28	5.323,28	
40	7,98	7,34	2.659,97	2.872,77	333,33
41	16,05	14,45	9.362,45	10.298,69	583,33
42	8,03	8,03	2.676,64	2.676,64	
43	40,07	37,06	13.356,53	14.358,27	333,33
44	79,73	79,73	19.931,70	19.931,70	
45	16,05	14,85	4.012,50	4.313,44	250,00
46	15,97	14,37	5.323,28	5.855,61	333,33
47	80,00	72,40	40.000,00	43.800,00	500,00
48	15,97	14,37	5.323,28	5.855,61	333,33
49	15,97	15,97	2.661,56	2.661,56	
50	31,90	29,51	7.975,00	8.573,13	250,00
51	24,00	24,00	6.000,00	6.000,00	
52	80,27	72,24	26.756,40	29.432,04	333,33
53	23,97	23,97	11.985,00	11.985,00	
54	80,00	71,60	33.333,60	36.833,63	416,67
55	16,03	14,19	4.007,50	4.468,36	250,00
56	16,00	14,80	1.333,28	1.433,28	83,33
57	15,95	14,59	3.987,50	4.326,44	250,00
58	16,05	16,05	5.349,95	5.349,95	
59	32,00	32,00	13.333,12	13.333,12	
60	7,97	7,17	1.992,50	2.191,75	250,00
61	8,00	8,00	2.666,64	2.666,64	
62	7,97	7,97	2.656,64	2.656,64	
63	16,00	16,00	5.333,28	5.333,28	
64	24,00	24,00	9.999,84	9.999,84	
65	8,00	8,00	2.000,00	2.000,00	
66	48,08	48,08	28.046,51	28.046,51	
67	47,77	47,77	27.865,67	27.865,67	
68	8,03	8,03	2.007,50	2.007,50	
69	8,03	8,03	2.007,50	2.007,50	
70	7,97	7,97	1.328,36	1.328,36	
71	8,00	8,00	2.666,64	2.666,64	
72	7,98	7,98	2.659,97	2.659,97	
73	8,00	8,00	2.000,00	2.000,00	
74	48,23	48,23	20.095,51	20.095,51	

Çizelge 3.4. (devam) Faaliyetlerin normal ve hızlandırılmış zaman, maliyet ve eğimleri

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Normal Maliyet (tl)	Hızlandırılmış Maliyet (tl)	Eğim
75	48,17	48,17	16.056,51	16.056,51	
76	8,02	8,02	2.005,00	2.005,00	
77	7,97	7,97	2.656,64	2.656,64	
78	16,00	16,00	5.333,28	5.333,28	
79	16,08	16,08	5.359,95	5.359,95	
80	8,00	8,00	2.666,64	2.666,64	
81	7,98	7,98	1.995,00	1.995,00	
82	15,95	15,95	5.316,61	5.316,61	
83	16,00	16,00	5.333,28	5.333,28	
84	15,95	15,95	5.316,61	5.316,61	
85	16,00	16,00	5.333,28	5.333,28	
86	16,10	16,10	1.341,61	1.341,61	
87	15,92	15,92	5.306,61	5.306,61	
88(Final)		0		-	

Projenin 30 gün hızlandırılması istenmiştir. Ancak faaliyetlerin sürelerinin saat ile tanımlanması nedeni ile istenen 30 günün saate dönüştürülmesi gerekmektedir. Firmada 5 gün, günde 3 vardiya ve her bir vardiyada 8 saat çalışılmakta olup; 30 gün 480 saate karşılık gelmekte olduğu hesaplanmıştır. Dolayısı ile istenen proje tamamlanma zamanı 1336,48-480=856,48 saat tir. Projenin 856,48 saate tamamlanması için hangi faaliyetlerin ne kadar hızlandırılacağı ve bu hızlandırmanın maliyeti kurulan doğrusal model ile hesaplanmıştır. Kurulan model Ek..4'te verilmektedir.

Çözüm sonucu elde edilen hızlandırma maliyeti 380.672,3712 tl olup projenin 856,48 saatte tamamlanma maliyeti 380.672,3712 +774.853,2492=1.155.525,62 tl dir. Çözümde hızlanan faaliyetler ve hızlanma süreleri Çizelge 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Hızlanan faaliyetler ve hızlanma süreleri

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)
1	40,20	34,17	45	16,05	13,64
2	23,97	23,97	46	15,97	12,78

Çizelge 3.5. (devam) Hızlanan faaliyetler ve hızlanma süreleri

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)
3	32,22	27,06	47	80,00	64,80
4	32,05	32,05	48	15,97	12,78
5	32,10	24,72	49	15,97	15,97
6	31,78	26,06	50	31,90	27,12
7	16,00	13,60	51	24,00	24,00
8	16,00	12,80	52	80,27	64,22
9	32,05	25,96	53	23,97	23,97
10	24,00	20,40	54	80,00	63,20
11	24,08	20,47	55	16,03	12,34
12	39,80	33,43	56	16,00	13,60
13	40,00	32,80	57	15,95	13,24
14	40,00	31,60	58	16,05	16,05
15	16,03	16,03	59	32,00	32,00
16	39,87	33,89	60	7,97	6,38
17	40,13	32,91	61	8,00	8,00
18	40,07	32,06	62	7,97	7,97
19	31,83	25,15	63	16,00	16,00
20	32,10	26,64	64	24,00	24,00
21	32,10	24,72	65	8,00	8,00
22	16,00	12,80	66	48,08	48,08
23	39,93	33,94	67	47,77	47,77
24	40,20	30,95	68	8,03	8,03
25	40,00	32,80	69	8,03	8,03
26	32,17	27,34	70	7,97	7,97
27	31,90	25,52	71	8,00	8,00
28	31,90	25,84	72	7,98	7,98
29	8,00	6,40	73	8,00	8,00
30	7,97	6,62	74	48,23	48,23
31	8,00	6,72	75	48,17	48,17
32	15,90	13,04	76	8,02	8,02
33	16,05	12,68	77	7,97	7,97
34	16,05	13,16	78	16,00	16,00
35	15,95	13,40	79	16,08	16,08
36	15,92	13,21	80	8,00	8,00
37	16,00	16,00	81	7,98	7,98
38	0,00	0,00	82	15,95	15,95

Çizelge 3.5. (devam) Hızlanan faaliyetler ve hızlanma süreleri

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)
39	15,97	15,97	83	16,00	16,00
40	7,98	6,70	84	15,95	15,95
41	16,05	12,84	85	16,00	16,00
42	8,03	8,03	86	16,10	16,10
43	40,07	34,06	87	15,92	15,92
44	79,73	79,73	88(Final)		

Projenin uygulandığı montaj hattında koji üzerinde kaza kırımına engel olmak için çalışabilecek maksimum sayıdaki personel sayısı 12 ile kısıtlanmıştır. Dolayısı ile elde edilen hızlandırmalarda bu kısıtın kontrol edilmesi gerekmektedir. Çözüm sonucu hızlanan faaliyetlerin personel sayıları Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Hızlandırılmış faaliyetlerde kaynak miktarları

Faaliyet Adı	Çalışan Sayısı (Normal Zaman)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış Zaman)	Faaliyet Adı	Çalışan Sayısı (Normal Zaman)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış Zaman)
1	2T	8T	45	1T	8T
2	2T	2T	46	2T	8T
3	2T	8T	47	2T	8T
4	3T	9T	48	2T	8T
5	3T	6T	49	2T	2T
6	1T	8T	50	1T	8T
7	1T	8T	51	1T	1T
8	2T	8T	52	2T	8T
9	4T	8T	53	2T	2T
10	2T	8T	54	1T	8T
11	3T	6T	55	1T	8T
12	2T	8T	56	1T	8T
13	3T	6T	57	1T	8T
14	1T	8T	58	2T	2T
15	3T	3T	59	3T	3T
16	2T	8T	60	1T	8T
17	3T	6T	61	2T	2T
18	2T	8T	62	2T	2T

Çizelge 3.6. (devam) Hızlandırılmış faaliyetlerde kaynak miktarları

Faaliyet Adı	Çalışan Sayısı (Normal Zaman)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış Zaman)	Faaliyet Adı	Çalışan Sayısı (Normal Zaman)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış Zaman)
19	2T	8T	63	2T	2T
20	3T	6T	64	3T	3T
21	2T	8T	65	1T	1T
22	3T	6T	66	3T	3T
23	3T	6T	67	3T	3T
24	2T	8T	68	1T	1T
25	1T	8T	69	1T	1T
26	2T	8T	70	0	0
27	2T	8T	71	2T	2T
28	1T	8T	72	2T	2T
29	2T	8T	73	1T	1T
30	2T	8T	74	3T	3T
31	2T	8T	75	2T	2T
32	1T	8T	76	1T	1T
33	1T	8T	77	2T	2T
34	1T	8T	78	2T	2T
35	2T	8T	79	2T	2T
36	2T	8T	80	2T	2T
37	3T	3T	81	1T	1T
38	0	0	82	2T	2T
39	2T	2T	83	2T	2T
40	2T	8T	84	2T	2T
41	3T	6T	85	2T	2T
42	2T	2T	86	1T	1T
43	2T	8T	87	1T	1T
44	3T	3T	88(Final)		

Çizelge 3.6. incelendiğinde hızlandırılan tüm faaliyetlerde koji üzerinde çalışma yapan t ile kısaltılmış teknisyen sayısının arttığı görülmektedir. Gantt diyagramında aynı anda yapılan faaliyetler açısından bakıldığında teknisyen sayısının 12'den büyük olduğu görülmektedir. Büyük olan faaliyetlerin listesi Çizelge 3.7. de ve Gantt diyagramı Ek 5 te verilmektedir.

Çizelge 3.7. Personel aşımı

Aynı Anda Yapılan Faaliyet Grupları	Aynı Anda Yapılan Faaliyetler	Kaynaklar	Toplam Kaynak
1	7	8T	16T
	8	8T	
2	29	8T	16T
	24	8T	
3	28	8T	16T
	30	8T	
4	31	8T	24T
	32	8T	
	33	8T	
5	34	8T	16T
	36	8T	
	38	0	
6	40	8T	14T
	41	6T	
7	47	8T	16T
	46	8T	
8	56	8T	16T
	55	8T	
9	57	8T	16T
	60	8T	

Çizelge 3.7. incelendiğinde teknisyen sayısının, toplam 20 faaliyette, 9 grupta koji üzerinde 16 ile 24 arasında 12 teknisyen sayısının aşıldığı görülmektedir.

Bu durumda karar vericiler her bir faaliyeti değerlendirerek %15 ile %25 arasında değişen oranları belirlemiş; belirlenen bu oranlara göre hızlandırılmış zaman ve maliyet üzerinde azaltma yaparak yeni zaman ve maliyetlerin belirlenmesine ve analizin tekrar yapılmasına karar vermişlerdir. %15 ile %25 arasında değişen oranlar ve bu oranlara göre hesaplanmış hızlandırılmış zaman ve maliyetler Çizelge 3.8. de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Belirlenen yeni zaman- maliyet ve eğimler

Faaliyet Adı	Hızlandırma Yüzdeleri	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Normal Maliyet (tl)	Hızlandırılmış Maliyet (tl)	Eğim
1	0,15	40,20	34,17	20.100,00	26.130,00	1000
2	-	23,97	23,97	3.994,84	3.994,84	
3	0,16	32,22	27,06	10.739,89	14.176,66	666,66
4	-	32,05	32,05	8.012,18	8.012,18	
5	0,23	32,10	24,72	18.724,89	27.338,34	1166,66
6	0,18	31,78	26,06	13.241,77	18.008,81	833,34
7	0,15	16,00	13,60	4.000,00	5.200,00	500
8	0,20	16,00	12,80	5.333,28	7.466,59	666,66
9	0,19	32,05	25,96	16.024,68	22.114,06	999,98
10	0,15	24,00	20,40	3.999,84	5.199,79	333,32
11	0,15	24,08	20,47	10.033,17	13.043,12	833,32
12	0,16	39,80	33,43	19.900,00	26.268,00	1000
13	0,18	40,00	32,80	16.666,40	22.666,30	833,32
14	0,21	40,00	31,60	13.333,20	18.933,14	666,66
15	-	16,03	16,03	4.007,34	4.007,34	
16	0,15	39,87	33,89	13.289,87	17.276,83	666,66
17	0,18	40,13	32,91	16.720,57	22.739,97	833,32
18	0,20	40,07	32,06	20.035,00	28.049,00	1000
19	0,21	31,83	25,15	10.609,89	15.066,05	666,66
20	0,17	32,10	26,64	8.024,68	10.753,07	499,98
21	0,23	32,10	24,72	10.699,89	15.621,84	666,66
22	0,20	16,00	12,80	3.999,84	5.599,78	499,98
23	0,15	39,93	33,94	16.637,23	21.628,40	833,32
24	0,23	40,20	30,95	20.100,00	29.346,00	1000
25	0,18	40,00	32,80	10.000,00	13.600,00	500
26	0,15	32,17	27,34	10.723,23	13.940,19	666,66
27	0,20	31,90	25,52	15.950,00	22.330,00	1000
28	0,19	31,90	25,84	7.975,00	11.005,50	500
29	0,20	8,00	6,40	2.666,64	3.733,30	666,66
30	0,17	7,97	6,62	3.985,00	5.339,90	1000
31	0,16	8,00	6,72	1.333,28	1.759,93	333,32
32	0,18	15,90	13,04	3.975,00	5.406,00	500
33	0,21	16,05	12,68	6.687,55	9.496,33	833,34
34	0,18	16,05	13,16	4.012,50	5.457,00	500
35	0,16	15,95	13,40	5.316,61	7.017,93	666,66
36	0,17	15,92	13,21	7.960,00	10.666,40	1000

Çizelge 3.8. (devam) Belirlenen yeni zaman- maliyet ve eğimler

Faaliyet Adı	Hızlandırma Yüzdeleri	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Normal Maliyet (tl)	Hızlandırılmış Maliyet (tl)	Eğim
37	-	16,00	16,00	3.999,84	3.999,84	
38	0,16	-	-	-	-	
39	-	15,97	15,97	5.323,28	5.323,28	
40	0,16	7,98	6,70	2.659,97	3.511,16	666,66
41	0,20	16,05	12,84	9.362,45	13.107,43	1166,66
42	-	8,03	8,03	2.676,64	2.676,64	
43	0,15	40,07	34,06	13.356,53	17.363,49	666,66
44	-	79,73	79,73	19.931,70	19.931,70	
45	0,15	16,05	13,64	4.012,50	5.216,25	500
46	0,20	15,97	12,78	5.323,28	7.452,59	666,66
47	0,19	80,00	64,80	40.000,00	55.200,00	1000
48	0,20	15,97	12,78	5.323,28	7.452,59	666,66
49	-	15,97	15,97	2.661,56	2.661,56	
50	0,15	31,90	27,12	7.975,00	10.367,50	500
51	-	24,00	24,00	6.000,00	6.000,00	
52	0,20	80,27	64,22	26.756,40	37.458,96	666,66
53	-	23,97	23,97	11.985,00	11.985,00	
54	0,21	80,00	63,20	33.333,60	47.333,71	833,34
55	0,23	16,03	12,34	4.007,50	5.850,95	500
56	0,15	16,00	13,60	1.333,28	1.733,26	166,66
57	0,17	15,95	13,24	3.987,50	5.343,25	500
58	-	16,05	16,05	5.349,95	5.349,95	
59	-	32,00	32,00	13.333,12	13.333,12	
60	0,20	7,97	6,38	1.992,50	2.789,50	500
61	-	8,00	8,00	2.666,64	2.666,64	
62	-	7,97	7,97	2.656,64	2.656,64	
63	-	16,00	16,00	5.333,28	5.333,28	
64	-	24,00	24,00	9.999,84	9.999,84	
65	-	8,00	8,00	2.000,00	2.000,00	
66	-	48,08	48,08	28.046,51	28.046,51	
67	-	47,77	47,77	27.865,67	27.865,67	
68	-	8,03	8,03	2.007,50	2.007,50	
69	-	8,03	8,03	2.007,50	2.007,50	
70	-	7,97	7,97	1.328,36	1.328,36	
71	-	8,00	8,00	2.666,64	2.666,64	
72	-	7,98	7,98	2.659,97	2.659,97	

Çizelge 3.8. (devam) Belirlenen yeni zaman- maliyet ve eğimler

Faaliyet Adı	Hızlandırma Yüzdeleri	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Normal Maliyet (tl)	Hızlandırılmış Maliyet (tl)	Eğim
73	-	8,00	8,00	2.000,00	2.000,00	
74	-	48,23	48,23	20.095,51	20.095,51	
75	-	48,17	48,17	16.056,51	16.056,51	
76	-	8,02	8,02	2.005,00	2.005,00	
77	-	7,97	7,97	2.656,64	2.656,64	
78	-	16,00	16,00	5.333,28	5.333,28	
79	-	16,08	16,08	5.359,95	5.359,95	
80	-	8,00	8,00	2.666,64	2.666,64	
81	-	7,98	7,98	1.995,00	1.995,00	
82	-	15,95	15,95	5.316,61	5.316,61	
83	-	16,00	16,00	5.333,28	5.333,28	
84	-	15,95	15,95	5.316,61	5.316,61	
85	-	16,00	16,00	5.333,28	5.333,28	
86	-	16,10	16,10	1.341,61	1.341,61	
87	-	15,92	15,92	5.306,61	5.306,61	
88(Final)						

Çizelge 8 de belirlenen yeni hızlandırılmış zaman ve maliyetlere göre karar vericiler projenin 15 gün erken tamamlanmasını istemişlerdir. Ancak faaliyetlerin sürelerinin saat ile tanımlanması nedeni ile istenen 15 günün saate dönüştürülmesi gerekmektedir. Firmada 5 gün, günde 20 saat ve 2 gün toplamda 24 saat çalışılmakta olup; 15 gün 238 saate karşılık gelmekte olduğu hesaplanmıştır. Dolayısı ile istenen proje tamamlanma zamanı 1.336,48-246=1090,14 saat dir. İstenen 246 saat erken tamamlanma zamanı için doğrusal model kurulmuş ve çözülmüştür. Kurulan model ek 6 da verilmektedir.

Çözüm sonucu elde edilen ek hızlandırma maliyeti 190.313,52 tl olup projenin 1098 saatte tamamlanma maliyeti 190.313,52+774.853,2492=965.166,77 tl dir. Çözümde hızlanan faaliyetler ve hızlanma süreleri Çizelge 3.9.'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Hızlanan faaliyetler ve hızlanma süreleri

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)
1	40,20	34,17	45	16,05	13,64
2	23,97	23,97	46	15,97	12,78
3	32,22	27,06	47	80,00	64,80
4	32,05	32,05	48	15,97	12,78
5	32,10	24,72	49	15,97	15,97
6	31,78	26,06	50	31,90	27,12
7	16,00	13,60	51	24,00	24,00
8	16,00	12,80	52	80,27	64,22
9	32,05	25,96	53	23,97	23,97
10	24,00	20,40	54	80,00	63,20
11	24,08	20,47	55	16,03	12,34
12	39,80	33,43	56	16,00	13,60
13	40,00	32,80	57	15,95	13,24
14	40,00	31,60	58	16,05	16,05
15	16,03	16,03	59	32,00	32,00
16	39,87	33,89	60	7,97	6,38
17	40,13	32,91	61	8,00	8,00
18	40,07	32,06	62	7,97	7,97
19	31,83	25,15	63	16,00	16,00
20	32,10	26,64	64	24,00	24,00
21	32,10	24,72	65	8,00	8,00
22	16,00	12,80	66	48,08	48,08
23	39,93	33,94	67	47,77	47,77
24	40,20	30,95	68	8,03	8,03
25	40,00	32,80	69	8,03	8,03
26	32,17	27,34	70	7,97	7,97
27	31,90	25,52	71	8,00	8,00
28	31,90	25,84	72	7,98	7,98
29	8,00	6,40	73	8,00	8,00
30	7,97	6,62	74	48,23	48,23
31	8,00	6,72	75	48,17	48,17
32	15,90	13,04	76	8,02	8,02
33	16,05	12,68	77	7,97	7,97
34	16,05	13,16	78	16,00	16,00
35	15,95	13,40	79	16,08	16,08
36	15,92	13,21	80	8,00	8,00
37	16,00	16,00	81	7,98	7,98

Çizelge 3.9. (devam) Hızlanan faaliyetler ve hızlanma süreleri

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)
8	-	-	82	15,95	15,95
39	15,97	15,97	83	16,00	16,00
40	7,98	6,70	84	15,95	15,95
41	16,05	12,84	85	16,00	16,00
42	8,03	8,03	86	16,10	16,10
43	40,07	34,06	87	15,92	15,92
44	79,73	79,73	88(Final)		

Projenin uygulandığı montaj hattında daha önce de ifade edildiği gibi koji üzerinde kaza kırımına engel olmak için çalışabilecek maksimum sayıdaki personel sayısının 12'yi geçmemesi gerekmektedir. Dolayısı ile elde edilen hızlandırmalarda bu kısıtın kontrol edilmesi gerekmektedir. Çözüm sonucu hızlanan faaliyetlerin personel sayıları Çizelge 3.10.' da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Hızlandırılmış faaliyetlerde kaynak miktarları

Faaliyet Adı	Çalışan Sayısı (Normal Zaman)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış Zaman)	Faaliyet Adı	Çalışan Sayısı (Normal Zaman)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış Zaman)
1	2T	4T	45	1T	2T
2	2T	4T	46	2T	4T
3	2T	4T	47	2T	4T
4	3T	6T	48	2T	4T
5	3T	6T	49	2T	4T
6	1T	2T	50	1T	2T
7	1T	2T	51	1T	2T
8	2T	4T	52	2T	4T
9	3T	6T	53	2T	4T
10	2T	4T	54	1T	2T
11	3T	6T	55	1T	2T
12	2T	4T	56	1T	2T
13	3T	6T	57	1T	2T
14	1T	2T	58	2T	4T
15	3T	6T	59	3T	6T

Çizelge 3.10. (devam) Hızlandırılmış faaliyetlerde kaynak miktarları

Faaliyet Adı	Çalışan Sayısı (Normal Zaman)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış Zaman)	Faaliyet Adı	Çalışan Sayısı (Normal Zaman)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış Zaman)
16	2T	4T	60	1T	2T
17	3T	6T	61	2T	4T
18	2T	4T	62	2T	4T
19	2T	4T	63	2T	4T
20	3T	6T	64	3T	6T
21	2T	4T	65	1T	2T
22	3T	6T	66	3T	6T
23	3T	6T	67	3T	6T
24	2T	4T	68	1T	2T
25	1T	2T	69	1T	2T
26	2T	4T	70	1T	2T
27	2T	4T	71	2T	4T
28	1T	2T	72	2T	4T
29	2T	4T	73	1T	2T
30	2T	4T	74	3T	6T
31	2T	4T	75	2T	4T
32	1T	2T	76	1T	2T
33	1T	2T	77	2T	4T
34	1T	2T	78	2T	4T
35	2T	4T	79	2T	4T
36	2T	4T	80	2T	4T
37	3T	6T	81	1T	2T
38			82	2T	4T
39	2T	4T	83	2T	4T
40	2T	4T	84	2T	4T
41	3T	6T	85	2T	4T
42	2T	4T	86	1T	2T
43	2T	4T	87	1T	2T
44	3T	6T	88(Final)		

Çizelge 10 incelendiğinde, hızlandırılan bazı faaliyetlerde koji üzerinde çalışma yapan teknisyen sayısının arttığı görülmektedir. Proje Gantt diyagramında koji üzerinde aynı anda yapılan faaliyetler açısından değerlendirildiğinde personel sayısının 12'yi aşmadığı görülmektedir.

Elde edilen sonuca göre projenin 1.090,14 saatte tamamlanma maliyeti 965.166,77 tl dir. Karar vericiler istenen koji üzerinde çalışma yapan personel sayısının aşılmadığını ancak maliyetin katlanılabilir düzeyin üzerinde olduğunu değerlendirmişlerdir. Bu noktada birden çok amaca hizmet eden bir matematiksel model kullanımının problemin çözümü için uygun olduğu değerlendirilmiş ve hedef programlamanın kullanılmasına karar verilmiştir.

3.4. Hedef Programlama

Çalışmada hedef programlama modelinin amacı, alternatif yollar arasında uçak üzerinde çalışabilecek maksimum personel sayısı kısıtına da dikkate alarak en düşük maliyetle hızlandırılabilecek kritik yolu belirlemektir. Bu amaçla ağırlıklı hedef programlama modeli oluşturulmuştur.

Modelde ağırlıklar, her bir faaliyetin eğimi ile ilgili faaliyet için karar vericiler tarafından ilgili faaliyetin gerçekleştirilmesi için koji üzerinde bulunabilecek maksimum personel sayısı gözetilerek belirlenen katsayı ile çarpılarak hesaplanmıştır. Kurulan modeli kapalı gösterimi aşağıda, açık hali Ek 7 de verilmiştir.
n adet değişken ve m adet amaçtan oluşan genel hedef programlama modeli yer verilmektedir;

$$Minz = d_1^+ + d_1^- + d_2^+ + d_2^- + \cdots + d_m^+ + d_m^-$$
$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n + d_1^- - d_1^+ = b_1$$
$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n + d_2^- - d_2^+ = b_2$$
$$\vdots$$
$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n + d_m^- - d_m^+ = b_m$$
$$x_j \geq 0 \quad j = 1,2 \ldots, n$$
$$d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad i = 1,2, \ldots, m$$

Burada; b_i i. amacın hedef değerini ifade etmektedir.

$f_i(x) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j$ olmak üzere, hedef programlamada amaç kısıtlarını oluşturmada üç farklı durum ortaya çıkmaktadır;
$f_i(x) \leq b_i$, burada b_i hedef değerinin aşılmaması istenmektedir.

$f_i(x) \geq b_i$, burada b_i hedef değerinin altına inilmemesi istenmektedir.

$f_i(x) = b_i$, burada ise b_i hedef değerine eşit olması istenmektedir.

Her bir amacın amaç kısıtları aşağıdaki gibi yazılabilir;

$f_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i$

Kurulan hedef modeli Gams paket programı ile çözülmüş ve elde edilen çözüm aşağıda verilmiştir.

Elde edilen çözüme göre hızlanan faaliyetler, hızlanma zamanları, maliyetleri ve kaynakları Çizelge 3.11.'de verilmektedir.

Çizelge 3.11. Hedef programlama modeli çözümüne göre hızlanan faaliyetler, maliyetleri ve kaynaklar

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Normal Maliyet (tl)	Hızlandırılmış Maliyet (tl)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış)
1	40,2	34,17	20100	26130	3T
2	23,97	23,97	3994,84	3994,84	3T
3	32,22	27,0648	10739,9	14176,7	3T
4	32,05	32,05	8012,18	8012,18	4T
5	32,1	24,717	18724,9	27338,3	5T
6	31,78	26,0596	13241,8	18008,8	2T
7	16	13,6	4000	5200	2T
8	16	12,8	5333,28	7466,59	3T
9	32,05	25,9605	16024,7	22114,1	5T
10	24	24	3999,84	0	3T
11	24,08	20,468	10033,2	13043,1	5T
12	39,8	33,432	19900	26268	3T
13	40	32,8	16666,4	22666,3	5T
14	40	31,6	13333,2	18933,1	2T
15	16,03	16,03	4007,34	4007,34	4T
16	39,87	33,8895	13289,9	13289,9	3T
17	40,13	32,9066	16720,6	22740	5T
18	40,07	32,056	20035	20035	3T
19	31,83	25,1457	10609,9	15066	3T

Çizelge 3.11. (devam) Hedef programlama modeli çözümüne göre hızlanan faaliyetler, maliyetleri ve kaynaklar

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Normal Maliyet (tl)	Hızlandırılmış Maliyet (tl)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış)
20	32,1	26,643	8024,68	8024,68	4T
21	32,1	24,717	10699,9	15621,8	3T
22	16	12,8	3999,84	3999,84	4T
23	39,93	33,9405	16637,2	21628,4	5T
24	40,2	30,954	20100	29346	3T
25	40	32,8	10000	13600	2T
26	32,17	27,3445	10723,2	13940,2	3T
27	31,9	25,52	15950	22330	3T
28	31,9	25,839	7975	11005,5	2T
29	8	6,4	2666,64	3733,3	3T
30	7,97	6,6151	3985	5339,9	3T
31	8	6,72	1333,28	1759,93	3T
32	15,9	13,038	3975	5406	2T
33	16,05	12,6795	6687,55	9496,33	2T
34	16,05	13,161	4012,5	5457	2T
35	15,95	13,398	5316,61	7017,93	3T
36	15,92	13,2136	7960	10666,4	3T
37	16	16	3999,84	3999,84	4T
38	0	0	0	0	
39	15,97	15,97	5323,28	5323,28	3T
40	7,98	6,7032	2659,97	3511,16	3T
41	16,05	12,84	9362,45	13107,4	5T
42	8,03	8,03	2676,64	2676,64	3T
43	40,07	34,0595	13356,5	17363,5	3T
44	79,73	79,73	19931,7	19931,7	4T
45	16,05	13,6425	4012,5	5216,25	2T
46	15,97	12,776	5323,28	7452,59	3T
47	80	64,8	40000	55200	3T
48	15,97	12,776	5323,28	7452,59	3T
49	15,97	15,97	2661,56	2661,56	3T
50	31,9	27,115	7975	10367,5	2T
51	24	24	6000	6000	2T
52	80,27	64,216	26756,4	37459	3T
53	23,97	23,97	11985	11985	3T

Çizelge 3.11. (devam) Hedef programlama modeli çözümüne göre hızlanan faaliyetler, maliyetleri ve kaynaklar

Faaliyet Adı	Normal Zaman (saat)	Hızlandırılmış Zaman (saat)	Normal Maliyet (tl)	Hızlandırılmış Maliyet (tl)	Çalışan Sayısı (Hızlandırılmış)
54	80	63,2	33333,6	47333,7	2T
55	16,03	12,3431	4007,5	5850,95	2T
56	16	13,6	1333,28	1733,26	2T
57	15,95	13,2385	3987,5	5343,25	2T
58	16,05	16,05	5349,95	5349,95	3T
59	32	32	13333,1	13333,1	5T
60	7,97	6,376	1992,5	2789,5	2T
61	8	8	2666,64	2666,64	3T
62	7,97	7,97	2656,64	2656,64	3T
63	16	16	5333,28	5333,28	3T
64	24	24	9999,84	9999,84	5T
65	8	8	2000	2000	2T
66	48,08	48,08	28046,5	28046,5	5T
67	47,77	47,77	27865,7	27865,7	5T
68	8,03	8,03	2007,5	2007,5	2T
69	8,03	8,03	2007,5	2007,5	2T
70	7,97	7,97	1328,36	1328,36	
71	8	8	2666,64	2666,64	3T
72	7,98	7,98	2659,97	2659,97	3T
73	8	8	2000	2000	2T
74	48,23	48,23	20095,5	20095,5	5T
75	48,17	48,17	16056,5	16056,5	3T
76	8,02	8,02	2005	2005	2T
77	7,97	7,97	2656,64	2656,64	3T
78	16	16	5333,28	5333,28	3T
79	16,08	16,08	5359,95	5359,95	3T
80	8	8	2666,64	2666,64	3T
81	7,98	7,98	1995	1995	2T
82	15,95	15,95	5316,61	5316,61	3T
83	16	16	5333,28	5333,28	3T
84	15,95	15,95	5316,61	5316,61	3T
85	16	16	5333,28	5333,28	3T
86	16,1	16,1	1341,61	1341,61	1T
87	15,92	15,92	5306,61	5306,61	2T

Çizelge incelendiğinde hızlanan faaliyetlerde çalışan teknisyen sayısının 12'nin altında olduğu görülmektedir. Ancak aynı anda yapılan faaliyetlerin olması nedeni ile elde edilen zamanlara göre Gantt şemasının değerlendirilmesi gerekmektedir. Hazırlanan Gantt şeması Ek 8 de verilmektedir. Gantt şemasına göre aynı anda yapılan faaliyetlerde çalışan sayıları Çizelge 12 de verilmektedir.

Çizelge 3.12. Personel aşımı

Aynı Anda Yapılan Faaliyet Grupları	Aynı Anda Yapılan Faaliyetler	Kaynaklar	Toplam Kaynak
1	7	2T	4T
	8	2T	
2	29	3T	6T
	24	3T	
3	28	2T	5T
	30	3T	
4	31	3T	7T
	32	2T	
	33	2T	
5	34	2T	5T
	36	3T	
	38	0	
6	40	3T	8T
	41	5T	
7	47	3T	6T
	46	3T	
8	56	2T	4T
	55	2T	
9	57	2T	4T
	60	2T	

Çizelge 3.12. incelendiğinde toplam kaynak miktarlarının limiti aşmadığı görülmektedir. Model sonucunda karar vericilerin istekleri doğrultusunda istenen hedefe ulaşılmış olup projenin en kısa tamamlanma zamanı 1.196,439 saat ve maliyeti 774.853,25+86856,15 =861.709,40 tl dir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz rekabet ortamında, büyük ölçekli projelerin planlanması ve kontrolü, projenin başarısı ve projenin verimli ilerlemesi için büyük önem taşımaktadır. Proje yönetiminin temel amacı, projenin müşterinin talep ettiği tarihte minimum maliyetle tamamlanmasını sağlarken karı maksimize etmektir. Büyük projelerde projelerin gecikmesi firmalara büyük kayıplar yaşatabilmektedir.

Savunma sanayi projeleri, ülkelerin bu sektörde dışa bağımlılığını azaltmak için çok önemlidir ve ayrılan bütçeler çok yüksektir. Bu projelerin hedeflerine ulaşabilmesi, ayrılan bütçelerin verimli kullanılabilmesi ve dış müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi için projelerin planlanması ayrı bir önem taşımaktadır. Bu projelerde müşteri projesini en kısa sürede minimum maliyetle tamamlayarak müşteri memnuniyetinin sağlanması hedeflenmektedir. Böylece projeyi gerçekleştiren firmanın projeyi en düşük maliyetle ve en yüksek karla tamamlaması mümkün olacaktır. Projelerde bazı faaliyetler planlanandan daha uzun sürebilir veya hurda ürünler ortaya çıkabilir. Bu gibi durumlarda projenin istenilen tarihe teslimi için kalan süreçlerin hızlandırılması gerekebilir. Bu hızlandırma yapılırken faaliyetler minimum maliyet artışına neden olacak şekilde hızlandırılmalıdır.

Bu çalışmada pilot olarak seçilen 88 etkinlik için hızlandırma çalışmaları yapılmıştır. Projenin ulusal gizli bir proje olması nedeniyle faaliyet adları numara ile belirtilmiştir. Savunma sanayi projesi için gerekli olan 88 faaliyetin her bir faaliyeti için süre, öncüllük, ardıllık ve çalışan sayısı kullanılarak kritik yol ilk olarak PERT yöntemi ile bulunmuş ve bu kritik yol üzerinde hızlandırma çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada öncelikle faaliyetlerin bir şebeke oluşturulmuştur. Şebeke sayesinde, projenin faaliyetleri ve aralarındaki ilişkiler açıkça görülebilir. Daha sonra, PERT için gereken beklenen süreler iyimser, kötümser ve büyük olasılıkla zamanlar kullanılarak hesaplanmıştır. Normal ve hızlandırılmış sürelerle yapılan PERT analizleri sonucunda proje; projenin toplam tamamlanma süresi, kritik faaliyetleri, kritik yolu ve maliyeti hesaplanmıştır. İlk aşamada birim hızlandırma maliyetleri dikkate alınarak hızlandırma yapılmış bu durumda koji üzerinde bulunacak maksimum kişi sayısı aşılmış ardından firmadan temin edilen kat sayılarla hızlandırma yapılmış ancak maliyetler katlanılabilir düzeyde çıkmamıştır. Bu durumda birden çok amaca hizmet eden

bir optimizasyon modeli olan hedef programlamanın kullanımı uygun bulunmuş, firma tarafından belirlenen ağırlıklarla yeni bir model kurulmuştur.

Çalışmada öncelikle faaliyetlerin tanımlı süreleri ve öncüllük ardıllık ilişkisi ile kritik yolu bulunmuştur.

Projenin kritik yolu şu şekildedir;
0-1-3-5-6-7-8-9-11-12-13-14-16-18-20-22-17-19-21-23-25-27-29-24-26-28-30-31-32-33-35-34-36-38-40-41-43-45-47-46-48-50-52-54-56-55-57-60-88

Bu kritik yolun tamamlanma süresi 1336,48 saat olup, projedeki tüm görevlerin maliyeti 774.853,25 tl dir. Kurulan ağırlıklı hedef programlama modelinin ardından tamamlanma zamanı 1.196,439 saat ve maliyeti 774.853,25+86856,15 =861.709,40 tl dir.

KAYNAKLAR

Bayar, S. ve Akan, E. (2021). PERT Simülasyon Yöntemiyle Denizyolu Lojistiği İhracat Süreç Analizi. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 10*(2), 1053-1069.

Dantzig, G. B., and Thapa, M. N. (1997). *Linear Programming: 2: Theory and Extensions.* New York: Springer, 42-45.

Duran, C. (2007). *CPM-PERT Modelleri Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yöneylem Araştırması Bilim Dalı, İstanbul, 24-28.

Dyer, J.S. (1981). *Model Formulation and Solution Methods*. 2nd Edition, New Jersey: John Wiley and Sons, 45-57.

Gass, S. I. (1986). The Setting of Weights in Lınear Goal Programming Problems. *College of Business and Management*, 277-229.

Gür, İ. (2006). *Proje Yönetiminde PERT/CPM' in Proses Modeli ile Simüle Edilmesi ve Bir Uygulama.* Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 10-11.

Kızıl, F. (2020, Ocak). *İnsansız Hava Aracı Yapımının Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) ile Planlanması*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi, Eskişehir, 78-83.

Korkmaz, G. (2022). Gelecek Öngörüleri ve Alınan Dersler Çerçevesinde Savunma Tedarik Projeleri. *Savunma Bilimleri Dergisi,* 1(41), 163-204.

Kömürlü, R., ve Toltar, L. (2018). İnşaatta Proje Yönetimi; Projenin Başarısına Etkisi. *Journal of Architecture and Lif*e, 3(2), 249-258.

Lee, S. M., and Olson, D. L. (1967). Goal Programming and Multiple Objective Decision. *Management Science,* 13(5), 472-481.

Meier, S. R. (2013). Leading complex projects in the DoD. *Defense AT&L Magazine,* 42(3), 22-28.

Seker, S. E. (2015). Proje Yönetimi, PERT, CPM ve İndirgeme (Crashing). *YBS Ansiklopedi, 2*(1), 2-6.

Solmaz, H. (2004). *Türk Savunma Sanayii Proje Yönetiminde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri.* Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 45-49.

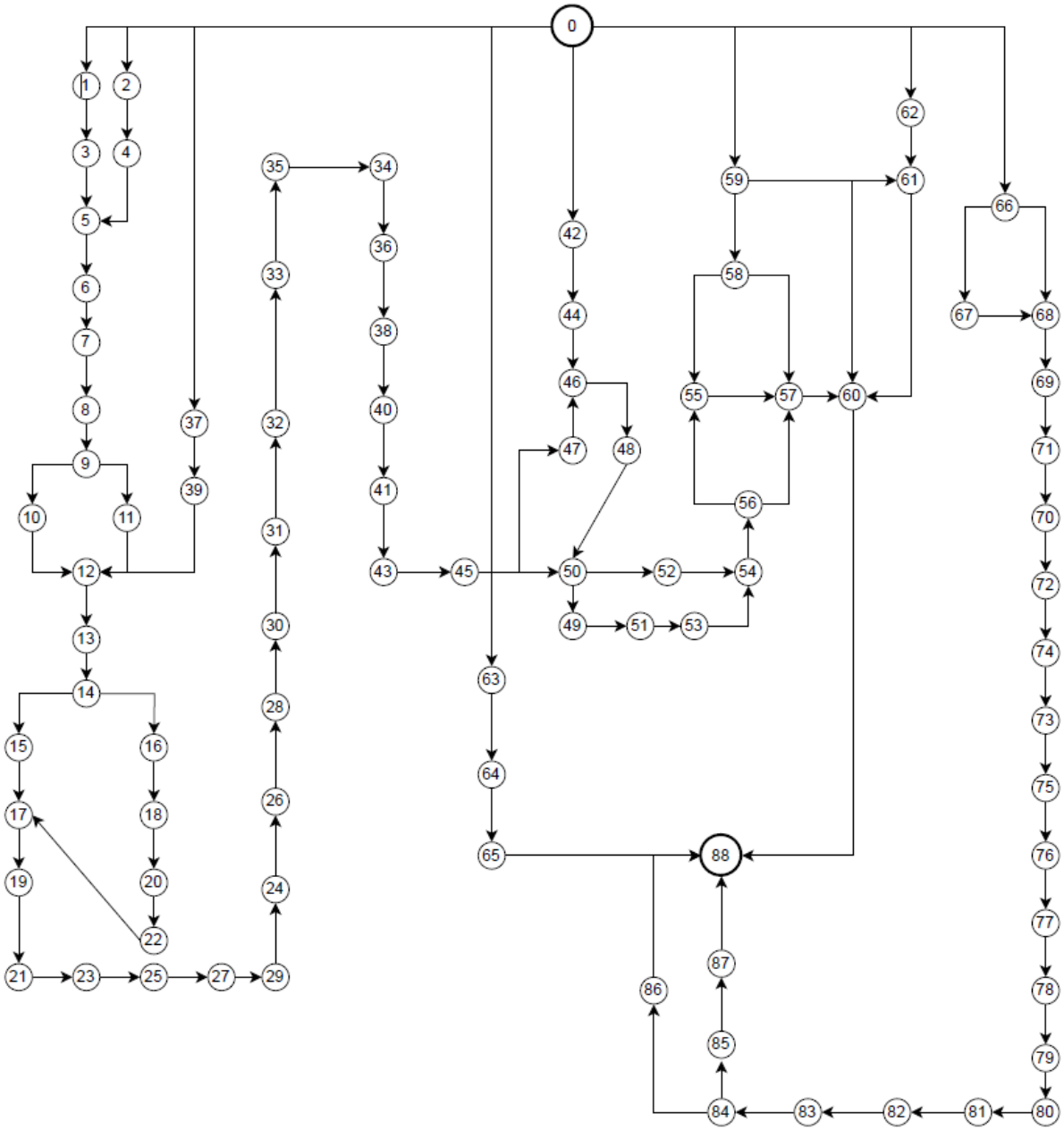
Tamiz, M., and Jones, D. F. (1995). A Review of Goal Programming and Its Applications. *School of Mathematical Studies*, 58(3), 39-53.

Taylor, B. W., Bector, C. R., Bhatt, S. K., and Rosenbloom, E. S. (2013). *Introduction to Management Science*. Boston: Pearson, 98-105.

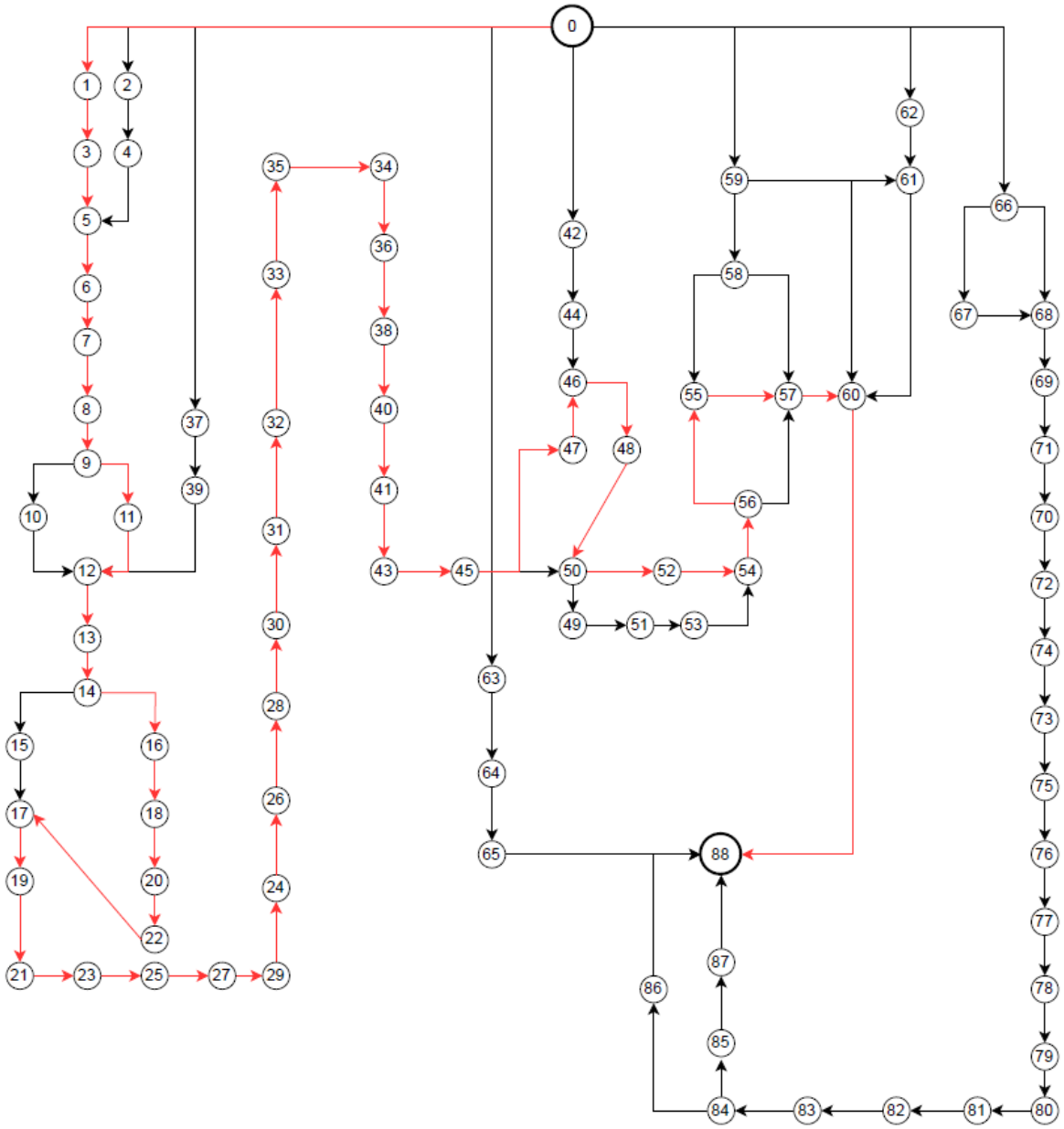
Topcu, M. K. (2021). Savunma Tedarik Proje Yönetiminde Entegre Proje Ekiplerinin Kullanımına Yönelik Bir Model Önerisi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, (39), 211-248.

EKLER

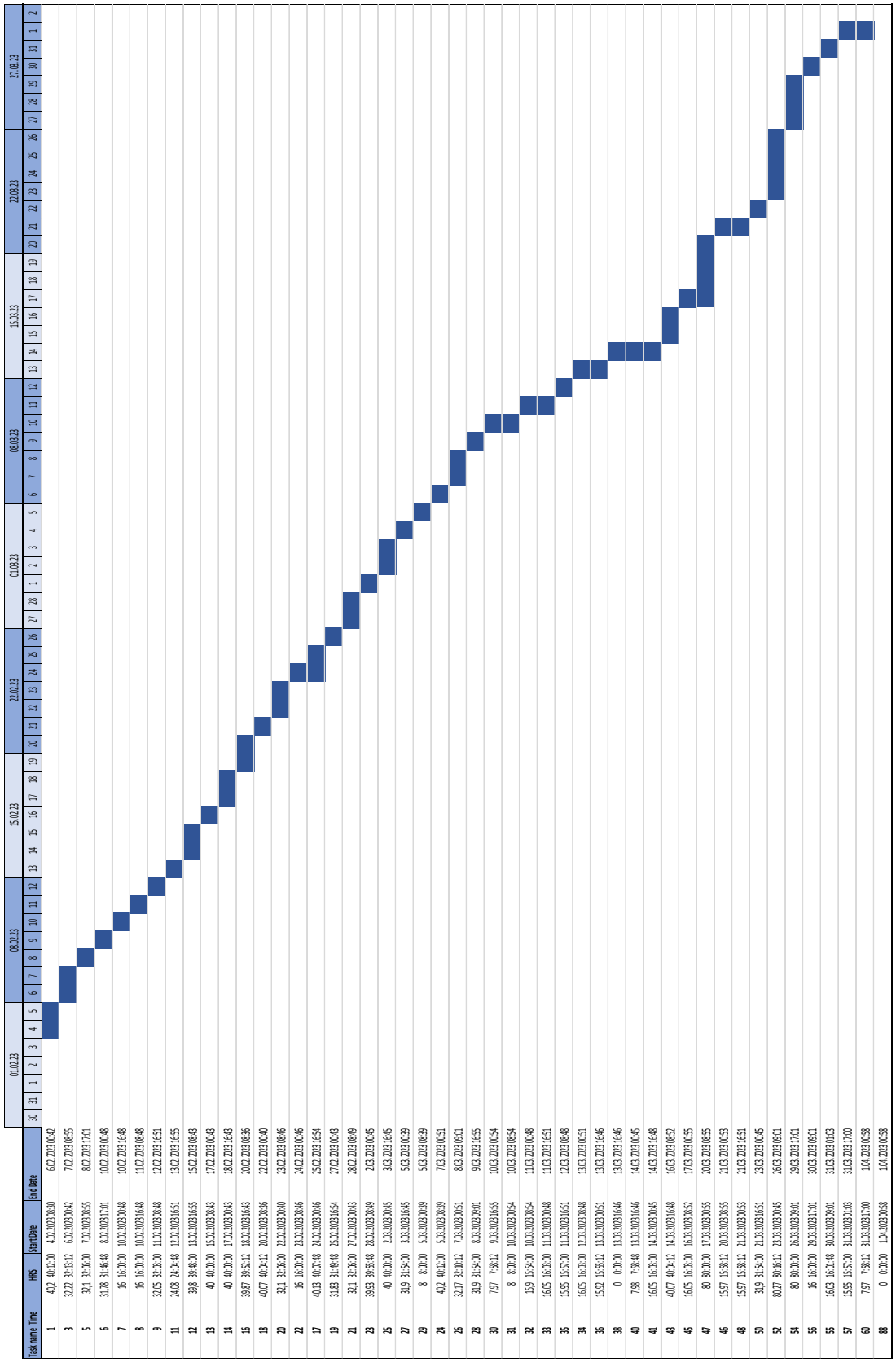
Ek-1. Proje Şebekesi



Ek-2. Kritik Yol



Ek-3. Gantt Şemasının Kullanımı



Ek-4. Doğrusal Programlama Modeli

Minz = 500*x01+ 333,33*x13+ 583,33*x35+ 583,33*x25+ 833,34*x56+
500*x67+ 333,33*x78+ 499,99*x89+ 833,32*x911+ 500*x1012+
500*x1112+ 833,32*x1213+ 333,33*x1314+ 499,98*x1415 +
833,32*x1517+ 833,32*x2217+ 333,33*x1719+ 333,33*x1921+
833,32*x2123+ 500*x2527+ 333,33*x2729+ 500*x2924+
333,33*x2426+ 500*x2628+ 500*x2830+ 333,32*x3031+
500*x3132+ 833,34*x3233+ 333,33*x3335+ 500*x3534+
500*x3436+ 333,33*x3840+ 583,33*x4041+ 333,33*x4143+
500*x4345+ 500*x4547+ 500*x4550+ 333,33*x4746+ 333,33*x4648+
500*x4850+ 333,33*x5052+ 500*x4951+ 833,34*x5354+
833,34*x5254+ 166,66*x5456+ 500*x5655+ 500*x5657+
500*x5557+ 500*x5760+ 500*x3912+ 333,33*x4446+ 500*x5855+
500*x5857 + 500*x5960+ +500*x6160

x01<=6,03
x02<=4,3146
x13<=5,1552
x35<=7,383
x24<=4,8075
x25<=7,383
x56<=5,7204
x67<=2,4
x78<=3,2
x89<=6,0895
x910<=2,4
x911<=3,612
x1012<=6,368
x1112<=6,368
x1213<=7,2
x1314<=8,4
x1415<=1,9236
x1416<=5,9805
x1517<=7,2234
x1618<=8,014
x1820<=5,457
x2022<=3,2
x2217<=7,2234
x1719<=6,6843
x1921<=7,383
x2123<=5,9895
x2527<=6,38

Ek-4. (devam) Doğrusal Programlama Modeli

x2729<=1,6
x2924<=9,246
x2426<=4,8255
x2628<=6,061
x2830<=1,3549
x3031<=1,28
x3132<=2,862
x3233<=3,3705
x3335<=2,552
x3534<=2,889
x3436<=2,7064
x3638<=0
x3840<=1,2768
x4041<=3,21
x4143<=6,0105
x4345<=2,4075
x4547<=15,2
x4550<=4,785
x4746<=3,194
x4648<=3,194
x4850<=4,785
x5049<=2,7149
x5052<=16,054
x4951<=4,56
x5153<=3,3558
x5354<=16,8
x5254<=16,8
x5456<=2,4
x5655<=3,6869
x5657<=2,7115
x5557<=2,7115
x5760<=1,594
x6088<=0
x037<=2,4
x3739<=2,8746
x3912<=6,368
x042<=1,4454
x4244<=10,3649
x4446<=3,194
x063<=1,6
x6364<=3,84
x6465<=1,2

Ek-4. (devam) Doğrusal Programlama Modeli

x6588<=0
x059<=6,72
x5958<=1,605
x5855<=3,6869
x5857<=2,7115
x5961<=0,8
x5960<=1,594
x062<=0,8767
x6261<=0,8
x6160<=1,594
x066<=8,1736
x6667<=9,0763
x6768<=1,606
x6869<=1,606
x6971<=0,96
x7170<=0,797
x7072<=1,0374
x7274<=9,1637
x7473<=0,8
x7375<=8,1889
x7576<=0,802
x7677<=1,1158
x7778<=2,72
x7879<=2,412
x7980<=0,8
x8081<=0,8778
x8182<=2,871
x8283<=3,2
x8384<=3,0305
x8485<=3,2
x8587<=2,388
x8486<=2,415
x8688<=0
x8788<=0

x01+y1-y0=>40,2
x02+y2-y0=>23,97
x13+y3-y1=>32,22
x35+y5-y3=>32,1
x24+y4-y2=>32,05
x25+y5-y2=>32,1

Ek-4. (devam) Doğrusal Programlama Modeli

x56+y6-y5=>31,78
x67+y7-y6=>16
x78+y8-y7=>16
x89+y9-y8=>32,05
x910+y10-y9=>24
x911+y11-y9=>24,08
x1012+y12-y10=>39,8
x1112+y12-y11=>39,8
x1213+y13-y12=>40
x1314+y14-y13=>40
x1415 + y15 - y14=>16,03
x1416 + y16 - y14=>39,87
x1517 + y17 - y15=>40,13
x1618 + y18 - y16=>40,07
x1820 + y20 - y18=>32,1
x2022 + y22 - y20=>16
x2217 + y17 - y22=>40,13
x1719 + y19 - y17=>31,83
x1921 + y21 - y19=>32,1
x2123 + y23 - y21=>39,93
x2527 + y27 - y25=>31,9
x2729 + y29 - y27=>8
x2924 + y24 - y29=>40,2
x2426 + y26 - y24=>32,17
x2628 + y28 - y26=>31,9
x2830 + y30 - y28=>7,97
x3031 + y31 - y30=>8
x3132 + y32 - y31=>15,9
x3233 + y33 - y32=>16,05
x3335 + y35 - y33=>15,95
x3534 + y34 - y35=>16,05
x3436 + y36 - y34=>15,92
x3638 + y38 - y36=>0
x3840 + y40 - y38=>7,98
x4041 + y41 - y40=>16,05
x4143 + y43 - y41=>40,07
x4345 + y45 - y43=>16,05
x4547 + y47 - y45=>80
x4550 + y50 - y45=>31,9
x4746 + y46 - y47=>15,97
x4648 + y48 - y46=>15,97
x4850 + y50 - y48=>31,9

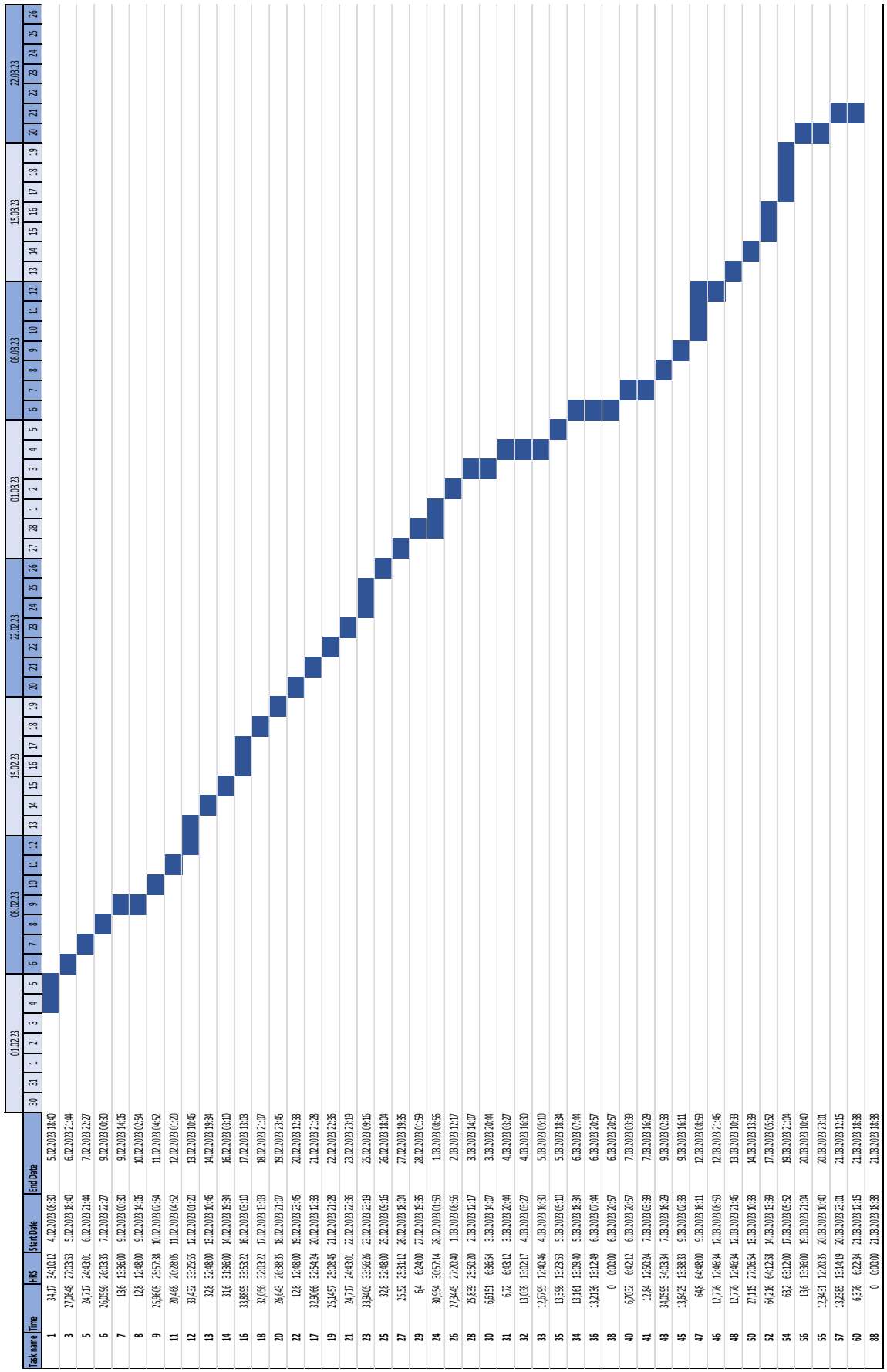
Ek-4. (devam) Doğrusal Programlama Modeli

x5049 + y49 - y50=>15,97
x5052 + y52 - y50=>80,27
x4951 + y51 - y49=>24
x5153 + y53 - y51=>23,97
x5354 + y54 - y53=>80
x5254 + y54 - y52=>80
x5456 + y56 - y54=>16
x5655 + y55 - y56=>16,03
x5657 + y57 - y56=>15,95
x5557 + y57 - y55=>15,95
x5760 + y60 - y57=>7,97
x6088 + y88 - y60=>0
x037 + y37 - y0=>16
x3739 + y39 - y37=>15,97
x3912 + y12 - y39=>39,8
x042 + y42 - y0=>8,03
x4244 + y44 - y42=>79,73
x4446 + y46 - y44=>15,97
x063 + y63 - y0=>16
x6364 + y64 - y63=>24
x6465 + y65 - y64=>8
x6588 + y88 - y65=>0
x059 + y59 - y0=>32
x5958 + y58 - y59=>16,05
x5855 + y55 - y58=>16,03
x5857 + y57 - y58=>15,95
x5961 + y61 - y59=>8
x5960 + y60 - y59=>7,97
x062 + y62 - y0=>7,97
x6261 + y61 - y62=>8
x6160 + y60 - y61=>7,97
x066 + y66 - y0=>48,08
x6667 + y67 - y66=>47,77
x6768 + y68 - y67=>8,03
x6869 + y69 - y68=>8,03
x6971 + y71 - y69=>8
x7170 + y70 - y71=>7,97
x7072 + y72 - y70=>7,98
x7274 + y74 - y72=>48,23
x7473 + y73 - y74=>8

Ek-4. (devam) Doğrusal Programlama Modeli

x7375 + y75 - y73=>48,17
x7576 + y76 - y75=>8,02
x7677 + y77 - y76=>7,97
x7778 + y78 - y77=>16
x7879 + y79 - y78=>16,08
x7980 + y80 - y79=>8
x8081 + y81 - y80=>7,98
x8182 + y82 - y81=>15,95
x8283 + y83 - y82=>16
x8384 + y84 - y83=>15,95
x8485 + y85 - y84=>16
x8587 + y87 - y85=>15,92
x8486 + y86 - y84=>16,1
Y0=0
y88<= 1093,7507
xij, yk=>0

Ek-5. Hızlandırma Sonrası Gantt Şemasının Kullanımı



Ek-6. Kat Sayılar ile Kurulmuş Doğrusal Programlama Modeli

x01<=6,03
x02<=4,3146
x13<=5,1552
x35<=7,383
x24<=4,8075
x25<=7,383
x56<=5,7204
x67<=2,4
x78<=3,2
x89<=6,0895
x910<=2,4
x911<=3,612
x1012<=6,368
x1112<=6,368
x1213<=7,2
x1314<=8,4
x1415<=1,9236
x1416<=5,9805
x1517<=7,2234
x1618<=8,014
x1820<=5,457
x2022<=3,2
x2217<=7,2234
x1719<=6,6843
x1921<=7,383
x2123<=5,9895
x2527<=6,38
x2729<=1,6
x2924<=9,246
x2426<=4,8255
x2628<=6,061
x2830<=1,3549
x3031<=1,28
x3132<=2,862
x3233<=3,3705
x3335<=2,552
x3534<=2,889
x3436<=2,7064
x3638<=0
x3840<=1,2768
x4041<=3,21
x4143<=6,0105

Ek-6. (devam) Kat Sayılar ile Kurulmuş Doğrusal Programlama Modeli

x4345<=2,4075
x4547<=15,2
x4550<=4,785
x4746<=3,194
x4648<=3,194
x4850<=4,785
x5049<=2,7149
x5052<=16,054
x4951<=4,56
x5153<=3,3558
x5354<=16,8
x5254<=16,8
x5456<=2,4
x5655<=3,6869
x5657<=2,7115
x5557<=2,7115
x5760<=1,594
x6088<=0
x037<=2,4
x3739<=2,8746
x3912<=6,368
x042<=1,4454
x4244<=10,3649
x4446<=3,194
x063<=1,6
x6364<=3,84
x6465<=1,2
x6588<=0
x059<=6,72
x5958<=1,605
x5855<=3,6869
x5857<=2,7115
x5961<=0,8
x5960<=1,594
x062<=0,8767
x6261<=0,8
x6160<=1,594
x066<=8,1736
x6667<=9,0763
x6768<=1,606
x6869<=1,606
x6971<=0,96

Ek-6. (devam) Kat Sayılar ile Kurulmuş Doğrusal Programlama Modeli

x7170<=0,797
x7072<=1,0374
x7274<=9,1637
x7473<=0,8
x7375<=8,1889
x7576<=0,802
x7677<=1,1158
x7778<=2,72
x7879<=2,412
x7980<=0,8
x8081<=0,8778
x8182<=2,871
x8283<=3,2
x8384<=3,0305
x8485<=3,2
x8587<=2,388
x8486<=2,415
x8688<=0
x8788<=0

x01+y1-y0=>40,2
x02+y2-y0=>23,97
x13+y3-y1=>32,22
x35+y5-y3=>32,1
x24+y4-y2=>32,05
x25+y5-y2=>32,1
x56+y6-y5=>31,78
x67+y7-y6=>16
x78+y8-y7=>16
x89+y9-y8=>32,05
x910+y10-y9=>24
x911+y11-y9=>24,08
x1012+y12-y10=>39,8
x1112+y12-y11=>39,8
x1213+y13-y12=>40
x1314+y14-y13=>40
x1415 + y15 - y14=>16,03
x1416 + y16 - y14=>39,87
x1517 + y17 - y15=>40,13
x1618 + y18 - y16=>40,07
x1820 + y20 - y18=>32,1
x2022 + y22 - y20=>16

Ek-6. (devam) Kat Sayılar ile Kurulmuş Doğrusal Programlama Modeli

x2217 + y17 - y22=>40,13
x1719 + y19 - y17=>31,83
x1921 + y21 - y19=>32,1
x2123 + y23 - y21=>39,93
x2527 + y27 - y25=>31,9
x2729 + y29 - y27=>8
x2924 + y24 - y29=>40,2
x2426 + y26 - y24=>32,17
x2628 + y28 - y26=>31,9
x2830 + y30 - y28=>7,97
x3031 + y31 - y30=>8
x3132 + y32 - y31=>15,9
x3233 + y33 - y32=>16,05
x3335 + y35 - y33=>15,95
x3534 + y34 - y35=>16,05
x3436 + y36 - y34=>15,92
x3638 + y38 - y36=>0
x3840 + y40 - y38=>7,98
x4041 + y41 - y40=>16,05
x4143 + y43 - y41=>40,07
x4345 + y45 - y43=>16,05
x4547 + y47 - y45=>80
x4550 + y50 - y45=>31,9
x4746 + y46 - y47=>15,97
x4648 + y48 - y46=>15,97
x4850 + y50 - y48=>31,9
x5049 + y49 - y50=>15,97
x5052 + y52 - y50=>80,27
x4951 + y51 - y49=>24
x5153 + y53 - y51=>23,97
x5354 + y54 - y53=>80
x5254 + y54 - y52=>80
x5456 + y56 - y54=>16
x5655 + y55 - y56=>16,03
x5657 + y57 - y56=>15,95
x5557 + y57 - y55=>15,95
x5760 + y60 - y57=>7,97
x6088 + y88 - y60=>0
x037 + y37 - y0=>16
x3739 + y39 - y37=>15,97
x3912 + y12 - y39=>39,8

Ek-6. (devam) Kat Sayılar ile Kurulmuş Doğrusal Programlama Modeli

x042 + y42 - y0=>8,03
x4446 + y46 - y44=>15,97
x4244 + y44 - y42=>79,73
x063 + y63 - y0=>16
x6364 + y64 - y63=>24
x6465 + y65 - y64=>8
x6588 + y88 - y65=>0
x059 + y59 - y0=>32
x5958 + y58 - y59=>16,05
x5855 + y55 - y58=>16,03
x5857 + y57 - y58=>15,95
x5961 + y61 - y59=>8
x5960 + y60 - y59=>7,97
x062 + y62 - y0=>7,97
x6261 + y61 - y62=>8
x6160 + y60 - y61=>7,97
x066 + y66 - y0=>48,08
x6667 + y67 - y66=>47,77
x6768 + y68 - y67=>8,03
x6869 + y69 - y68=>8,03
x6971 + y71 - y69=>8
x7170 + y70 - y71=>7,97
x7072 + y72 - y70=>7,98
x7274 + y74 - y72=>48,23
x7473 + y73 - y74=>8
x7375 + y75 - y73=>48,17
x7576 + y76 - y75=>8,02
x7677 + y77 - y76=>7,97
x7778 + y78 - y77=>16
x7879 + y79 - y78=>16,08
x7980 + y80 - y79=>8
x8081 + y81 - y80=>7,98
x8182 + y82 - y81=>15,95
x8283 + y83 - y82=>16
x8384 + y84 - y83=>15,95
x8485 + y85 - y84=>16
x8587 + y87 - y85=>15,92
x8486 + y86 - y84=>16,1
Y0=0
y88<= 1093,7507
xij, yk=>0

Ek-7. Hedef Programlama Modelinin Açık Gösterimi

Minz = 1000*x01+ 333,32*x02+ 666,66*x13+ 1166,66*x35+ 499,98*x24+
1166,66*x25+ 833,34*x56+ 500*x67+ 666,66*x78+ 999,98*x89+
333,32*x910+ 833,32*x911+ 1000*x1012+ 1000*x1112+ 833,32*x1213+
666,66*x1314+ 499,98*x1415+ 666,66*x1416+ 833,32*x1517+
1000*x1618+ 499,98*x1820+ 499,98*x2022+ 833,32*x2217+
666,66*x1719+ 666,66*x1921+ 833,32*x2123+ 1000*x2527+
666,66*x2729+ 1000*x2924+ 666,66*x2426+ 500*x2628+
1000*x2830+ 333,32*x3031+ 500*x3132+ 833,34*x3233+
666,66*x3335+ 500*x3534+ 1000*x3436+ 0*x3638+ 666,66*x3840+
1166,66*x4041+ 666,66*x4143+ 500*x4345+ 1000*x4547+
500*x4550+ 666,66*x4746+ 666,66*x4648+ 500*x4850+
333,32*x5049+ 666,66*x5052+ 500*x4951+ 1000*x5153+
833,34*x5354+ 833,34*x5254+ 166,66*x5456+ 500*x5655+
500*x5657+ 500*x5557+ 500*x5760+ 0*x6088+ 499,98*x037+
666,66*x3739+ 1000*x3912+ 666,66*x042+ 499,98*x4244+
666,66*x4446+ 666,66*x063+ 833,32*x6364+ 500*x6465+
0*x6588+ 833,32*x059+ 666,66*x5958+ 500*x5855+ 500*x5857+
666,66*x5961+ 500*x5960+ 666,66*x062+ 666,66*x6261+
500*x6160+ 1166,66*x066+ 1166,66*x6667+ 500*x6768+
500*x6869+ 666,66*x6971+ 333,34*x7170+ 666,66*x7072+
833,32*x7274+ 500*x7473+ 666,66*x7375+ 500*x7576+
666,66*x7677+ 666,66*x7778+ 666,66*x7879+ 666,66*x7980+
500*x8081+ 666,66*x8182+ 666,66*x8283+ 666,66*x8384+
666,66*x8485+ 666,66*x8587+ 166,66*x8486+ 0*x8688+
0*x8788

x01<=6,03
x02<=4,3146
x13<=5,1552
x35<=7,383
x24<=4,8075
x25<=7,383
x56<=5,7204
x67<=2,4
x78<=3,2
x89<=6,0895
x910<=2,4
x911<=3,612
x1012<=6,368
x1112<=6,368
x1213<=7,2
x1314<=8,4

Ek-7. (devam) Hedef Programlama Modelinin Açık Gösterimi

x1415<=1,9236
x1416<=5,9805
x1517<=7,2234
x1618<=8,014
x1820<=5,457
x2022<=3,2
x2217<=7,2234
x1719<=6,6843
x1921<=7,383
x2123<=5,9895
x2527<=6,38
x2729<=1,6
x2924<=9,246
x2426<=4,8255
x2628<=6,061
x2830<=1,3549
x3031<=1,28
x3132<=2,862
x3233<=3,3705
x3335<=2,552
x3534<=2,889
x3436<=2,7064
x3638<=0
x3840<=1,2768
x4041<=3,21
x4143<=6,0105
x4345<=2,4075
x4547<=15,2
x4550<=4,785
x4746<=3,194
x4648<=3,194
x4850<=4,785
x5049<=2,7149
x5052<=16,054
x4951<=4,56
x5153<=3,3558
x5354<=16,8
x5254<=16,8
x5456<=2,4
x5655<=3,6869
x5657<=2,7115
x5557<=2,7115

Ek-7. (devam) Hedef Programlama Modelinin Açık Gösterimi

x5760<=1,594
x6088<=0
x037<=2,4
x3739<=2,8746
x3912<=6,368
x042<=1,4454
x4244<=10,3649
x4446<=3,194
x063<=1,6
x6364<=3,84
x6465<=1,2
x6588<=0
x059<=6,72
x5958<=1,605
x5855<=3,6869
x5857<=2,7115
x5961<=0,8
x5960<=1,594
x062<=0,8767
x6261<=0,8
x6160<=1,594
x066<=8,1736
x6667<=9,0763
x6768<=1,606
x6869<=1,606
x6971<=0,96
x7170<=0,797
x7072<=1,0374
x7274<=9,1637
x7473<=0,8
x7375<=8,1889
x7576<=0,802
x7677<=1,1158
x7778<=2,72
x7879<=2,412
x7980<=0,8
x8081<=0,8778
x8182<=2,871
x8283<=3,2
x8384<=3,0305
x8485<=3,2
x8587<=2,388

Ek-7. (devam) Hedef Programlama Modelinin Açık Gösterimi

x8486<=2,415
x8688<=0
x8788<=0

x01+y1-y0=>40,2
x02+y2-y0=>23,97
x13+y3-y1=>32,22
x35+y5-y3=>32,1
x24+y4-y2=>32,05
x25+y5-y2=>32,1
x56+y6-y5=>31,78
x67+y7-y6=>16
x78+y8-y7=>16
x89+y9-y8=>32,05
x910+y10-y9=>24
x911+y11-y9=>24,08
x1012+y12-y10=>39,8
x1112+y12-y11=>39,8
x1213+y13-y12=>40
x1314+y14-y13=>40
x1415 + y15 - y14=>16,03
x1416 + y16 - y14=>39,87
x1517 + y17 - y15=>40,13
x1618 + y18 - y16=>40,07
x1820 + y20 - y18=>32,1
x2022 + y22 - y20=>16
x2217 + y17 - y22=>40,13
x1719 + y19 - y17=>31,83
x1921 + y21 - y19=>32,1
x2123 + y23 - y21=>39,93
x2527 + y27 - y25=>31,9
x2729 + y29 - y27=>8
x2924 + y24 - y29=>40,2
x2426 + y26 - y24=>32,17
x2628 + y28 - y26=>31,9
x2830 + y30 - y28=>7,97
x3031 + y31 - y30=>8
x3132 + y32 - y31=>15,9
x3233 + y33 - y32=>16,05
x3335 + y35 - y33=>15,95
x3534 + y34 - y35=>16,05
x3436 + y36 - y34=>15,92

Ek-7. (devam) Hedef Programlama Modelinin Açık Gösterimi

x3638 + y38 - y36=>0
x3840 + y40 - y38=>7,98
x4041 + y41 - y40=>16,05
x4143 + y43 - y41=>40,07
x4345 + y45 - y43=>16,05
x4547 + y47 - y45=>80
x4550 + y50 - y45=>31,9
x4746 + y46 - y47=>15,97
x4648 + y48 - y46=>15,97
x4850 + y50 - y48=>31,9
x5049 + y49 - y50=>15,97
x5052 + y52 - y50=>80,27
x4951 + y51 - y49=>24
x5153 + y53 - y51=>23,97
x5354 + y54 - y53=>80
x5254 + y54 - y52=>80
x5456 + y56 - y54=>16
x5655 + y55 - y56=>16,03
x5657 + y57 - y56=>15,95
x5557 + y57 - y55=>15,95
x5760 + y60 - y57=>7,97
x6088 + y88 - y60=>0
x037 + y37 - y0=>16
x3739 + y39 - y37=>15,97
x3912 + y12 - y39=>39,8
x042 + y42 - y0=>8,03
x4244 + y44 - y42=>79,73
x4446 + y46 - y44=>15,97
x063 + y63 - y0=>16
x6364 + y64 - y63=>24
x6465 + y65 - y64=>8
x6588 + y88 - y65=>0
x059 + y59 - y0=>32
x5958 + y58 - y59=>16,05
x5855 + y55 - y58=>16,03
x5857 + y57 - y58=>15,95
x5961 + y61 - y59=>8
x5960 + y60 - y59=>7,97
x062 + y62 - y0=>7,97
x6261 + y61 - y62=>8
x6160 + y60 - y61=>7,97
x066 + y66 - y0=>48,08

Ek-7. (devam) Hedef Programlama Modelinin Açık Gösterimi

x6667 + y67 - y66=>47,77
x6768 + y68 - y67=>8,03
x6869 + y69 - y68=>8,03
x6971 + y71 - y69=>8
x7170 + y70 - y71=>7,97
x7072 + y72 - y70=>7,98
x7274 + y74 - y72=>48,23
x7473 + y73 - y74=>8
x7375 + y75 - y73=>48,17
x7576 + y76 - y75=>8,02
x7677 + y77 - y76=>7,97
x7778 + y78 - y77=>16
x7879 + y79 - y78=>16,08
x7980 + y80 - y79=>8
x8081 + y81 - y80=>7,98
x8182 + y82 - y81=>15,95
x8283 + y83 - y82=>16
x8384 + y84 - y83=>15,95
x8485 + y85 - y84=>16
x8587 + y87 - y85=>15,92
x8486 + y86 - y84=>16,1
Y0=0
y88<= 1093,7507
xij, yk=>0

Ek-8. GAMS Çıktıları

```
**** REPORT SUMMARY :        0     NONOPT
                             0 INFEASIBLE
                             0  UNBOUNDED
GAMS 41.4.0  caab8bc0 Dec 14, 2022          WEX-WEI x86 64bit/MS Windows - 06/09/23 21:24:41 Page 
G e n e r a l   A l g e b r a i c   M o d e l i n g   S y s t e m
E x e c u t i o n


----   1095 VARIABLE x.L  Non-negative

1  34.170,    2  23.970,    3  27.065,    4  32.050,    5  24.717,    6  26.060,    7  13.600,    


----   1095 VARIABLE Z.L                  =   190313.520  non-negative
            VARIABLE d1minus.L            =        6.030  Non-Negative
            VARIABLE d2minus.L            =        0.000  Non-Negative
            VARIABLE d3minus.L            =        5.155  Non-Negative
            VARIABLE d4minus.L            =        0.000  Non-Negative
            VARIABLE d5minus.L            =        7.383  Non-Negative
            VARIABLE d6minus.L            =        5.720  Non-Negative
            VARIABLE d7minus.L            =        2.400  Non-Negative
            VARIABLE d8minus.L            =        3.200  Non-Negative
            VARIABLE d9minus.L            =        6.090  Non-Negative
            VARIABLE d10minus.L           =        3.532  Non-Negative
            VARIABLE d11minus.L           =        3.612  Non-Negative
            VARIABLE d12minus.L           =        6.368  Non-Negative
            VARIABLE d13minus.L           =        7.200  Non-Negative
            VARIABLE d14minus.L           =        8.400  Non-Negative
            VARIABLE d15minus.L           =        0.000  Non-Negative
            VARIABLE d16minus.L           =        5.981  Non-Negative
            VARIABLE d17minus.L           =        7.223  Non-Negative
            VARIABLE d18minus.L           =        8.014  Non-Negative
            VARIABLE d19minus.L           =        6.684  Non-Negative
            VARIABLE d20minus.L           =        5.457  Non-Negative
            VARIABLE d21minus.L           =        7.383  Non-Negative
            VARIABLE d22minus.L           =        3.200  Non-Negative
            VARIABLE d23minus.L           =        5.989  Non-Negative
            VARIABLE d24minus.L           =        9.246  Non-Negative
            VARIABLE d25minus.L           =        7.200  Non-Negative
            VARIABLE d26minus.L           =        4.825  Non-Negative
            VARIABLE d27minus.L           =        6.380  Non-Negative
            VARIABLE d28minus.L           =        6.061  Non-Negative
```

Ek-8. (devam) GAMS Çıktıları

```
VARIABLE d29minus.L             =        1.600  Non-Negative
VARIABLE d30minus.L             =        1.355  Non-Negative
VARIABLE d31minus.L             =        1.280  Non-Negative
VARIABLE d32minus.L             =        2.862  Non-Negative
VARIABLE d33minus.L             =        3.370  Non-Negative
VARIABLE d34minus.L             =        2.889  Non-Negative
VARIABLE d35minus.L             =        2.552  Non-Negative
VARIABLE d36minus.L             =        2.706  Non-Negative
VARIABLE d37minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d38minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d39minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d40minus.L             =        1.277  Non-Negative
VARIABLE d41minus.L             =        3.210  Non-Negative
VARIABLE d42minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d43minus.L             =        6.011  Non-Negative
VARIABLE d44minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d45minus.L             =        2.408  Non-Negative
VARIABLE d46minus.L             =        3.194  Non-Negative
VARIABLE d47minus.L             =       15.200  Non-Negative
VARIABLE d48minus.L             =        3.194  Non-Negative
VARIABLE d49minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d50minus.L             =        4.785  Non-Negative
VARIABLE d51minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d52minus.L             =       16.054  Non-Negative
VARIABLE d53minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d54minus.L             =       16.800  Non-Negative
VARIABLE d55minus.L             =        3.687  Non-Negative
VARIABLE d56minus.L             =        2.400  Non-Negative
VARIABLE d57minus.L             =        2.712  Non-Negative
VARIABLE d58minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d59minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d60minus.L             =        1.594  Non-Negative
VARIABLE d61minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d62minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d63minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d64minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d65minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d66minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d67minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d68minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d69minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d70minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d71minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d72minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d73minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d74minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d75minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d76minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d77minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d78minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d79minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d80minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d81minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d82minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d83minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d84minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d85minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d86minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d87minus.L             =        0.000  Non-Negative
VARIABLE d88minus.L             =        0.000  Non-Negative


EXECUTION TIME       =        0.297 SECONDS      4 MB  41.4.0 caab8bc0 WEX-WEI


USER: GAMS Demo license for Irem Gunduz              G221216|0002CO-GEN
      Gazi University, Turkey                                DL081571
```



Gazili olmak ayrıcalıktır