

T.C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI



ÖMÜR DEVRİ MALİYETİNE DAYALI ÇOKLU MAKİNE YENİLEME
PROBLEMİ İÇİN MODEL ÖNERİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Hüseyin ABACI

Tez Danışmanı
Prof.Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

ANKARA – 2016

TEZ TANITIM FORMU

TEZİN TARİHİ: 10.06.2016

TEZİN TİPİ: Yüksek Lisans Tezi

TEZİN BAŞLIĞI: Ömür Devri Maliyetine Dayalı Çoklu Makine Yenileme Problemi İçin Model Önerisi

TEZİN YAPILDIĞI BİRİM: Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekât Araştırması Ana Bilim Dalı

SPONSOR KURULUŞ: -

DAĞITIM LİSTESİ: Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama, Onay, Dağıtım ve Muhafaza Esasları Kılavuzunda Belirtilen Yerlere

TEZİN ÖZETİ: Bu çalışmada, ömür devri maliyetine dayalı çoklu makine yenileme problemi için yeni bir tamsayılı doğrusal karar modeli önerilmiş ve savunma sanayi tarafından geliştirilen, üretilen ve hâli hazırda kullanılan bir sistem için belirlenen bir planlama ufku içerisinde çözülmüştür. Elde edilen sonuçlarla sistemin yenilenme veya elden çıkarılma zamanlarının belirlenmesine dönük bir planlama aracı geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Ömür Devri Maliyeti, Çoklu Makine Yenileme Problemi, Tamsayılı Doğrusal Programlama

SAYFA SAYISI: 114

GİZLİLİK DERECE: TASNİF DIŞI

BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

T.C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI



ÖMÜR DEVRİ MALİYETİNE DAYALI ÇOKLU MAKİNE YENİLEME
PROBLEMİ İÇİN MODEL ÖNERİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Hüseyin ABACI

Tez Danışmanı
Prof.Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

ANKARA - 2016

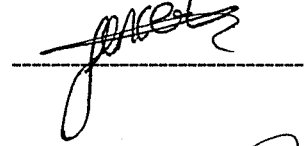
BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

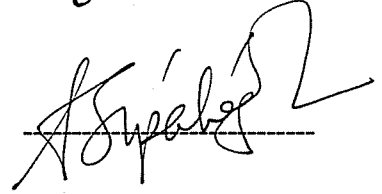
Hüseyin ABACI'nın, "Ömür Devri Maliyetine Dayalı Çoklu Makine Yenileme Problemi İçin Model Önerisi" konulu tez çalışması, jürimiz tarafından Harekât Araştırması Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

İMZA

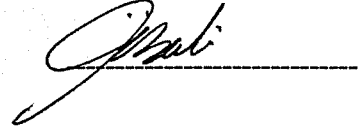
Başkan : Prof. Dr. Cevriye GENCER



Danışman : Prof.Dr. Aydın SİPAHİOĞLU



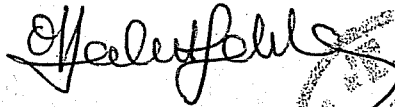
Üye : Doç.Dr. Özkan BALI



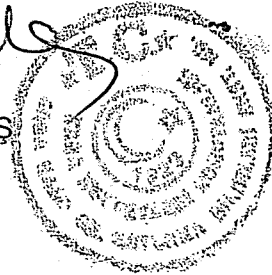
ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

10/06/2016



Önder Haluk TEKBAS
Prof.Dr.Müh.Alb.
Enstitü Müdürü



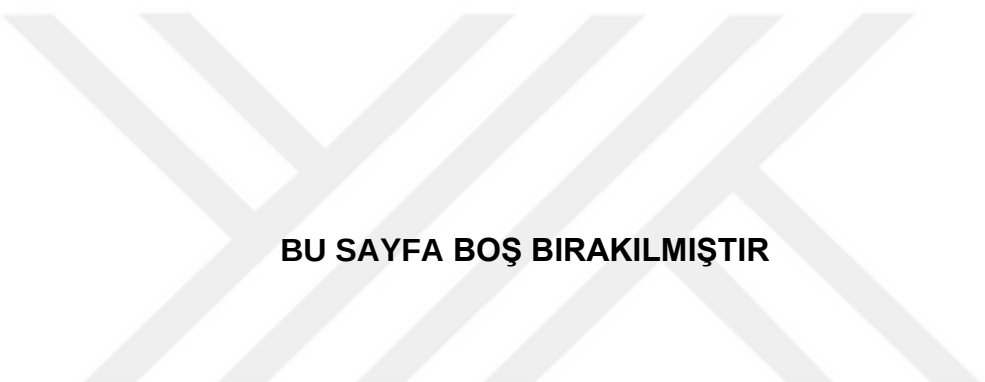
BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

TEŞEKKÜR

Günümüzde giderek önemi artan Harekât Araştırması veya diğer adı ile Yöneylem Araştırması alanında, yüksek lisans eğitimi almam için bana bir fırsat sunan başta Türk Silahlı Kuvvetleri olmak üzere, bu eğitim için birçok başvuru arasından seçilenler arasında olmamı sağlayan Kara Kuvvetleri Komutanlığına şükranlarımı sunarım.

Gerek yüksek lisans eğitimine başladığım ders aşamasında, gerekse tez konusunun belirlenmesinden bu yana her türlü desteğini benden esirgemeyerek bir ağabey edasıyla bana yardımcı olan, tez danışmanım Prof. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU'na, hayatıma ortak oldukları andan bu yana iyi ve kötü günde hep yanımda olan ve yükümü hafifleten hayat arkadaşlarım, eşim Mine ABACI ve oğlum Arda ABACI'ya minnettarım.

Eğitimim süresince Harekât Araştırması alanında ilgisini eksik etmeyen başta Ana Bilim Dalı Başkanı Doç.Dr. Özkan BALI'ye, Savunma Bilimleri Enstitüsü ve Dekanlık personeline, ders aşamasında bize verdikleri eğitim sebebiyle tüm öğretim elemanlarına, geçen iki yıl içerisinde hep yanımda olan arkadaşım Tansu ŞENGÜL'e, Harekât Araştırması alanında yüksek lisans yapan sınıf arkadaşlarım İbrahim KESKİN ve Emre AKAY ile adını burada sayamadığım diğer tüm müdavim arkadaşlarıma katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.



BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

ETİK BEYANI

Akademik ahlâk ve etik kuralları çerçevesinde Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na bağlı kalarak hazırladığım özgün bir çalışma olan tezimi sunar, bu kurallar uyarınca verileri elde ettiğimi, yararlanılan kaynakları atıfta bulunduğumu, atıflarımı kaynaklarda gösterdiğimi ve sonuçları belirtilen kurallardan ayrılmadan sunduğumu onurumla beyan eder bu çalışmanın yalnızca bireysel görüşlerimi yansıtmakta olduğunu, Türk Silahlı Kuvvetleri, Kara Harp Okulu ve Savunma Bilimleri Enstitüsü'nün görüş, konum ve strateji ya da fikirlerini yansıtmadığını bildiririm.

Hüseyin ABACI

BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

T.C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI
ANKARA 2016

Ömür Devri Maliyetine Dayalı Çoklu Makine Yenileme Problemi İçin
Model Önerisi

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hüseyin ABACI

ÖZET

Hayatımızın her aşamasında yer alan teknolojinin giderek artması ihtiyaçların farklılaşmasına, devamında da bu ihtiyaçların karşılanması için üretim imkânlarının gözden geçirilmesine yol açmaktadır. Benzer ihtiyaçlar ülkelerin savunma sanayinde de karşımıza çıkmakta ve gelişime ihtiyaç duymaktadır. Savunma sanayinde kullanılan sistemlerin ülkelerin tehdit durumuna göre; üretilmesi, kullanılması ve yenilenmesi her geçen gün önem kazanmakta ve neticesinde yapılacak her türlü satın alma, üretim, işletme, elden çıkarma işlemleri beraberinde maliyet hususunu ortaya çıkarmaktadır. Bir sistemin üretilmesinden veya satın almasından elden çıkarılması veya yenilenmesine kadar ortaya çıkan ömür devri maliyeti; o sistem hakkında doğru bir planlama yapılması için karar vericilere bir fikir verebilmektedir. Aynı zamanda, söz konusu maliyetlere dayanarak sistemin ömrünün sonlanacağı veya yenileneceği zamanın doğru tespit edilmesi, devamında üretilecek veya satın alınacak sistemler hakkında gerçek zamanlı planlama yapma imkânı sağlayacaktır. Sistemlerin/ürünlerin yenilenme veya elden çıkarılma zamanlarının belirlenme gereksinimi karşımıza bir karar verme problemini çıkarmaktadır.

Söz konusu karar verme problemini çözebilecek makine yenileme modeli, elde bulunan makinelerin belirlenecek bir planlama zamanı içerisinde ekonomik kısıtları da dikkate alarak ne zaman yenilenmesi veya elden çıkarılmasının gerektiğinin belirlenmesine yarayan modeldir.

Bu çalışmada, literatürde yer alan tek makine yenileme problemi maliyete dayalı çoklu makine yenileme problemi olarak geliştirilmiş ve belirlenen bir planlama ufku içerisinde, ekonomik ömür de dikkate alınarak, ömür devri maliyetine dayalı, sistemlerin ne zaman yenilenmesine veya elden çıkarılmasına ilişkin senaryolara dayalı analiz yapma imkânı sağlanmıştır. Geliştirilen model, 2004 yılından bu yana savunma sanayi tarafından üretimine devam edilen ve hali hazırda kullanımda olan 300 adet sisteme ilişkin ömür devri maliyetine dayalı olarak tam sayılı doğrusal programlama ile özölmüştür. Elde edilen etkin özömler neticesine sistemlerin yenilenme/elden çıkarma zamanları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ömür Devri Maliyeti, Makine Yenileme Problemi, Tamsayılı Doğrusal Programlama

Tez Yöneticisi: Prof.Dr. Aydın SİPAHİOğLU

Sayfa Sayısı: 114

T.C.
TURKISH MILITARY ACADEMY
DEFENSE SCIENCE INSTITUTE
DEPARTMENT OF OPERATIONAL RESEARCH
ANKARA 2016

A Model Proposal for the Multiple Machine Replacement Problem
Based On Life Cycle Cost

MASTER THESIS
Hüseyin ABACI

ABSTRACT

Gradually increase of the technology located at every stage of our lives leads to the differentiation of needs and more in to a review of the production facilities in order to meet these needs. Similar needs appear to be in countries defense industry and require development. Production, usage and renewal of the systems used in defense industry according to the level of countries' threat is gaining importance everyday and eventually raises cost consideration along with all kinds of purchasing, production, operation and disposal operations. Life-cycle cost, incurred between manufacturing or purchasing of the system until disposal or renewal of the system, can give an idea to the decision-makers to make the right planning. At the same time, accurate determination of the renewal/disposal time of the system based on aforementioned costs will in continuation provide real-time planning opportunities regarding the systems to be manufactured or to be purchased. The requirement of determining the time to renew or dispose the systems/products leads to the emergence of a decision making problem.

In a planning time to be determined and also taking into account the economic constraints, machine replacement model which may solve the decision making problem under consideration is a model that can identify the time when the machines on hand are required to be renewed or disposed.

In this thesis, single machine replacement problem already in literature has been developed as cost basis multiple machine replacement problem and within a planning perspective, also taking economic life into consideration, the opportunity to do analysis regarding the scenarios about when the system should be renewed or be disposed is provided based on life-cycle cost. The developed model is solved based on life-cycle cost of 300 systems that have been produced by defense industry since 2004 and still in use by using integer linear programming. As the result of the effective solutions, the renewal/disposal time of the systems is determined.

Keywords: Life Cycle Cost, Machine Replacement Problem, Integer Linear Programming

Advisor: Prof.Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

Number of Pages : 114

İÇİNDEKİLER

TEZ TANITIM FORMU	
TEŞEKKÜR.....	i
ETİK BEYANI.....	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

GİRİŞ	1
-------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

ÖMÜR DEVRİ MALİYETİ

2.1. TANIMLAR VE TARİHİ GELİŞİMİ.....	5
2.2. ÖMÜR DEVRİ MALİYET ANALİZİ FAYDALARI.....	9
2.3. ÖMÜR DEVRİ MALİYET ANALİZİ SAFHALARI.....	10
2.4. MALİYET TAHMİN YÖNTEMLERİ.....	14
2.5. ÖMÜR DEVRİ BOYUNCA ORTAYA ÇIKAN MALİYETLER.....	16

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MAKİNE YENİLEME PROBLEMİ

3.1. TANIMI VE TARİHİ GELİŞİMİ.....	21
3.2. MAKİNE YENİLEME PROBLEMİ.....	24
3.3. TEK MAKİNE YENİLEME PROBLEMİ.....	25
3.4. ÇOK PERİYOTLU MAKİNE YENİLEME PROBLEMİ.....	26

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ÇOKLU MAKİNE YENİLEME PROBLEMİ VE UYGULAMA

4.1. PROBLEMİN TANIM.....	29
4.2. ÇOKLU MAKİNE YENİLEME MODEL ÖNERİSİ.....	30
4.3. MODELDEKİ ÖMÜR DEVRİ MALİYETİNİN HESAPLANMASI.....	44

4.4. TEMEL FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ.....	50
4.5. MODELİN FARKLI SENARYOLARA UYGULAMASI.....	53

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇ	63
5.2. ÖNERİLER	65

KAYNAKÇA	67
EKLER	71



ÇİZELGELER

Çizelge-1: İş Akış Şeması.....	30
Çizelge-2: Temel Parametreler.....	35
Çizelge-3: Sistem Miktarları (Y_{ki}).....	36
Çizelge-4: Yatırım Miktarları (t_{ki}).....	36
Çizelge-5: Satın Alma Maliyetleri (S_{ki}).....	37
Çizelge-6: Ömür Devri Maliyeti ($n=10, k=2, e=6$).....	38
Çizelge-7: Çözüm Sonuçları ($n=10, k=2, e=6$)	43
Çizelge-8: Örnek Maliyet Çizelgesi.....	50
Çizelge-9: Bugüne Kadar Üretilen Sistem Miktarı	51
Çizelge-10: Model İçin Belirlenen Parametreler.....	52
Çizelge-11: Çoklu Makine Yenileme Modeli Lingo Kodu	53
Çizelge-12: Modelin Boyut Analizi.....	54
Çizelge-13: 1'inci Senaryo Çözüm Sonuçları.....	55
Çizelge-14: Çözüm Sonuçları.....	60

ŞEKİLLER

Şekil-1: Teçhizat/Makine Ömrü.....	6
Şekil-2: Ömür Devri Maliyeti.....	7
Şekil-3: Ömür Devri Maliyetin Buzdağı Görünümü.....	8
Şekil-4: Sistem Ömür Devri Süreci.....	11
Şekil-5: İşletme ve Yenileme Maliyetleri Arasındaki İlişki.....	25
Şekil-6: Makine Yenileme Problemi.....	26
Şekil-7: Çoklu Makine Yenileme Problemi.....	34
Şekil-8: Paranın Gelecekteki Değeri	46
Şekil-9: İşletme ve Destek Maliyetleri.....	48

KISALTMALAR

ARGE	: Araştırma ve Geliştirme
EÇM	: Elden Çıkarma Maliyeti
GNKUR.BŞK.	: Genelkurmay Başkanlığı
HG	: Hurda Getirisi
İDM	: İşletme ve Destek Maliyeti
KHO	: Kara Harp Okulu
LCC	: Life Cycle Cost
ÖDM	: Ömür Devri Maliyeti
ÖDMA	: Ömür Devri Maliyet Analizi
SAT	: Satın Alma Maliyeti
TDK	: Türk Dil Kurumu



BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Giriş: Ülkelerin ihtiyaçları yönetsel süreç içerisinde ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaçlar, sistemlerin tasarımı, kurulması, üretilmesi ve/veya diğer ülkelerden ihraç edilmesi şeklinde karşılanmaktadır. Teknolojide yaşanan gelişmeler, ülke ekonomisi, sistemlerin tedariki ve buna bağlı olarak ortaya çıkan maliyetler, dünya genelinde yaşanan küresel rekabet, savunma sanayi ihtiyaçları gibi birçok etken ülkenin bütçesinde belirleyici rol oynamaktadır. Bütçe harcamalarında öne çıkan hususlardan belki de en önemlisi olan maliyetlerin tahmin edilmesi hususu önem arz etmektedir.

Bu kapsamda, maliyetlerin tahmin edilmesi, maliyet hesaplanması, tespit edilemeyen maliyetler, sistemlerin kullanım ömrünün belirlenmesi gibi birçok çözülmesi gereken problem tedarik sürecinde karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlerin doğru bir şekilde çözülebilmesi için ilk aşama, ihtiyaçların doğru, kapsamlı ve net bir şekilde tanımlanması olacaktır. Bu sayede, süreç içerisinde ortaya çıkabilecek tüm maliyetler de doğru tespit edilerek baştan itibaren kontrol edilebilecektir.

Tasarlanan tüm sistemlerde amaç, sistemin doğru ve etkin çalışarak süreç içerisinde mal ve/veya hizmet üretimini sağlamak ve neticesinde kâr ve/veya fayda elde etmektir. Bu amacı gerçekleştirecek sistemler kısıtlı kaynaklar ile temin edildiğinden baştan sona kadar doğru bir maliyet yönetimi yapılmalıdır.

Etkili bir sistemin tasarlanması yapılırken; sistem ihtiyaçlarının tespiti ve projelendirilmesi, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yapılması, üretiminin yapılarak kullanılması, kullanım sürecinde destek sağlanması ve kullanım süresi sonunda da elden çıkarılması safhalarının tamamı göz önünde bulundurularak ortaya çıkacak tüm maliyetler düşünülmelidir. Bu maliyetler için genel olarak ömür

devri maliyeti ifadesi kullanılmaktadır. Ortaya çıkan bu maliyetlerin doğru analiz edilmesi, kısıtlı kaynakların etkin kullanılmasını ve bu sayede sistemlerin de ömrünün doğru tespit edilmesini sağlayacaktır.

Problemin Tanımı: Yeni tasarlanacak sistemlerin ömür devri maliyet analizinin yapılması ve hali hazırda tasarlanmış ve kullanılan sistemlerin ömür devrinin bulunması hususları yönetsel süreç içerisinde sistem hakkında bir karara varılmasını sağlamaktadır. Özellikle çok yüksek bütçelerle tedarik edilebilen savunma ihtiyaçlarında yapılan harcamalarda bu hususlarda karar vermek çok önem arz etmektedir. Bundan dolayıdır ki özellikle bu alanda, doğru ve etkin bir karar vermeyi sağlayacak her türlü analize ve yöntemle ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu kapsamda; sistemlerin/ürünlerin ömrünün sonlanması neticesinde elden çıkarılması veya yenilenmesi, devamında yeni sistemler/ürünler üretilmesi veya satın alınması görünen görünmeyen birçok maliyete yol açacaktır. Yapılacak doğru analizler sayesinde maliyetlerin ortaya konulması neticesinde sistemlerin/ürünlerin elden çıkarılma veya yenilenme zamanlarının tespit edilmesi çok önem kazanmaktadır. Bu durum, bir karar verme problemi olarak ortaya çıkmaktadır.

Çalışmanın Amacı: Makine yenileme problemi, elde bulunan sistem/ürün/makine vb. teçhizatların belli bir planlama zamanı içerisinde ekonomik parametrelerin kullanılarak yenilenme zamanları bulmaya yarayan problemlerdir. Karar vericilere bir analiz yapma ve doğru bir planlama yapılmasını sağlar.

Bu çalışmada temel amaç, envanterde bulunan ve kullanılan sistemlere ilişkin tespit edilmiş ve/veya tahmin edilmiş ömür devri maliyetini kullanarak sistemin yenilenme veya elden çıkarma zamanlarını tespit edecek modeli oluşturmak ve neticesinde karar vericilere bir karar desteği sağlamaktır.

Araştırmanın Tasarımı/Yararlanılan Metodoloji: Bu çalışmada tek tür makine yenileme probleminden yola çıkılarak literatürde pek rastlanmayan çok türden makinenin yenilenme zamanlarını bulmaya yarayan tamsayılı doğrusal programlama ile bir matematiksel model geliştirilmiştir.

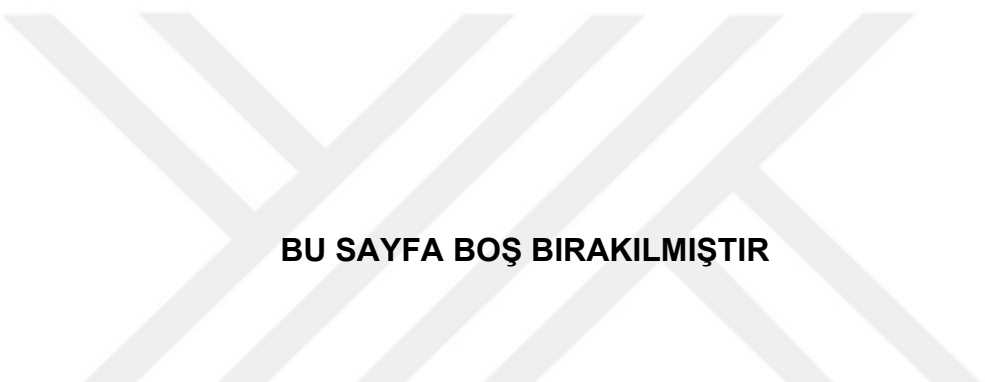
Araştırmanın Önemi: Bu sayede çok türden makinenin ne zaman satın alınacağı veya üretileceği devamında da ne zaman elden çıkarılacağı veya yenileneceği bulunmaya çalışılmıştır.

Araştırmanın Kapsamı/Sınırlılıkları: Geliştirilen modelde sadece maliyet verileri, yatırım miktarı ve yıllara bağlı sistem miktarı dikkate alınmış, ekonomik ömür bir parametre olarak kullanılmış, ancak; sistem arıza oranı, fiziksel yıpranma vb. parametreler kullanılmamıştır.

Çalışmanın Literatüre Katkısı ve Orjinalitesi: Geliştirilen model yani çoklu makine yenileme modeli ile ilgili literatürde benzer bir çalışma yapılmamış olması nedeniyle literatüre katkı sağlanmıştır.

TSK'ya Katkısı: Geliştirilen modelin TSK'de kullanılan tüm sistemler için geçerli olacağı mütalaa edilmektedir. Aynı zamanda sadece savunma sanayi için değil tüm sektörlerde kullanılabilecek olan çoklu makine yenileme modeli, gerçek veriler ile doğru ve etkin sonuçlar vererek karar vericilere senaryolara dayalı analiz yapma imkânı sağlayacaktır.

Çalışmanın Bölümleri: Çalışmanın ikinci bölümünde; ömür devri maliyeti kavramı, tarihsel gelişimi, ömür devri safhaları, faydaları, maliyet tahmin yöntemleri ve ömür devri boyunca ortaya çıkan maliyetlerin sınıflandırılmasına, üçüncü bölümünde; en kısa yol problemlerine dönüştürülerek çözülebilen makine yenileme probleminin tanımı ve anlatılmasına, dördüncü bölümünde, sistemin yenilenme veya elden çıkarma zamanını tespit etmeye yarayan ve bu maksatla geliştirilen çoklu makine yenileme problemi model önerisi ve hali hazırda savunma sanayinde kullanılmakta olan bir sistemin yenilenme veya elden çıkarılma zamanını tespit eden modelin uygulanmasına, beşinci ve son bölümde de sonuç ve önerilere yer verilmiştir.



BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

İKİNCİ BÖLÜM

ÖMÜR DEVRİ MALİYETİ

2.1. TANIMLAR VE TARİHİ GELİŞİMİ

2.1.1. Tanımlar

Basit tanımıyla ömür, yaşamın başlangıcından bitimine kadar arada kalan süredir. Diğer bir anlamı ise yaşamdır (Türk Dil Kurumu [TDK], 2016).

Ekonomi alanında ise ömür; bir sistemin, teçhizatın, tesisin veya makinenin maliyetlerindeki artış nedeniyle elden çıkarılma veya yenilenme zamanıdır (Humphreys, 1984).

Ömür tanımından hareketle, bir makinenin veya teçhizatının ömrü; fiziksel ömür, faydalı ömür ve ekonomik ömür olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Mitchell, 1998)

Fiziksel ömür, kullanımına devam edildiği sürede artık fayda sağlamayacağı değerlendirilen veya yenileştirme/iyileştirme yapılmasına rağmen ilk kullanıma başladığı andaki seviyesinde işlemeyen sistemin ömrüdür.

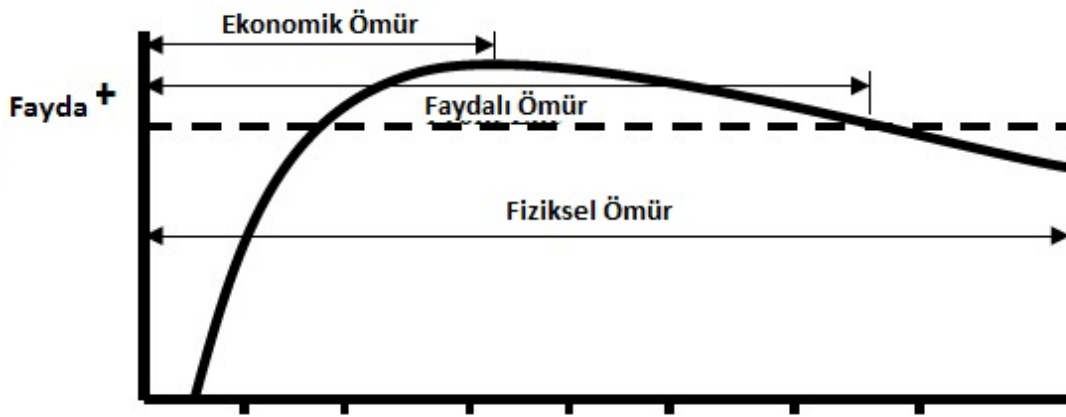
Fiziksel ömür; sistemin, ürünün kullanıldığı veya hizmette kaldığı ömürdür. Bir süredir kullanılmayan sistemin veya ürünün ömrünün sonlandığı zamandır (Douglas, 1978).

Faydalı ömür, sistemden veya üründen beklenen faydanın azalmaya başladığı noktadır (Gransberg, Popescu ve Ryan, 2006).

Ekonomik ömür; üretimi tamamlanarak veya satın alınarak kullanıma başlayan ürünün yükselen maliyetlere karşın azalan verimlerle işletilmeye başladığı noktadır.

Diğer bir anlamda ekonomik ömür, satın alma veya üretim maliyetlerinin işletme maliyetlerine eşit olduğu zamanda sonlanır (Mitchell, 1998). İşletme maliyetinin satın alma maliyetini aştığı anda eskisini işletmek yerine yenisini almak daha iyi olacağından ürünün ekonomik ömrü o anda sonlanır.

Muhabese dilinde ekonomik ömür ise; amortismanına bağlı bir varlığın, bir veya birden fazla kullanıcı tarafından ekonomik olarak kullanılabileceği tahmin edilen süre veya bir veya birden fazla kullanıcı tarafından bir varlıktan elde edilebilecek toplam üretim miktarıdır (Muhasebe Portal, 2016).



Şekil-1: Teçhizat/Makine Ömrü (Douglas,1978)

Fiziksel ömür, faydalı ömür ve ekonomik ömür arasındaki ilişki Şekil-1’de gösterilmiştir (Douglas, 1978). Buradan da anlaşılacağı üzere faydanın düşmeye başladığı noktada ekonomik ömür, beklenen fayda seviyesinin altına düştüğü noktada da faydalı ömür sonlanmaktadır.

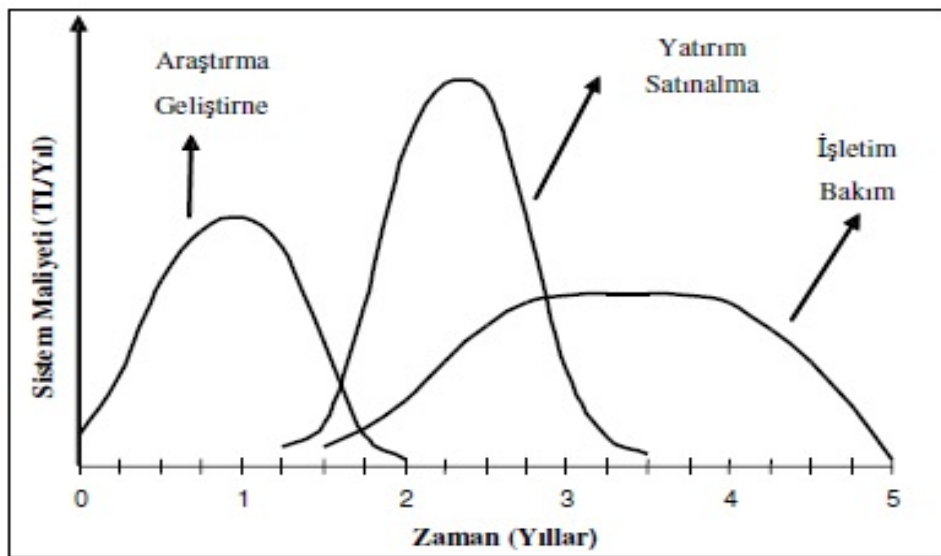
Ömür devri, bir malın üretimi veya bir sistemin tedarik edilmesi ile ilgili düşüncenin ortaya atılması ile başlayan ve söz konusu malın/sistemin elden çıkartılması veya üretimin sonlandırılmasına kadar geçen süreyi anlatan bir kavramdır. Anılan kavram uygulamada yaşam seyri gibi farklı isimlerle de anılmaktadır.

Üretilmesi veya satın alınması düşünülen sistem, makine, tesis vb. her şey önce fikir aşaması ile doğar ve belirli safhalardan sonra ömrünü tamamlar. Sistemin/ürünün tasarımından elden çıkarılmasına kadar geçen süreç ömür devri olarak tanımlanmaktadır (Fabrycky ve Blanchard, 1991:1).

Maliyet, kâr elde etmek veya hedefe ulaşmak için verilecek, vazgeçilecek her şey anlamına gelmektedir. Benzer bir şekilde, maliyet; bir varlığı elde etmek için yapılması gerekli olan fedakârlık ve özveri olarak tanımlanmıştır (Elmacı, 2005:5). Bu tanımda geçen fedakârlık, kullanılan mal veya hizmetin miktarı ve değeri veya üretimi yapabilmek için vazgeçilen mal veya hizmetin miktarıdır (Hatiboğlu, 1987:1). Diğer bir tanımla maliyet, belirli bir hedefi, amacı elde etmek maksadıyla kabul edilen fedakârlıkların parasal değerini ifade eder (Üstün, 1999:17).

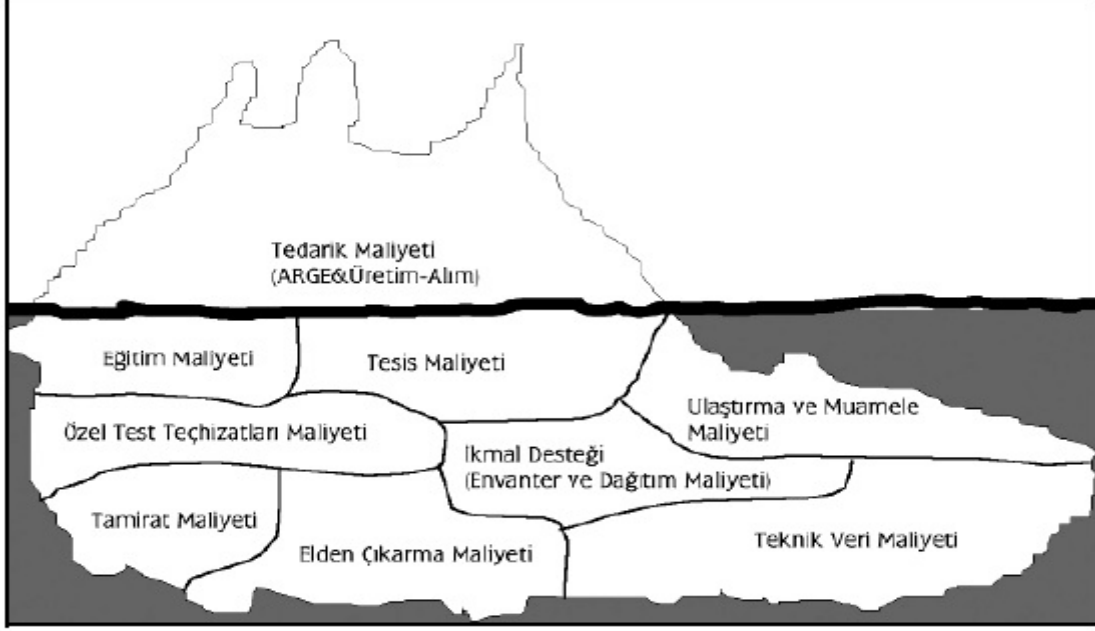
Bir malın maliyeti, üretilecek malı ortaya çıkaracak her türlü hammadde vb. şeylerin elde edilmesinden, üreticiye hazır hale getirilmesine kadar yapılacak fedakârlıkların parasal değeridir (Peker, 1988:142).

Bu tanımlardan hareketle, ömür devri maliyeti (ÖDM/Life Cycle Cost[LCC]); bir sistem, proje, ürün ya da tesisle ilgili, proje aşamasıyla başlayan araştırma ve geliştirme, yatırım, tedarik, işletme, bakım /onarım ve idamesi ile elden çıkarma aşaması da dâhil olmak üzere tüm maliyetleri kapsayan bir kavramdır. Söz konusu kavram, yani ömür devri maliyeti, daha çok enerji ve inşaat alanında kullanılmakla birlikte tedarik, lojistik, ulaştırma vb. birçok alanda da karşımıza çıkmaktadır. Diğer bir tanımla, ÖDM; sistemin ömür devri süresince ortaya çıkan tüm maliyetleri toplamıdır (Dhillon, 1989). ÖDM, sistemin veya ürünün kavram safhasından, tasarlama, üretme, işletme ve faydalı ömrünün sonlanması ile elden çıkarılmasına kadar geçen süreçteki bütün nakit akışlarının veya maliyetlerinin toplamı olarak da tanımlanabilir (Ostwald, 1992:412).



Şekil-2: Ömür Devri Maliyeti (Başaran,1998)

Bu tanımlardan da anlaşılacağı gibi; ÖDM, sistemin ömür devri boyunca farklı veya aynı zamanlarda ortaya çıkacak doğrudan ve dolaylı tüm maliyetleri kapsamaktadır ve Şekil-2'deki grafikte olduğu gibi gösterilebilir.



Şekil-3: Ömür Devri Maliyetin Buzdağı Görünümü (Gnkur.Bşk.lığı, 2004)

Yukarıda da belirtildiği üzere, bu maliyetlerin bir kısmı doğrudan bir kısmı dolaylı olduğu gibi, maliyetlerin birçoğu ilk aşamada görünmeyen durumdadır. Yani sistemin/ürünün ilk tasarım aşaması ile tedarik süreci arasında ortaya çıkan maliyetler belli ve görünür durumda iken, müteakip safhalarda çıkan tüm maliyetler belirsiz ve görünmeyen durumdadır. Şekil-3'te de görüleceği üzere bu maliyetleri bir buzdağı şeklinde gösterebiliriz (Genelkurmay Başkanlığı [Gnkur.Bşk.lığı], 2004).

Ömür Devri Maliyet Analizi; belirtilen safhalarda ortaya çıkabilecek maliyetleri hesaplamaya yönelik geliştirilmiş metotlar zinciridir. (Aytok, 2006).

Kawauchi ve Rausand yaptıkları çalışmada; Ömür Devri Maliyet Analizini (ÖDMA/Life Cycle Cost Analysis[LCCA]); bir sistemin/ürünün, ömür devri boyunca ekonomik ve etkili bir şekilde desteklenebilmesi için yapılacak her türlü değerlendirmelerin birleşimi olarak tanımlamışlardır.

ÖDMA; tedarikten, işletim, destek ve elden çıkarmaya kadar olan tüm safhalarda ortaya çıkabilecek maliyetlerin, karar için önemli olduğu düşüncesini esas alan proje değerlendirme yöntemidir (U.S. Department of Commerce, 1995).

2.1.2. Ömür Devri Maliyet Analizinin Tarihsel Gelişimi

ÖDMA, ilk olarak 1960'lı yıllarda ABD'de savunma sanayi alanında kullanılmıştır. O dönemde bu analiz yöntemi stratejik bir karar verme aracı olarak kullanılan analiz, bu dönemden sonra ABD Savunma Bakanlığı tarafından dizel motor, jeneratör, uçaklar için lastik, yazılım vb. alanlarında tedarik kapsamında kullanılmıştır (Bescherer, 2005).

1964 yılında yine ABD Savunma Bakanlığı tarafından yayımlanan direktif dokümanında toplam maliyeti en aza indirgeyecek bir lojistik destek sistem tasarımı düzenlenmiştir (Candan, 2003).

Müteakip yıllarda özellikle 1980'li yıllarda bu yöntem geliştirilerek, ticaret, tedarik ve üretim alanlarına da girmiştir (Dunk, 2004). İlk yıllarda yapılan ÖDMA'lar tedarik sürecinde karar verme aracı olarak askerî alanda kullanılırken daha sonralarda petrol, havacılık, demiryolu olmak üzere birçok sanayi alanında yapılmıştır.

Sonraki yıllarda günlük yaşama kadar girmiştir. Gelişen teknoloji ve kaynakların kısıtlı olması nedenleriyle ÖDMA yöntemi, artık günümüzde birçok alanda üretici ve tüketiciler açısından önem kazanmaya başlamıştır.

2.2. ÖMÜR DEVRİ MALİYET ANALİZİ FAYDALARI

ÖDMA, ÖDM'lerin önemli bir kısmının ilk aşamada, yani araştırma, geliştirme ve tasarım aşamalarında belirlendiğini kabul etmektedir. Yani, bu aşamalarda alınacak kararların müteakip safhalarda ne kadar maliyet oluşturabileceği ortaya çıkmaktadır (Özer, 2003). Bu varsayım da başlangıçta yapılacak analizlerin sistemin veya ürünün ÖDM'nin ne kadar olabileceğini tahmin etmede işe yaradığını göstermektedir. Yapılan çalışmalar sistem veya ürünlere ilişkin işletme ve bakım maliyetlerinin diğer maliyetlerden fazla olduğunu belirtmektedir. Bundan dolayı erken safhalarda yani proje, araştırma ve geliştirme aşamalarında yapılacak doğru analizlerin ilerleyen aşamalardaki maliyetleri düşürdüğünü ortaya koymuştur (Kawauchi ve Rausand, 1999).

ÖDM'lerin az bir bölümünü oluşturan tedarik veya üretim maliyetleri genel olarak belli olan ve hesaplanması veya tahmin edilmesi daha kolay olan görünür maliyetlerdir. Ancak ÖDM'lerin büyük bölümünü oluşturan işletme, bakım ve idame maliyetleri ise görünmeyen maliyetler yani hesaplanması veya tahmin edilmesi daha zor olan

maliyetlerdir. Bundan dolayıdır ki ilk aşamalarda analiz yapmak, sonradan ortaya çıkan işletme, bakım ve idame maliyetlerini düşürmek için çok iyi bir planlama fırsatı yaratmaktadır.

Günümüzde yaşanan, küresel rekabet, kısıtlı kaynaklara ulaşım, artan maliyetler, bakım maliyetlerinin yükselmesi, enerji kaynaklarının maliyet artışı gibi sorunlar ÖDMA'nın önemini artırmaktadır. Bu kapsamda, yapılacak analizler;

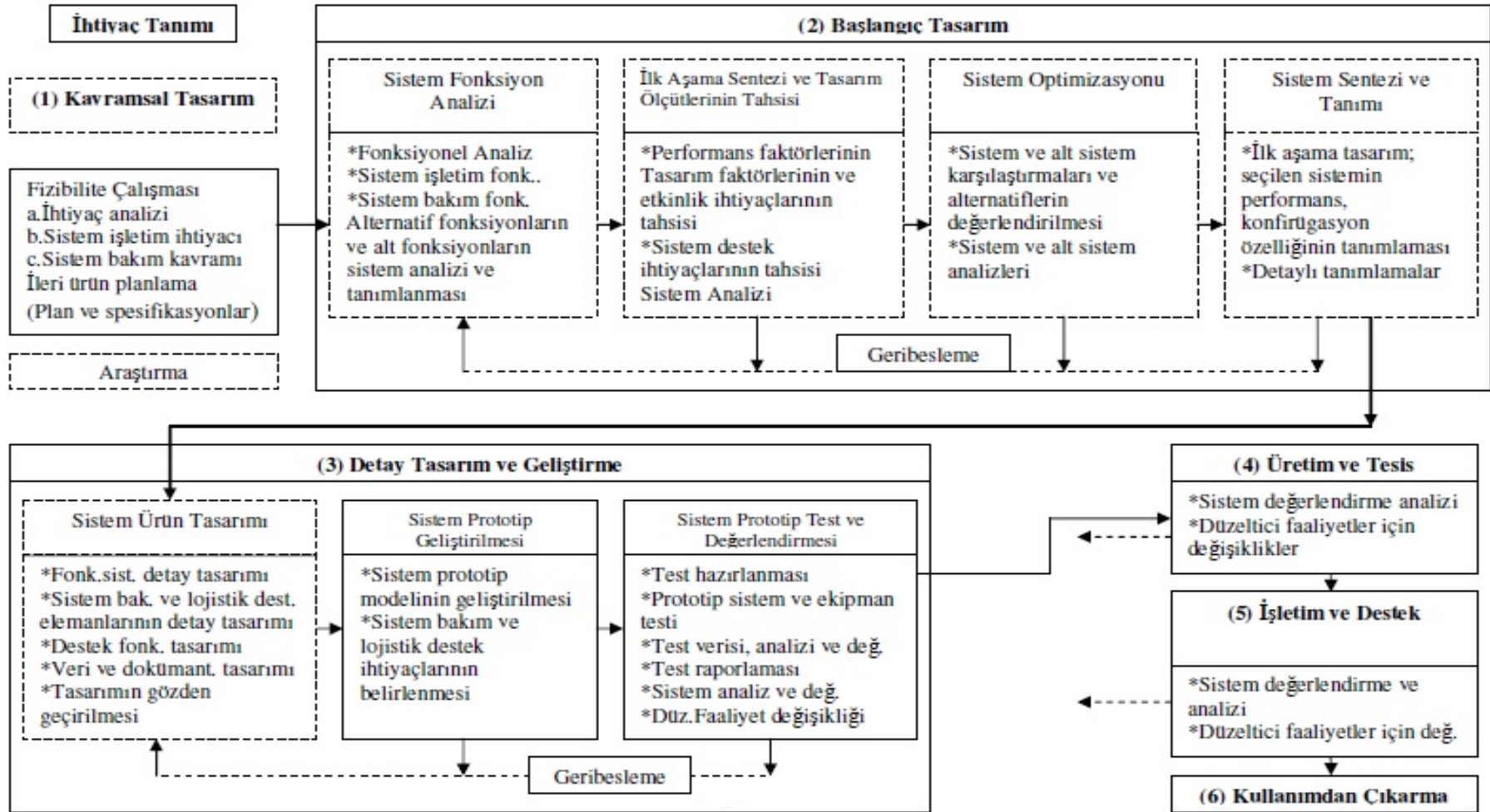
- i. Alternatiflerin karşılaştırılmasında,
- ii. Uzun dönemli planlamaların yapılmasında,
- iii. Proje yönetiminde,
- iv. Doğru seçimin yapılmasında,
- v. Modernizasyon kararlarının alınmasında,
- vi. Tedarik stratejisinin belirlenmesinde,
- vii. Stratejik kararların alınmasında,
- viii. Teknolojiye paralel hareket edilmesinde,
- ix. Eğitim ihtiyaçlarının tespitinde,
- x. Bütçe ihtiyaçlarının belirlenmesinde çok fayda sağlamaktadır (Jusu, 2006).

Bunun yanında, ÖDMA, yaşama yeni başlayacak veya hali hazırda kullanımda olan sistem veya ürünlerin ömür devrinin ne kadar olabileceğini belirlemekte işe yaramaktadır.

2.3. ÖMÜR DEVRİ MALİYET ANALİZİ SAFHALARI

Fabrycky ve Blanchard ise yaptıkları çalışmada ömür devri aşamalarını;

- i. İhtiyaç Tanımı,
- ii. Kavramsal Tasarım,
- iii. Başlangıç Tasarımı,
- iv. Detay Tasarımı,
- v. Üretim ve Tesisleşme,
- vi. İşletme ve Bakım,
- vii. Kullanımdan Çıkarma olarak belirtmiştir.



Şekil-4: Sistem Ömür Devri Süreci (Blanchard and Fabrycky, 1991:7)

Şekil-4'te ÖDMA safhalarının alt aşamaları detaylı olarak gösterilmiştir.

2.3.1. İhtiyaçların Tespiti

ÖDMA'nın ilk aşamasıdır. Sistem veya ürünün geliştirilmesi için ilerleyen aşamalarda ortaya çıkabilecek tüm ihtiyaçlar bu aşamada doğru tanımlanmalıdır. Sistem veya ürünle ilgili temel ihtiyaçların girdilerinin tanımlanma aşamasıdır (Fabrycky ve Blanchard, 1991).

Bu aşamanın amacı, ihtiyaçları, potansiyel riskleri ve büyük oranda iyileştirilmesi öngörülen var olan bir sistemin veya yeni olması planlanan sistemin maliyet etkinliğini herhangi bir kaynak tahsis edilmeden önce değerlendirmektedir.

Bu aşamada yapılacak yanlış tespitler müteakip aşamalarda ortaya çıkacak maliyetlerin artışına yol açabileceğinden, sistemin veya ürünün ömür devrini direkt etkileyebilecektir.

2.3.2. Tasarım ve Değerlendirme

Tasarım aşamasındaki faaliyetler kullanıcı isteklerinin tanımlanması ve sistem tasarımı ihtiyaçlarının tanımlanma aşamaları ile ilgilidir (Gnkr.Bşk.lığı, 2004)

Bu aşamada, kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayabilen, bu ihtiyaçlar ölçüsünde üretim yapılan, test edilen, geliştirilen ve ömür devri bitiminde elden çıkarılabilen bir sistemin tasarlanması ve tasarımın değerlendirilmesi yapılır.

Bu aşama, fikri tasarımla başlar, başlangıç tasarımı, detaylı sistem tasarımı ve değerlendirme ile devam eder. İhtiyaçların tespit edilmesi aşamasında da olduğu gibi bu aşamada yapılacak yanlış kurgulama ÖDM ile ömür devrini direkt etkilemektedir. Yani burada yapılacak tasarım, sistem veya ürünün yaşamı ile ilgili direkt yön vermektedir. Yeni olması önerilen sistemlerin tasarımı, sistem veya ürünün tedariki veya üretilmesi kararının alınmasına yardımcı olmaktadır. Bazen de bu aşama sonunda üretim veya tedarik yapılmasından vazgeçilebilmektedir.

2.3.3. Üretim/Tedarik ve Geliştirme

Genellikle araştırma ve geliştirmeye dayalı tedarikler için söz konusu olan yeni bir tasarımın gerçekleştirildiği, testleri yapılan prototiplerin seri olarak üretimine geçildiği safhadır. Tasarımı gerçekleştirilen sistem veya ürünün ilk prototipi yapılır ve seri üretime geçilir. Üretim planına veya tedarik planına bağlı olarak sistem veya ürünün paketler halinde veya bir seferde yaşama başlaması bu aşamada gerçekleşir.

Bu aşamada, önceki aşamaların planları güncelleştirilerek yedek parça ihtiyacı, hammadde ve iş gücü kaynaklarının yönetimine geçilir. Sistem veya ürünle ilgili gerçek denemeler bu aşamada yapılarak sistem veya ürünle ilgili geliştirmeler yapılır. İşletme aşamasına geçildiğinde ihtiyaç duyulacak destek, yani bakım ve idame planlamaları da bu aşamada yapılmalıdır.

Geliştirme faaliyeti kapsamında sistem veya ürüne ilişkin yapılacak denemeler ve testler, sistem veya ürünün ömür devrinin ne kadar olabileceğine yönelik ilk gerçek verileri bu aşamada vermektedir.

2.3.4. İşletme ve Destek (Bakım ve İdame)

İşletim ve Destek, üretim veya tedarik aşamasının tamamlanmasıyla ürün veya sistemin kullanıcı ile buluşmasından başlayan ve ömür devrinin sonuna kadar devam eden faaliyetlerdir. Bu dönemde ortaya çıkan tüm maliyetler de işletim ve destek maliyetlerini oluşturmaktadır.

İşletim ve Destek Maliyetleri; işletim, bakım ve değişiklik maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır.

İşletim ya da işletme maliyetleri, ürün ve sistemi faal halde ya da çalışır vaziyette bulundurma için yapılan tüm maliyetlerdir. Kullanıcının eğitimi de dâhil olmak üzere tesis ve kullanıcı destek maliyetlerini kapsar. Bakım maliyeti ise, bakım personeli, yedek parça, stok, periyodik bakım, arıza maliyeti vb. akla gelebilecek her türlü bakım faaliyetlerine ilişkin maliyetlerin tümüdür. Sistem ve üründe yapılacak her türlü değişiklik ve modernizasyona ilişkin maliyetler de işletim ve destek maliyeti içerisinde ortaya çıkmaktadır.

Bu maliyetlerin birçoğu ömür devri boyunca bazen periyodik, bazen de rassal olarak tekrarlar.

2.3.5. Elden Çıkarma

Kullanımda bulunan sistem veya ürünün; teknolojik gelişmeler, rekabet, ihtiyaçlar, bakım ve idame faaliyetlerinin zorluğu ve maliyet artışı vb. nedenlerle yetersiz hale gelmesi, neticesinde fiziki, ekonomik ve teknolojik ömrünü tamamlaması kararının verilmesi sonucunda sistem veya ürün elden çıkarılır. Bu kapsamda, sistem veya ürünün elden çıkarılması belirli bir maliyet getirebileceği gibi hurda değeri sayesinde de bir getiri de sağlayabilmektedir.

Genel olarak sistemin veya ürünün ömür devrine yaklaştığı her aşama maliyetinde artışa neden olmakta bu da sistemden sağlanan faydanın azalmasına neden olmaktadır.

2.4. MALİYET TAHMİN YÖNTEMLERİ

Sistem veya ürünlerin tedarik edilmesi veya üretilmesi için ortaya çok yüksek maliyetler çıkaracaktır. Bu maliyetlerin önceden tahmin edilmesi, karar vericilerin karar almasına bir yol göstermektedir. Genel olarak maliyetlerin tahmin edilmesi bir öngörü veya değerlendirme gibi gözükse de maliyet kontrolü için önemlidir.

Ömür devri safhalarında ortaya çıkacak maliyetler, birbirinden farklı olduğu için her maliyet için de farklı tahmin yöntemleri kullanılabilir. Maliyet tahmin yöntemlerinin birçoğu, geçmiş tecrübelerden faydalanarak geleceği tahmin etmektedir.

Yapılan çalışmalarda ve literatürde, maliyet tahmin yöntemleri genel olarak şu şekildedir.

- i. Benzetim Yöntemi
- ii. Parametrik Tahmin Yöntemi
- iii. Uzman Görüşü Yöntemi
- iv. Mühendislik Yaklaşımı Tahmin Yöntemi
- v. Ekstrapolasyon Tahmin Yöntemi

2.4.1. Benzetim Yöntemi

Benzetim yöntemi, hali hazırda bulunan benzer sistem ve ürünlere ilişkin geçmişte kayıt altına alınmış verilerin analizine dayanan bir tahmin yöntemidir. Bu yöntem maliyetlerin benzerlik yöntemi olarak da adlandırılır (Federal Havacılık İdaresi, 2002). Bu yöntemde detaylı analiz yapılmasına gerek olmadığından detaylı tahmin de yapılamaz. Genellikle araştırma/geliştirme safhasında ve teknoloji geliştirme safhasında kullanılmaktadır. Bu yöntemde tahmin için kullanılacak sistem ile maliyeti tahmin edilecek sistemler arasındaki benzerliğin yüksek olması, farklılıkların belirgin olması ve bunların maliyete etkisi önemlidir (Candan, 2003).

2.4.2. Parametrik Tahmin Yöntemi

Bu yöntem, birbiri ile ilişkili olan maliyetlerin arasındaki ilişkileri kullanarak tahminde bulunur (Candan, 2003). Genel olarak ömür devri safhalarının ilk aşamalarında ve prototip üretimi safhasında kullanılmaktadır. Bu yöntem de diğer yöntemler gibi güvenilir verilere dayanmaktadır ve istatistiksel tekniklerle tahmin üretmektedir.

Bu yöntemle de benzetim yöntemin de olduğu gibi kaba tahmin yapılır.

2.4.3. Uzman Görüşü Yöntemi

Bu yöntem, diğer tekniklerin kullanılması için yeterli veri olmadığı zaman kullanılmaktadır. Konusunda uzman olan kişilerin görüşleri ile maliyet tahmini yapılmaktadır. Subjektif yargılara dayanması nedeniyle detaylı tahmin yapılamaz.

Sistem ve ürünlerin karmaşıklığı, uzmanların kısıtlı deneyimi bu yöntemin kullanılmasının dezavantajları olarak gözükmektedir. Ancak, uygun olmayan verilerin varlığı söz konusu olduğunda kullanılan bir kaba tahmin yöntemidir.

2.4.4. Mühendislik Yaklaşımı Tahmin Yöntemi

Bu yöntem, detaylı veriler kullanılarak yapılır ve ayrıntılı analizlerin yapılmasını gerektirir.

Genellikle standart maliyetleri ele alır ve üretim safhasında kullanılır (Yöner, 2003). Ancak detaylı analizler gerektirmesi nedeniyle zaman alıcıdır. Ayrıca bu analizlerin yapılmasında yapılacak hatalar maliyetin yanlış tahmin edilmesine neden olabilmektedir.

2.4.5. Ekstrapolasyon Tahmin Yöntemi

Bu yöntem, belirli bir ürüne veya sisteme ait bilinen verilerin kullanılarak gelecekteki oluşacak verileri tahmin etme yöntemidir. Detaylı bir tahmin yöntemidir.

Genellikle üretim safhasında kullanılan bu yöntem mühendislik yöntemi gibi ayrıntılı verilere ihtiyaç duymaktadır.

2.5. ÖMÜR DEVRİ BOYUNCA ORTAYA ÇIKAN MALİYETLER

Sistemlerin veya ürünlerin üretilmesine/tedarik edilmesine karar verilmesinden başlayan ve sistem dışına çıkarılmasına kadar geçen süre içerisinde birçok maliyet ortaya çıkmaktadır. Bu maliyetler; sistemlerin işlevlerine, üretim veya tedarik sürecine, kullanım şekline vb. bileşenlere göre farklılık gösterse de genel olarak ömür devri safhalarında da olduğu gibi temel özelliklere göre sınıflandırılmaktadır.

Ömür devri boyunca ortaya çıkan maliyetler temel olarak;

- i. Araştırma ve Geliştirme (AR-GE) Maliyetleri,
- ii. Tasarım ve Değerlendirme Maliyetleri,
- iii. Üretim/Yatırım Maliyetleri,
- iv. İşletme ve Destek Maliyetleri,
- v. Elden Çıkarma Maliyetleridir.

Bazı çalışmalarda tasarım ve değerlendirme maliyetleri, araştırma ve geliştirme maliyetleri içerisine dâhil edilmiştir. ,

Fabrycky ve Blanchard yaptıkları çalışmalarda, ömür devri boyunca ortaya çıkan maliyetleri;

i. AR-GE Maliyetleri

- (1) Program Yönetimi Maliyeti
- (2) İleri Araştırma Geliştirme Maliyeti
- (3) Mühendislik Tasarımı Maliyeti
- (4) Donanım Geliştirilmesi ve Testi Maliyeti
- (5) Mühendislik Verileri Maliyeti

ii. Yatırım Maliyetleri

- (1) Üretim Maliyeti
- (2) Tesis Maliyeti
- (3) Başlangıç Lojistik Destek Maliyeti

iii. İşletim ve Destek Maliyetleri

- (1) İşletim Maliyeti
- (2) Sistem/Ürün Bakım Maliyeti
- (3) Sistem/Ürün Değişikliği Maliyeti

iv. Elden Çıkarma/Envanterden Çıkarma Maliyetleri şeklinde sınıflandırmıştır.

2.5.1. Araştırma ve Geliştirme Maliyetleri

Araştırma ve Geliştirme (ARGE), yeni sistem veya ürünlerin üretim veya tedarik aşamalarının ortaya çıkarılması için yapılan çalışmalardır. ARGE; bilim ve teknolojinin gelişmesini sağlayacak yeni bilgileri elde etmek veya mevcut bilgilerle yeni malzeme, ürün ve araçlar üretmek, yazılım üretimi dâhil olmak üzere yeni sistem, süreç ve hizmetler oluşturmak veya mevcut olanları geliştirmek amacı ile yapılan düzenli çalışmalardır.

ARGE maliyetleri de; sistemlerin veya ürünlerin üretimine veya tedarik edilmesine karar verilmesi için yapılacak olan her türlü çalışma için yapılacak harcamalara ilişkin maliyetlerdir. Yapılacak olan ARGE faaliyetleri ilerleyen safhalarda çıkacak maliyetlerin düşürülmesi için çok önemlidir. Özellikle karar vericilerin üretim ve tedarik kararı için doğru bir analiz yapması için yapılan ARGE faaliyetleri için yapılan maliyetler, program yönetimi, ileri ARGE, mühendislik tasarımı, donanım geliştirilmesi ve testi ile mühendislik verileri maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır.

ARGE maliyetleri, ömür devri boyunca bir kez ortaya çıkar ve tekrarlamaz.

2.5.2. Yatırım Maliyetleri

Yatırım, bir sistemin veya ürünün üretilmesi için gerekli olan sermayenin kendisidir. ARGE sonucunda karar verici tarafından sistemin veya ürünün üretilmesi veya tedarik edilmesi kararı verilmesi neticesinde, kurulacak olan üretim tesislerinin inşa edilerek veya mevcut üretim tesislerinden faydalanarak üretim yapılması ve devamında lojistik destek faaliyetlerinin planlanması için gerekli olan maliyetler de yatırım maliyetleridir.

Yatırım maliyetleri; üretim, tesis ve başlangıç lojistik destek ve başlangıç eğitimi maliyetlerinin toplamından oluşur. Bu maliyetlerin bir kısmı üretim veya tedarik aşamasında birden fazla tekrarlayabilir.

2.5.3. İşletim ve Destek Maliyetleri

İşletim ve Destek, üretim veya tedarik aşamasının tamamlanmasıyla ürün veya sistemin kullanıcı ile buluşmasından başlayan ve ömür devrinin sonuna kadar devam eden faaliyetlerdir. Bu dönemde ortaya çıkan tüm maliyetler de işletim ve destek maliyetlerini oluşturmaktadır.

İşletim ve Destek Maliyetleri; işletim, bakım ve değişiklik maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır.

İşletim ya da işletme maliyetleri, ürün ve sistemi faal halde ya da çalışır vaziyette bulundurması için yapılan tüm maliyetlerdir. Kullanıcının eğitimi de dâhil olmak üzere tesis ve kullanıcı destek maliyetlerini kapsar. Bakım maliyeti ise, bakım personeli, yedek parça, stok, periyodik bakım, arıza maliyeti vb. akla gelebilecek her türlü bakım faaliyetlerine ilişkin maliyetlerin tümüdür. Sistem ve üründe yapılacak her türlü değişiklik ve modernizasyona ilişkin maliyetler de işletim ve destek maliyeti içerisinde ortaya çıkmaktadır.

Bu maliyetlerin birçoğu ömür devri boyunca bazen periyodik, bazen de rassal olarak tekrarlar.

2.5.4. Elden Çıkarma/Envanterden Çıkarma Maliyetleri

Elden çıkarma sistemin veya ürünün ömür devrini tamamlayarak sistem dışına çıkarılmasıdır. Bu kapsamda ortaya çıkacak maliyetler de elden çıkarma maliyetlerini oluşturmaktadır. Sistemin veya ürünün elden çıkarılması maliyetin yanında bir hurda değeri olarak getiri de sağlayabilmektedir. Yapılacak analizlerde, eğer varsa hurda değerinin de bir getiri olarak ele alınması önemlidir.

Elden çıkarma maliyetleri sistemin veya ürünün elden çıkarılması maliyetinden hurda değerinin çıkarılmasıyla oluşmaktadır. Bu maliyet diğer maliyetler gibi tekrarlamaz.

Yapılan çalışmalarda; ömür devri maliyetinin ömür devri boyunca, ortalama olarak dağılımı; araştırma, geliştirme, tasarım ve değerlendirme maliyetleri için %7-10, yatırım maliyetleri için %23-30, işletim ve destek maliyetleri için %65-70, elden çıkarma maliyetleri için %2 olarak hesap edildiği ifade edilmektedir.

Sonuç olarak; oldukça yüksek maliyetlerin ortaya çıktığı ömür devri sürecinde yapılacak analizlerin ayrıntılı verilere dayanarak, maliyetlerin gerçekleşmesi muhtemel sonuçlara dayandırılması önemlidir.

BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MAKİNE YENİLEME PROBLEMLERİ

3.1. TANIMI VE TARİHİ GELİŞİMİ

Gelişen teknoloji, enflasyon, rekabet, bütçe kısıtlamaları, zamanın etkin kullanımı, maliyet-etkinlik analizleri ve yükselen maliyetler gibi birçok etkenin ortaya çıktığı günümüzde, etkin karar verme, doğru analiz yapma giderek önem kazanmaktadır. Bir taraftan maliyetlerin düşürülmesi, diğer taraftan da hizmet kalitesi veya verimin artırılması arasındaki dengeyi sağlamak için teknolojik gelişmelerin her türlü sektörde kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Özellikle üretim sektöründe doğru zamanda, doğru sistem veya ürünü üretmek, geliştirmek ve uzun süreli kullanımını sağlamak için bu sistemleri üretecek makinelerin/teçhizatların da hizmet sürelerini belirlemek ayrı bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu makinelerin/teçhizatların üretimi veya satın alınması süreci dışında işletimi, bakımı, elden çıkarılması aşamalarından geçilerek yenilenmesi için belirlenecek stratejinin doğru olması, başlangıçta da bunların düşünülerek doğru bir planlama yapılması gerekmektedir.

Kullanılan sistem, makine, teçhizat, ürün vb. her şeyin fiziksel şartlara bağlı bir fiziksel ömrü, ekonomik şartlara bağlı bir ekonomik ömrü ve faydalı olmasına bağlı olarak bir faydalı ömrü bulunmaktadır. Bu ömürlerinin doğru hesaplanması başlangıçtan itibaren doğru bir analiz yapma imkânı sağlayacaktır. Bir sistem, makine, ürün, teçhizat vb. aklımıza gelebilecek her türlü şeyin hizmet verme süresi arttıkça ömrüne bağlı olarak işletme, bakım masrafları da doğal olarak artacaktır. Belli bir yaşa ulaştığı zaman yenilemek, elden çıkarmak veya modernize etmek ekonomik hale gelebilecektir. Buradan anlaşılacağı üzere makinenin en ekonomik olarak kullanılacak yaşının belirlenmesi bir karar verme problemidir.

Karar vericilerinin asıl görevlerinden bir tanesi de doğru teçhizatı veya sistemi doğru zamanda en düşük maliyetle yenilemektedir (Fan, Gemar ve Machemehl, 2013).

Makine yenileme problemi, hali hazırda kullanılmakta olan makinelerin ekonomik ve fiziksel şartlara bağlı olarak maliyetinin artması neticesinde yenilenme veya elden

ıkarma zamanlarının bulunmasına yarayan karar verme problemidir. Literatürde teçhizat yenileme problemi olarak da geçmektedir.

Makine yenileme problemi en kısa yol problemlerinin bir çeşididir. En kısa yol problemi, iki veya daha fazla nokta veya düğüm arasında en kısa yolu bulmaya yarayan problemlerdir (Winston, 2004:8.2). Bu problemleri çözmek için birçok algoritma geliştirilmiştir. Bunlardan en bilinenleri;

- i. Dijkstra Algoritması,
- ii. Bellman-Ford Algoritması,
- iii. Arama Algoritması,
- iv. Floyd-Warshall Algoritması,
- v. Johnson's Algoritması,
- vi. Viterbi Algoritmasıdır (Cherkassky, Goldberg ve Radzik,1996).

En kısa yol problemlerinin kullanım alanları;

- i. Haritalar,
- ii. Navigasyon veya rotalama,
- iii. Doku kaplama,
- iv. Dizgicilik,
- v. Şehir trafik planlaması,
- vi. En iyi boru hattı planlaması,
- vii. Altyapı planlaması,
- viii. Operatör planlaması,
- ix. Telekomünikasyon,
- x. Parçalı doğrusal programlama,
- xi. Şebeke rotalama,
- xii. Teçhizat Yenileme,
- xiii. Finans sektörüdür (Ahuja, Magnanti ve Orlin, 1993).

En kısa yol problemleri genel olarak en küçükleme problemidir ve matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

İndisler:

i ve j = Döğümler,

A kümesi ayrıtlar, $A=\{(i,j)\}$,

Değişkenler:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i' \text{ den } j' \text{ ye geçiş varsa} \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$$

Parametreler:

C_{ij} = i 'nci döğümden j 'nci döğüme geçişin maliyeti,

MODEL:

$$\text{Min } \sum_{ij \in A} C_{ij} X_{ij} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\text{st. } \sum_j X_{ij} - \sum_j X_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{Başlangıç ise;} \\ -1, & \text{Bitiş ise;} \dots \dots \dots, \forall i \in A \dots \dots \dots (3.2) \\ 0, & \text{diğer durum (dd)} \end{cases}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \qquad \qquad \forall_{ij} \in A \dots \dots \dots (3.3)$$

Eş.3.1; başlangıç ve bitiş döğümleri arasında maliyeti en küçük yapan amaç fonksiyonunu, Eş.3.2; başlangıç döğümünden tek çıkış, bitiş döğümüne tek giriş ve arar döğümlere de bir giriş ve bir çıkış olmasını sağlayan döğüm kısıtıdır, Eş.3.3 ise; karar değişkenlerinin alacağı değerleri ifade eder.

3.2. MAKİNE YENİLEME PROBLEMİ

Makine yenileme problemleri, genel olarak tek makine yenileme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yani, işletilmekte olan tek makinenin bilinen veya hesaplanan ekonomik ömrü dikkate alınarak belirlenen bir çalışma zamanı içerisinde ne zaman yenilenmesi gerektiğini bulmaya yarar. Burada asıl amaç, yükselen işletme ve destek maliyetleri nedeniyle makinenin ne zaman yenileneceğini bulmaktır (Fan, Gemar ve Machemehl, 2013).

Makine veya teçhizat yenilemesi yapılmasındaki ana nedenler;

- i. Yüksek işletme ve destek maliyetleri nedeniyle fiziksel yıpranma,
- ii. Teknolojik olarak geride kalması, daha kullanışlı ve kaliteli ürünlerin üretilmesi,
- iii. Aynı kalitede teçhizatın daha uygun fiyatlara alınabilmesi,
- iv. Mevcut talebi karşılamada yetersizliktir (Abensur, 2010).

Makine yenileme problemlerinde yapılan çalışmaların genel olarak sınıflaması aşağıdaki gibidir (Abensur, 2010).

- i. Dinamik Programlama;
 - a. Nair ve Hopp (1992),
 - b. Ladany (1997)
 - c. Valverde ve Resende (1997),
 - ç. Doğramacı ve Fraiman (2004),
 - d. Marques vd. (2005),
- ii. Tamsayılı Doğrusal Programlama;
 - a. Taha (2008),
- iii. Dinamik Programlama ve Tamsayılı Doğrusal Programlama;
 - a. Ahuja vd. (1993),
 - b. Akbalık vd. (2008),
 - c. Taha (2008).

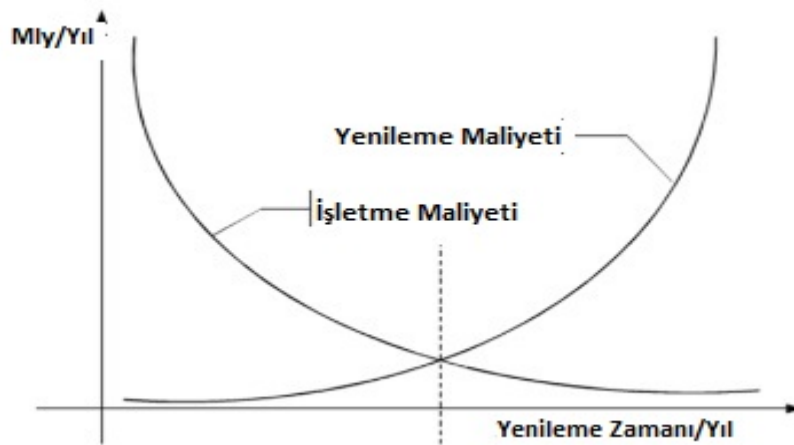
Bu çalışmalar incelendiğinde, tamamının tek makine yenileme problemleri olarak ele alındığı gözükmemektedir. Bunların dışında az da olsa bazı çalışmalar çok periyotlu makine yenileme problemi olarak yapılmıştır.

3.3. TEK MAKİNE YENİLEME PROBLEMİ

Tek makine yenileme problemi ile ilgili literatürde çok fazla çalışma olmamakla birlikte, bu konuda; Alchian, Terborgh, Bellman, Dreyfus, Smith, Eilon vd., Sethi ve Morton, Sethi ve Chand, Chand ve Sethi, Oaxford vd., Bean vd., Leung ve Tanchoco ile Tanchoco ve Leung tarafından çalışmalar yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar, ekonomik dünyada makine yenileme kararlarının nasıl alınması gerektiğini göstermektedir (Leung ve Tanchoco, 1990).

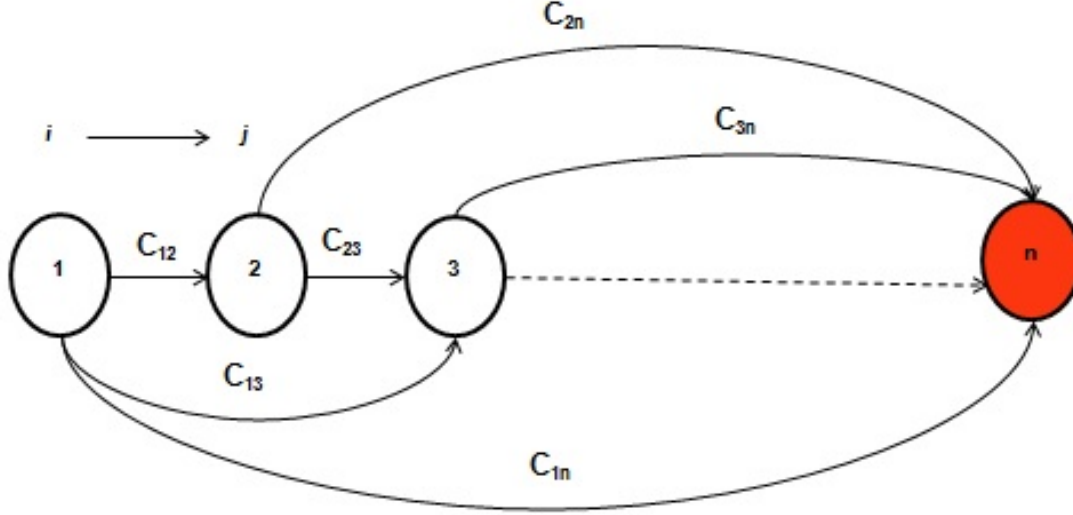
Çalışmaların bir kısmı da bu problemin çözümü için dinamik programlamayı kullanmıştır. (Winston, 2004:8.2). Bilindiği üzere, dinamik programlama; ana problemi küçük alt problemlere ayırarak önce alt problemlerin çözümüne ve devamında çözüm sonuçlarını birleştirerek ana problemin en iyi çözümüne ulaşmaktadır. En kısa yol problemleri, kaynak dağıtım problemleri, sırt çantası problemleri, satın alma ve stok problemleri ve makine yenileme problemlerinde çok sık rastlanan dinamik programlama Richard Bellman tarafından, çok aşamalı karar problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir.

Bu çalışmalar incelendiğinde dinamik programlamanın tek makine yenileme problemlerinde kullanılması ve yaptığımız çalışmada dinamik programlama kullanılmayacağı için bu konunun detayına yer verilmemiştir.



Şekil-5: İşletme ve Yenileme Maliyetleri Arasındaki İlişki

Bazı çalışmalarda ise, makine veya teçhizatın işletme maliyeti ile yenileme maliyeti bir parametre olarak kullanılmış ve ikisi arasında geliştirilen fonksiyonlara göre makine veya teçhizatın yenileme zamanları ile ilgili politikalar geliştirilmiştir. Şekil-5'de bu ilişki grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil-6: Makine Yenileme Problemi

Tek makine yenileme probleminde, Şekil-6'da da gösterildiği gibi her bir maliyet değeri, yani C_{ij} 'ler, i 'den j 'ye olacak şekilde, model çözülmeden önce hesaplanır ve bir veri kümesi oluşturulur. Maliyet hesaplanırken yeni makine satın alma, işletme, bakım, elden çıkarma maliyetleri ve hurda getirileri gibi ekonomik değerler dikkate alınır.

Yukarıda bahsedilen özellikle dinamik programlama ile yapılan çalışmalarda maliyetlerin hesaplanması ayrı bir safha olarak belirlenmiş, C_{ij} 'lerin hesaplanması için bir fonksiyon geliştirilmiş ve her i noktasından j noktasına en düşük maliyetlerin bulunması safhasına geçilmiştir. En son olarak bulunan alt çözümler birleştirilerek en iyi çözüme ulaşmaya çalışılmıştır. Ancak bu çalışmalar tek bir makine ile sınırlı kalmıştır. Dolayısıyla her tür makine için bu model ayrı ayrı çalıştırılmak durumundadır.

3.4. ÇOK PERİYOTLU MAKİNE YENİLEME PROBLEMİ

Çok periyotlu makine yenileme problemleri, günümüzde üretim teknolojisinin karmaşıklığı, sistemlerin veya ürünlerin tek bir makine tarafından üretilmemesi gibi sebeplerle ortaya çıkmıştır. Ancak yapılan az sayıda çalışma tek makine yenileme problemini çok periyotlu olarak düşünerek ele alınmıştır (Leung ve Tanchoco, 1990).

Burada çok periyottan kasıt, makineler arası üretilen parçaların geçtiği aşamalardır. Parçaların bu aşamalarda geçirdiği işlemler dikkate alınarak parça üretim miktarları, maliyet gibi hususlar ele alınmış ve buna yönelik model geliştirilmiştir.

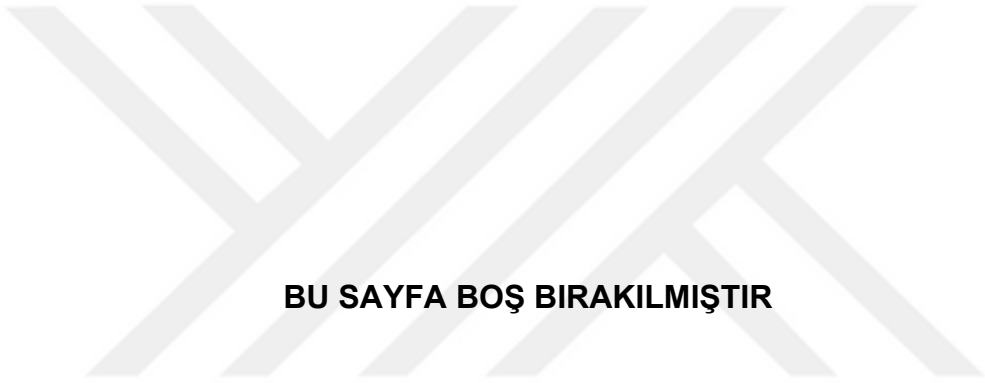
Bu konuda Hansmann ve Ray tarafından yapılan çalışmada, çok periyotlu makine yenileme modeli önerilmiş, ancak günümüzde önemli olan birçok faktör dikkate alınmamıştır. Bu çalışmadan esinlenen Leung ve Tanchoco; makineler arası parçaların atanması, makine esnekliği, paketleme, makineler arası ulaşım maliyeti gibi faktörleri dikkate alarak matematiksel model geliştirip çözüm elde etmiş olsalar da söz konusu model geliştirdikleri senaryoya dayandığı için genel bir çalışma olarak kabul görmemiştir.

Yano tarafından yapılan çalışmada ise, kapasiteli tesis yerleşimi problemine ilişkin model geliştirilerek paralel teçhizat/makine yenileme modeli kullanılmıştır.

Science Direct’de, son 10 yıl içerisinde anahtar kelimelerinin içinde “makine yenileme veya teçhizat yenileme” olan makaleler aratıldığında 454 çalışma listelenmiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde çoğunluğunun üretim için kullanılan makinelerin yenileme stratejilerine yönelik olduğu, genellikle enerji alanında kullanılan makine veya teçhizatlara yenileme politikaları geliştirilmeye çalışıldığı görülmüştür.

Yapılan tüm bu çalışmalarda birden fazla yani çok makine için herhangi bir matematiksel model geliştirildiğine rastlanmamıştır.

Özellikle kullanımda olan araç, gereç, silah, savunma sistemleri gibi devamlı kullanımda olan sistemler kullanım amaçlarına göre birden fazla versiyonla üretilmektedir. Aynı çevrede kullanılan bu sistemlerin yenilenme zamanlarının ayrı ayrı tespit edilmesi yerine aynı anda bulabilecek bir modelin bugüne kadar geliştirilmemiş olması bu çalışmanın çıkış noktasıdır.



BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ÇOKLU MAKİNE YENİLEME PROBLEMİ VE UYGULAMA

4.1. PROBLEMİN TANIMI

Ülkenin güvenliğınden sorumlu kamu kurumları tarafından kullanılmak üzere, ülke genelinde kullanılacak her türlü araç, gereç vb. sistemler savunma sanayi tarafından üretilerek kullanıma sunulmaktadır.

Bu çalışmanın maksadı, söz konusu kamu kurumunun kullanımı için 2004 yılından bu yana kullanılan bir sistemin, ömür devri maliyetini ve ekonomik ömrünü dikkate alarak belirli bir planlama ufku içerisinde her sistem için ayrı ayrı yenilenme/elden çıkarma zamanlarını tespit etmektir. Problemde kullanılan maliyetler jenerik olarak belirlenmiş ve ÖDM hesabı için kullanılmıştır.

Ayrıca, sistemlerin ekonomik ömrü ve paranın değerini belirleyen faiz oranı parametre olarak kullanılmış, problem farklı senaryolara dayandırılmış ve modelin geçerliliğı test edilmiştir.

Uygulama safhasında yapılan işlemler Çizelge-1'de gösterilmiştir. Çözüm süreci birbirine bağılı 4 adımdan oluşmaktadır. Problemin çözümü için gerekli olan maliyet hesapları çözüm adımlarına dâhil edilmiştir. Ekonomik ömre ve paranın gelecekteki değerini bulmamıza yarayan faiz oranına dayalı 4 senaryo oluşturularak karar vericilere sistemlerin ne zaman yenilenmesi gerektiğıne dair analiz yapma imkânı sağlayacak tamsayılı doğrusal karar modeli geliştirilmiştir.

Çizelge-1: İş Akış Şeması

ADIM 1	MATEMATİKSEL MODELİN GELİŞTİRİLMESİ
1.1	GELİŞTİRİLEN ÇOKLU MAKİNE YENİLEME MODELİ
1.2	MODELİN KISA BİR PERİYOT İÇİN UYGULAMASININ ANLATIMI
ADIM 2	ÖMÜR DEVRİ MALİYETLERİNİN HESAPLANMASI
2.1	MALİYET KALEMLERİNİN BELİRLENMESİ
2.2	JENERİK MALİYETLERİN OLUŞTURULMASI
2.3	ÖMÜR DEVRİ MALİYET HESABININ YAPILMASI
ADIM 3	TEMEL FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ
3.1	ÇALIŞILACAK SİSTEME İLİŞKİN PARAMETRELERİN BELİRTİLMESİ
ADIM 4	MODELİN FARKLI SENARYOLARA UYGULANMASI
4.1	MODELİN BOYUT ANALİZİ
4.2	1'İNCİ SENARYOYA DAYALI ÇÖZÜM (EKONOMİK ÖMÜR=30 YIL, FAİZ ORANI=0.03)
4.3	2'İNCİ SENARYOYA DAYALI ÇÖZÜM (EKONOMİK ÖMÜR=30 YIL, FAİZ ORANI=0.06)
4.4	3'ÜNCÜ SENARYOYA DAYALI ÇÖZÜM (EKONOMİK ÖMÜR=35 YIL, FAİZ ORANI=0.03)
4.5.	4'ÜNCÜ SENARYOYA DAYALI ÇÖZÜM (EKONOMİK ÖMÜR=35 YIL, FAİZ ORANI=0.06)

Çizelge-1'de uygulama bölümünde anlatılacak konular aşamalar hâlinde gösterilmiştir.

4.2. ÇOKLU MAKİNE YENİLEME MODEL ÖNERİSİ

4.2.1. Çoklu Makine Yenileme Modeli

Çoklu makine yenileme modeli; aynı ortamda veya çevrede birden fazla türde ve yaşta kullanılan sistem, teçhizat veya makinenin, ömür devri boyunca sebep olduğu maliyetlere dayalı yenilenme veya elden çıkarılma zamanlarını bulmaya yarayan modeldir.

Oluşabilecek genel durumlara uygun olarak önerilen matematiksel model belirli bir zamana bağlı kalmadan istenilen zaman periyodu için çözülecek şekilde dinamik olarak geliştirilmiştir.

Tek makine yenileme modelinde kullanılan 0-1 tam sayılı programlama yerine her bir makinenin ayrı ayrı yenilenme zamanını bulmaya yarayan bu modelde tamsayılı doğrusal programlama kullanılmıştır.

Tamsayılı doğrusal programlama kullanılmasındaki amaç, her bir periyot için planlama stratejisi sunan makine miktarlarını bulmaktır. Yani, tek makine yenileme problemlerinde kullanılan 0-1 tamsayılı programlamada çözüm sonucunda i'nci zamandan j'inci zamana makine geçişi olup olmayacağı bulunurken, bu modelde i'nci zamandan j'inci zamandan kaç adet makinenin geçiş yapacağı bulunmaktadır. Böylece i'nci zamanda kaç adet makine alınacağı ve bu makinelerin ne zaman elden çıkarılacağı sonucuna ulaşılmaktadır.

Ayrıca değişkenlere ilave edilen makine türü kümesi (k) ile de hangi tür makinenin ne zaman yenileneceği bulunarak model, çoklu makine yenileme modeli haline getirilmiştir.

Model bir planlama ufku süresine göre çözüm üretmektedir. Ancak istenilirse modele ekonomik ömür süresi dâhil edilerek de çözüm elde edilebilmektedir. Yapılan çalışmada ekonomik ömür süresi bir parametre olarak modele dâhil edilmiştir.

Bunun yanında makine türlerinin her birinin başlangıç zamanındaki yaşları da istenilirse parametre olarak modele ilave edilebilmektedir. Makine yaşları da ekonomik ömür parametresinde olduğu gibi maliyet verileri hesaplanırken dikkate alınarak modelde kullanılmaktadır.

Modelde tanımlanan periyotlar kümesi istenilen zamana göre ister günlük, ister aylık, istenilirse yıllık olarak belirlenebilmektedir. Ancak maliyet verileri de bu periyotlara göre hesaplanmalıdır.

Modelin gerçek şartlara uygun hale getirilmesi için birçok parametre kullanılmıştır. Bunlar;

- i. Planlama ufku (n): Modelin düğüm sayısını belirleyen en önemli parametredir.
- ii. Ekonomik ömür (e): Modelde kullanılan sistemin planlama ufku içerisinde en fazla elde bulundurulabileceği süreyi belirlemek için kullanılmıştır.
- iii. Sistem türü (k): Çok türde sistemi temsil etmesi için eklenmiştir.
- iv. Sistemin yaşı: Farklı türde farklı zamanlarda üretilen ve kullanıma başlayan sistemleri göstermek için kullanılmıştır.
- v. Faiz oranı (f): Maliyete dayalı olarak geliştirilen modelde paranın gelecekteki değerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Tüm maliyet verileri planlama ufku içerisinde bu faiz oranından etkilendiği için hesaplamada dikkate alınmıştır.
- vi. Sistem miktarı (d): Her periyot için elde bulundurulması istenilen sistem miktarı belirlenerek model kısıtlanmıştır.
- vii. Yatırım miktarı (t): Her periyot için satın alınacak yeni sistem miktarını kısıtlamak maksadıyla modele dâhil edilmiştir.
- viii. Satın alma maliyeti (s): Sistem miktarı ve yatırım miktarı kısıtlarına ilaveten söz konusu kısıtları da direkt etkileyen satın alma maliyeti, her periyotta alınacak her bir sistemin maliyetini belirlemek için kullanılmıştır.
- ix. Ömür devri maliyeti (M): Modelin çözümünün belirlenmesindeki en önemli parametredir. Amaç fonksiyonundaki değişkenlere ilişkin teknolojik katsayıları oluşturmaktadır. Hesaplanması ile ilgili hususlar müteakip safhalarda açıklanacaktır.

Tüm bu parametreler ayrı ayrı ele alındığında çoklu makine yenileme modeli tek makine yenileme modeline göre daha zor hale getirilerek günümüz şartlarına göre geliştirilmiştir. Yukarıda belirtilen parametrelerde yapılacak her türlü değişikliğe uygun çözüm üretebilen model elde edilen çözümlerle karar vericilere farklı planlama önerileri sunabilmektedir. Bu açıklamalara göre geliştirilen model aşağıdaki gibidir.

Küme ve İndisler:

$i = j = u = \{1, \dots, n\}$ Periyotlar kümesi,

$k = \{1, \dots, l\}$ Makine türü kümesi,

n Planlama ufku zamanı veya fiziki ömür

l Makine türü sayısı

Değişkenler:

x_{kij} = i'nci zamanda satın alınan j'inci zamanda elden çıkarılan k'inci tür sistem miktarı (adet)

Y_{ki} = i'nci zamanda alınan k'inci tür sistem miktarı (adet)

Parametreler:

M_{kij} = i'nci zamanda satın alınan j'inci zaman elden çıkarılan k'inci tür sistemin ömür devri maliyeti,

d_{ki} = i'nci zaman elde bulundurulması gereken k'inci tür sistem miktarı,

t_{ki} = i'nci zaman satın alınabilecek k'inci tür sisteme ilişkin yatırım miktarı,

S_{ki} = i'nci zaman k'inci türden alınacak sistemin satın alma maliyeti

MODEL

$$\text{Min} \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{kij} X_{kij} \quad (i \neq j) \dots \dots \dots (4.1)$$

$$s. t. \sum_{j=1}^n X_{kij} = Y_{ki} \quad (i < j), \quad \forall_{k,i} \text{ için} \dots \dots \dots (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{kij} + \sum_{j=1}^n \sum_{u=1}^n X_{kju} \geq d_{ki} \quad (i < j), \quad \forall_{k,i} \text{ için} \dots \dots \dots (4.3)$$

$$S_{ki} Y_{ki} \leq t_{ki} \quad \forall_{k,i} \text{ için} \dots \dots \dots (4.4)$$

$$x_{kij} \text{ ve } Y_{ki} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad \forall_{kij} \in A \dots \dots \dots (4.5)$$

Eş.4.1; çok türden makine yenileme maliyetini en küçük yapan amaç fonksiyonunu,

Eş.4.2; belirtilen zaman için alınabilecek sistem miktarı kısıtını,

Eş.4.3; i'inci zamanda olması gereken sistem miktarı kısıtını,

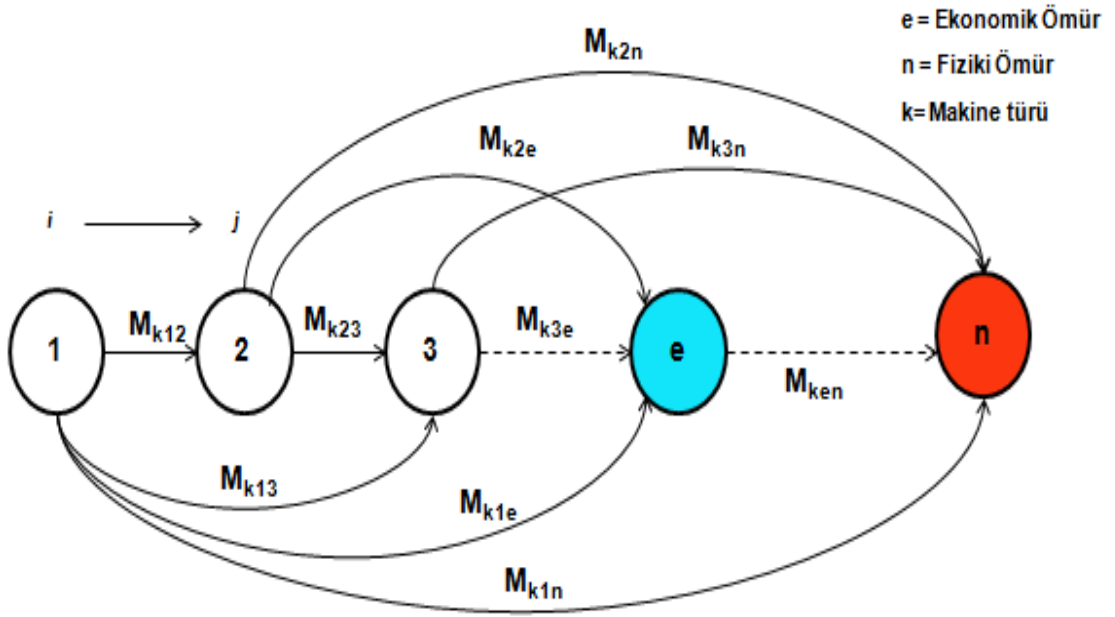
Eş.4.4; i'inci zaman için satın alma maliyeti kısıtını;

Eş.4.5 de karar değişkenlerinin alacağı değerleri ifade eder.

S_{ki} 'ler yani i.'inci zaman k'ıncı türden alınacak sistemin satın alma maliyeti hesaplanırken paranın gelecekteki değeri hesabı dikkate alınır. Hesaplama Eş.4.6 kullanılır.

$$S_{ki} = S_{k1} (1 + f)^{i-1} \dots \dots \dots (4.6)$$

Burada; f, faiz oranını göstermektedir.



Şekil-7: Çoklu Makine Yenileme Problemi

Şekil-7’de gösterilen çoklu makine yenileme probleminde belirtilen M_{ij} ’ler ,yani amaç fonksiyonunda bulunan maliyet parametreleri, model çözülmeden önce hesaplanır ve bir maliyet matrisi oluşturulur. Maliyet hesaplanırken ÖDM bileşenleri kullanılır. Maliyetlerin hesaplanması bir sonraki safhada anlatılmıştır.

Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da, eğer modelde sistemin en fazla ekonomik ömür süresi kadar elde bulundurulması kısıtı kullanılacaksa (Bu çalışmada buna göre çözüm elde edilmiştir), ekonomik ömür süresine kadar olan tüm maliyet değerleri hesaplanarak elde edilirken, ekonomik ömürden sonra gelen zamanlara kadar olan maliyet değerleri için normalden daha büyük bir sayı maliyet değeri olarak verilir. Bunun nedeni, makinenin ekonomik ömrü dolduğunda modelin o makineyi elden çıkarmasının sağlanmasıdır. Ekonomik ömre göre maliyet verileri hesaplanırken makinenin başlangıç zamanındaki yaşına dikkat edilmelidir.

4.2.2. Çoklu Makine Yenileme Modelinin Kısa İçin Bir Örnek

Geliştirilen modelin daha iyi anlaşılabilmesi maksadıyla 10 yıllık planlama ufku ve 2 tür makine için hayali olarak türetilen bir problem türetilerek çözüm elde edilmiştir.

4.2.2.1. Parametrelerin Belirlenmesi

Temel parametreler Çizelge-2’de, her yıl elde bulundurulması istenen sistem miktarları (d_{ki}) Çizelge-3’de, her yıla ilişkin yatırım miktarları (t_{ki}) Çizelge-4’de, her yıla ilişkin satın alma maliyetleri (S_{ki}) Çizelge-5’de, ÖDM (M_{kij}) verileri Çizelge-6’da olduğu gibidir.

Çizelge-2: Temel Parametreler

Planlama Ufku	10 yıl	
Fiziki ömür (n)		
Makine türü (I)	2 tür	1’inci tür 2 adet sistem 0 yaşında olsun
		2’nci tür 4 adet sistem 4 yaşında olsun
Ekonomik Ömür (e)	6 yıl	
Faiz Oranı	0,3	

Çizelge-2'de hayali olarak türetilen problemde kullanılacak temel parametreler gösterilmiştir.

Çizelge-3: İstenilen Sistem Miktarları (d_{ki})

k (tür) \ i (yıl)	$k=1$	$k=2$
1	2	4
2	10	15
3	10	15
4	10	15
5	10	15
6	10	15
7	10	15
8	10	15
9	10	15
10	5	10

Çizelge-3 örnek problem için yıllara bağlı olarak gerek duyulan sistem miktarlarını göstermektedir. 1'inci yılda belirtilen miktarlar modelin başlangıç zamanında elde bulundurulan miktarları göstermektedir.

Çizelge-4: Yatırım Miktarları (t_{ki})

k (tür) \ i (yıl)	$k=1$	$k=2$
1	1000	1000
2	700	900
3	500	700
4	500	700
5	600	700
6	500	700
7	500	700
8	500	700
9	500	700
10	0	0

Çizelge-4 örnek problem için yıllara ve sistem türlerine bağlı olarak yapılması planlanan yatırım miktarlarını göstermektedir. 10'uncu yıl modelin bitiş düğümü olması nedeniyle 10'uncu yılda yeni bir sistem satın alınmaması için yatırım miktarı sıfır (0) olarak verilmiştir.

Çizelge-5 Satın Alma Maliyetleri (S_{ki})

k (tür) i (yıl)	k=1	k=2
1	50	60
2	65	78
3	84,5	101,4
4	109,9	131,8
5	142,8	171,4
6	185,6	222,8
7	241,3	289,6
8	313,7	376,5
9	407,9	489,4
10	0	0

Çizelge-5 örnek problem için yıllara bağlı olarak sistemlerin satın alma maliyetlerini göstermektedir. Burada faiz oranı (f)=0.3 kabul edilerek müteakip yılların satın alma maliyetleri Eş.3.6'ya göre hesaplanmıştır. 10'uncu yıl modelin bitiş düğümü olması nedeniyle 10'uncu yılda yeni bir sistem satın alınmaması için satın alma maliyeti sıfır (0) olarak verilmiştir.

Çizelge-6: Ömür Devri Maliyeti (M_{kij} , $n=10$, $k=2$, $e=6$)

$k=1$ için, **sistem 0 yaşında;**

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	100	220	300	410	530	620	100000	100000	100000
2	0	0	130	230	310	400	520	610	100000	100000
3	0	0	0	115	250	340	420	500	600	100000
4	0	0	0	0	125	210	320	400	520	630
5	0	0	0	0	0	130	225	315	450	510
6	0	0	0	0	0	0	150	220	310	430
7	0	0	0	0	0	0	0	170	240	370
8	0	0	0	0	0	0	0	0	100	200
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$k=2$ için, **sistem 4 yaşında;**

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	595	595	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000
2	0	0	120	190	310	420	500	690	100000	100000
3	0	0	0	100	205	320	400	520	610	100000
4	0	0	0	0	125	235	305	475	525	675
5	0	0	0	0	0	140	200	320	410	580
6	0	0	0	0	0	0	150	270	345	420
7	0	0	0	0	0	0	0	170	280	340
8	0	0	0	0	0	0	0	0	132	225
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	195
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge-6'da yer alan maliyetler belirlenirken aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmiştir.

i. Matriste satırlar sistemin satın alındığı yılı, sütunlar ise elden çıkarılacağı veya yenileneceği yılı temsil etmektedir.

ii. Her bir tür makine için ayrı bir maliyet matrisi oluşturulmuştur. Örneğin 1'inci tür sistem için, 1'inci yıl satın alınan ve 3'üncü yıl elden çıkarılan sistemin maliyeti yani $M_{113} = 220$ 'dir. 2'nci tür sistem için 3'üncü yıl satın alınan ve 7'nci yıl elden çıkarılan sistemin maliyeti, $M_{237} = 400$ 'dür.

iii. Ekonomik ömür süresi olarak belirlenen altı (6) yıl için, makineler en fazla 6 yıl sonunda elden çıkarılsın diye bu periyotlarda maliyet değerlerine büyük sayı olarak 100.000 verilmiştir. Örneğin, 1'inci tür sistem için 1'inci yıl satın alınan sistem için 8'inci yıldan itibaren veya 2'nci yıl sistem için 9'uncu yıldan itibaren büyük sayı verilmiştir. Bu çalışmada her tür için aynı ekonomik ömür süresi kullanılmıştır. Ancak istenildiğinde farklı ekonomik süreleri de kullanılabilmektedir.

iv. $k=1$ 'inci tür sistem başlangıç zamanında sıfır (0) yaşında kabul edilmiştir. Bundan dolayı 1'nci yıl satın alınmış veya diğer bir anlamda başlangıçta elde bulundurulan sistem ekonomik ömrüne göre elden çıkarılacaktır. $k=2$ 'nci tür için ise 1'inci yıl elde bulundurulan sistem 4 yaşında kabul edilmiştir. Buna göre maliyet matrisinde 1'inci yıl için sistem ekonomik ömrüne olan 6 yılı 3'üncü yıl tamamladığı için 4'üncü yıldan itibaren M_{214} , M_{215} , M_{216} ve M_{217} değerlerine büyük sayı olarak 100.000 verilmiştir.

v. Matriste kullanılan maliyet verileri yani ömür devri maliyeti hesaplanması ile ilgili hususlar müteakip maddelerde anlatılacaktır.

4.2.2.2. Modelin Açık Formda Gösterimi

Modelin anlaşılabilirliğini artırmak için örnek problemin açık gösterimi Eş.4.7, Eş. 4.8, Eş.4.9, Eş.4.10 ve Eş.4.11'da verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:.....(4.7)

$$\begin{aligned} \text{Min} = & 100 \cdot x_{112} + 220 \cdot x_{113} + 300 \cdot x_{114} + 410 \cdot x_{115} + 530 \cdot x_{116} + 620 \cdot x_{117} + 100000 \cdot x_{118} + \\ & 100000 \cdot x_{119} + 100000 \cdot x_{1110} + 130 \cdot x_{123} + 230 \cdot x_{124} + 310 \cdot x_{125} + 400 \cdot x_{126} + 520 \cdot x_{127} + \\ & 610 \cdot x_{128} + 100000 \cdot x_{129} + 100000 \cdot x_{1210} + 115 \cdot x_{134} + 250 \cdot x_{135} + 340 \cdot x_{136} + 420 \cdot x_{137} + \\ & 500 \cdot x_{138} + 600 \cdot x_{139} + 100000 \cdot x_{1310} + 125 \cdot x_{145} + 210 \cdot x_{146} + 320 \cdot x_{147} + 400 \cdot x_{148} + 520 \cdot \\ & x_{149} + 630 \cdot x_{1410} + 130 \cdot x_{156} + 225 \cdot x_{157} + 315 \cdot x_{158} + 450 \cdot x_{159} + 510 \cdot x_{1510} + 150 \cdot x_{167} + \\ & 220 \cdot x_{168} + 310 \cdot x_{169} + 430 \cdot x_{1610} + 170 \cdot x_{178} + 240 \cdot x_{179} + 370 \cdot x_{1710} + 100 \cdot x_{189} + 200 \cdot \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x1810+150*x1910+595*x212+595*x213+100000*x214+100000*x215+100000*x216+ \\
& 100000*x217+100000*x218+100000*x219+100000*x2110+120*x223+190*x224+310* \\
& x225+420*x226+500*x227+690*x228+100000*x229+100000*x2210+100*x234+205* \\
& x235+320*x236+400*x237+520*x238+610*x239+100000*x2310+125*x245+235*x246+ \\
& 305*x247+475*x248+525*x249+675*x2410+140*x256+200*x257+320*x258+410* \\
& x259+580*x2510+150*x267+270*x268+345*x269+420*x2610+170*x278+280*x279+ \\
& 340*x2710+132*x289+225*x2810+195*x2910
\end{aligned}$$

Satın Alınabilecek Sistem Miktarı Kısıtı:.....(4.8)

1'inci tür sistem için satın alınabilecek sistem miktarı kısıtları;

$$\begin{aligned}
& x112+x113+x114+x115+x116+x117=y11; \\
& x123+x124+x125+x126+x127+x128=y12; \\
& x134+x135+x136+x137+x138+x139=y13; \\
& x145+x146+x147+x148+x149+x1410=y14; \\
& x156+x157+x158+x159+x1510=y15; \\
& x167+x168+x169+x1610=y16; \\
& x178+x179+x1710=y17; \\
& x189+x1810=y18; \\
& x1910=y19;
\end{aligned}$$

2'nci tür sistem için satın alınabilecek sistem miktarı kısıtları;

$$\begin{aligned}
& x212+x213=y21; \\
& x223+x224+x225+x226+x227+x228=y22; \\
& x234+x235+x236+x237+x238+x239=y23; \\
& x245+x246+x247+x248+x249+x2410=y24; \\
& x256+x257+x258+x259+x2510=y25; \\
& x267+x268+x269+x2610=y26; \\
& x278+x279+x2710=y27; \\
& x289+x2810=y28; \\
& x2910=y29;
\end{aligned}$$

Sistem Miktarı Kısıtı:.....(4.9)

1'inci tür sistem miktarı kısıtları

$$\begin{aligned}
& x112+x113+x114+x115+x116+x117+x118+x119+x110 \geq 2; \\
& x113+x114+x115+x116+x117+x118+x119+x1110+x123+x124+x125+x126+x127 \\
& +x128+x129+x1210 \geq 10;
\end{aligned}$$

$x_{114}+x_{115}+x_{116}+x_{117}+x_{118}+x_{119}+x_{1110}+x_{124}+x_{125}+x_{126}+x_{127}+x_{128}+x_{129}$
 $+x_{1210}+x_{134}+x_{135}+x_{136}+x_{137}+x_{138}+x_{139}+x_{1310} \geq 10;$
 $x_{115}+x_{116}+x_{117}+x_{118}+x_{119}+x_{1110}+x_{125}+x_{126}+x_{127}+x_{128}+x_{129}+x_{1210}$
 $+x_{135}+x_{136}+x_{137}+x_{138}+x_{139}+x_{1310}+x_{145}+x_{146}+x_{147}+x_{148}+x_{149}+x_{1410} \geq 10;$
 $x_{116}+x_{117}+x_{118}+x_{119}+x_{1110}+x_{126}+x_{127}+x_{128}+x_{129}+x_{1210}+x_{136}+x_{137}+x_{138}$
 $+x_{139}+x_{1310}+x_{146}+x_{147}+x_{148}+x_{149}+x_{1410}+x_{156}+x_{157}+x_{158}+x_{159}+x_{1510} \geq 10;$
 $x_{117}+x_{118}+x_{119}+x_{1110}+x_{127}+x_{128}+x_{129}+x_{1210}+x_{137}+x_{138}+x_{139}+x_{1310}+x_{147}$
 $+x_{148}+x_{149}+x_{1410}+x_{157}+x_{158}+x_{159}+x_{1510}+x_{167}+x_{168}+x_{169}+x_{1610} \geq 10;$
 $x_{118}+x_{119}+x_{1110}+x_{128}+x_{129}+x_{1210}+x_{138}+x_{139}+x_{1310}+x_{148}+x_{149}+x_{1410}+$
 $x_{158}+x_{159}+x_{1510}+x_{168}+x_{169}+x_{1610}+x_{178}+x_{179}+x_{1710} \geq 10;$
 $x_{119}+x_{1110}+x_{129}+x_{1210}+x_{139}+x_{1310}+x_{149}+x_{1410}+x_{159}+x_{1510}+x_{169}+x_{1610}+$
 $x_{179}+x_{1710}+x_{189}+x_{1810} \geq 10;$
 $x_{1110}+x_{1210}+x_{1310}+x_{1410}+x_{1510}+x_{1610}+x_{1710}+x_{1810}+x_{1910} \geq 5;$
 $0 \geq 0;$

2'nci tür sistem miktarı kısıtları

$x_{212}+x_{213}+x_{214}+x_{215}+x_{216}+x_{217}+x_{218}+x_{219}+x_{2110} \geq 4;$
 $x_{213}+x_{214}+x_{215}+x_{216}+x_{217}+x_{218}+x_{219}+x_{2110}+x_{223}+x_{224}+x_{225}+x_{226}+x_{227}+x_{228}$
 $+x_{229}+x_{2210} \geq 15;$
 $x_{214}+x_{215}+x_{216}+x_{217}+x_{218}+x_{219}+x_{2110}+x_{224}+x_{225}+x_{226}+x_{227}+x_{228}+x_{229}$
 $+x_{2210}+x_{234}+x_{235}+x_{236}+x_{237}+x_{238}+x_{239}+x_{2310} \geq 15;$
 $x_{215}+x_{216}+x_{217}+x_{218}+x_{219}+x_{2110}+x_{225}+x_{226}+x_{227}+x_{228}+x_{229}+x_{2210}+x_{235}+$
 $x_{236}+x_{237}+x_{238}+x_{239}+x_{2310}+x_{245}+x_{246}+x_{247}+x_{248}+x_{249}+x_{2410} \geq 15;$
 $x_{216}+x_{217}+x_{218}+x_{219}+x_{2110}+x_{226}+x_{227}+x_{228}+x_{229}+x_{2210}+x_{236}+x_{237}+x_{238}+$
 $x_{239}+x_{2310}+x_{246}+x_{247}+x_{248}+x_{249}+x_{2410}+x_{256}+x_{257}+x_{258}+x_{259}+x_{2510} \geq 15;$
 $x_{217}+x_{218}+x_{219}+x_{2110}+x_{227}+x_{228}+x_{229}+x_{2210}+x_{237}+x_{238}+x_{239}+x_{2310}+x_{247}$
 $+x_{248}+x_{249}+x_{2410}+x_{257}+x_{258}+x_{259}+x_{2510}+x_{267}+x_{268}+x_{269}+x_{2610} \geq 15;$
 $x_{218}+x_{219}+x_{2110}+x_{228}+x_{229}+x_{2210}+x_{238}+x_{239}+x_{2310}+x_{248}+x_{249}+x_{2410}$
 $+x_{258}+x_{259}+x_{2510}+x_{268}+x_{269}+x_{2610}+x_{278}+x_{279}+x_{2710} \geq 15;$
 $x_{219}+x_{2110}+x_{229}+x_{2210}+x_{239}+x_{2310}+x_{249}+x_{2410}+x_{259}+x_{2510}+x_{269}+x_{2610}$
 $+x_{279}+x_{2710}+x_{289}+x_{2810} \geq 15;$
 $x_{2110}+x_{2210}+x_{2310}+x_{2410}+x_{2510}+x_{2610}+x_{2710}+x_{2810}+x_{2910} \geq 10;$
 $0 \geq 0;$

Yatırım Kısıtları.....(4.10)

1'inci tür sistem için yatırım kısıtları [Satın alma maliyeti (ilk yıl başı için)=50, paranın gelecekteki değeri için faiz oranı=0,3];

$$\begin{aligned} 50*y_{1.1} &\leq 1000; \\ 50*1.3*y_{12} &\leq 700; \\ 50*1.3*1.3*y_{13} &\leq 500; \\ 50*1.3*1.3*1.3*y_{14} &\leq 500; \\ 50*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{15} &\leq 500; \\ 50*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{16} &\leq 500; \\ 50*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{17} &\leq 500; \\ 50*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{18} &\leq 500; \\ 50*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{19} &\leq 500; \\ 0 &\leq 0; \end{aligned}$$

2'nci tür sistem için yatırım kısıtları [Satın alma maliyeti (ilk yıl başı için)=60, paranın gelecekteki değeri için faiz oranı=0,3];

$$\begin{aligned} 60*y_{21} &\leq 1000; \\ 60*1.3*y_{22} &\leq 900; \\ 60*1.3*1.3*y_{23} &\leq 700; \\ 60*1.3*1.3*1.3*y_{24} &\leq 700; \\ 60*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{25} &\leq 700; \\ 60*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{26} &\leq 700; \\ 60*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{27} &\leq 700; \\ 60*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{28} &\leq 700; \\ 60*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*1.3*y_{29} &\leq 700; \\ 0 &\leq 0; \end{aligned}$$

Tamsayı Olma Kısıtı.....(4.11)

x_{kij} ve $Y_{ki} \geq 0$ ve tamsayı $\forall_{kij}$ için.

Modelin Çözüm Sonucu

Model Lingo 11.0 yazılımı ile çözülmüş ve Çizelge-7'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge-7: Çözüm Sonuçları (n=10, k=2, e=6)

Parametreler	Çözüm Sonuçları			
Amaç Fonksiyonu [39 iterasyon (ardıştıma) sonucu bulunmuştur]	21.950			
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
	k=1	1	x114=2	y11=2
		2	x123=2 x125=3 x126=2 x128=1	y12=8
		3	x139=2	y13=2
		4	x149=1 x1410=1	y14=2
		5	x1510=3	y15=3
		6	x169=2	y16=2
		8	x1810=1	y18=1
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=2	1	x213=4	y21=4
		2	x224=5 x225=2 x226=3 x227=1	y22=11
		3	x238=1 x239=3	y23=4
		4	x247=1 x2410=4	y24=5
		5	x259=2	y25=2
		6	x2610=3	y26=3
		7	x2710=2	y27=2
		8	x2810=1	y28=1

Sonuçlar incelendiğinde hangi tür sistemin ne zaman alınacağı ve ne zaman yenileceği modelin çözümü neticesinde elde edilmiştir.

10 yıllık planlama ufku içerisinde ekonomik ömrü 6 yıl olarak kabul edilen 2 farklı tür sistem ele alınmış ve her tür sistem için ayrı ayrı olmak üzere hangi yıl kaç adet sistem alınmalı ve bu alınan sistem hangi yıl elden çıkarılmalı sonucuna ulaşılmıştır. Örneğin X_{139} değişkenini ele alalım. Bu değişken 1'tür sistem için en iyi çözüm neticesinde 2 değerini almıştır. Yani 1'inci tür sistemden 3'üncü yıl alınacak ve 9'uncu yıl sonunda elden çıkarılacak sistem miktarı 2'dir.

Ekonomik ömür süresinin 6 yıl olarak belirlenmesi nedeniyle hiçbir sistem 6 yıldan fazla işletilmemiştir. Örneğin X_{239} değişkeni en iyi çözüm neticesinde 4 değeri almış ve 3'üncü yıl satın alınarak 6 yıl sonra yani 9'uncu yıl elden çıkarılmıştır.

Parametre olarak belirlenen sistem yaşına göre; 2'nci tür sistemden başlangıç zamanında 4 yaşında 4 adet olduğu varsayılmıştır. Ekonomik ömrü 6 yıl kabul edilen bu tür sistemin en fazla 2 yıl daha elde tutulabilmesi için maliyet tablosunda başlangıç zamanı olan 1'inci yıl satırında 3'üncü yılbaşından itibaren büyük sayı verilmiştir. Çözüm sonucu incelendiğinde X_{213} değişkeni 4 değeri almıştır. Yani 2'nci tür sistemden başlangıçta 4 yaşında olan 4 adet sistem 3'üncü yıl mecburen elden çıkarılmıştır.

Tüm bu değerler sonucunda da Amaç Fonksiyonu yani en küçük maliyet değeri en iyi çözüm neticesinde 21.950 olarak hesaplanmıştır.

Çözümün bulunması Lingo 11.0 yazılımı ile 2 saniye sürmüştür.

4.3 MODELDEKİ ÖMÜR DEVRİ MALİYETİ PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

Çalışmanın birinci bölümünde de anlatıldığı üzere sistemlerin ömür devri boyunca ortaya çıkan maliyetler genel olarak;

- i. AR-GE Maliyetleri,
- ii. Tasarım ve Değerlendirme Maliyetleri,
- iii. Üretim/Yatırım Maliyetleri,
- iv. İşletme ve Destek Maliyetleri,
- v. Elden Çıkarma Maliyetleridir.

Çalışmada kullanacağımız sistemler, 2004 yılında üretilmeye başlamış ve hali hazırda kullanılmaktadır. Bu yüzden bu sisteme ilişkin AR-GE, Tasarım ve Üretim maliyetleri tek bir kalem adı altında Satın Alma Maliyeti olarak kullanılacaktır. Bu maliyete ilaveten işletme ve destek maliyeti, elden çıkarma maliyeti ve hurda getirisi maliyet hesabı için dikkate alınacaktır.

Maliyetler jenerik olarak oluşturulmuştur. Maliyetlerin gelecekteki değerinin tahmin edilmesi için paranın gelecekteki değeri eşitliği kullanılmıştır.

4.3.1. Paranın Gelecekteki Değeri

Paranın zaman içerisinde değerini kaybetmesi için kullanılan paranın zaman değeri, belirli zamanlara ilişkin nakit akışlarının her birinin aynı zaman değeri ile ifade edilmesidir.

Paranın zaman değeri faiz oranı ile ölçülmektedir. Genel olarak hesaplamalarda bileşik faiz dikkate alınmaktadır.

Paranın gelecekteki değeri Eş.4.12'de olduğu gibi hesaplanmaktadır.

$$GD_i = \text{ŞD} (1 + f)^{i-1} \dots \dots \dots (4.12)$$

Burada;

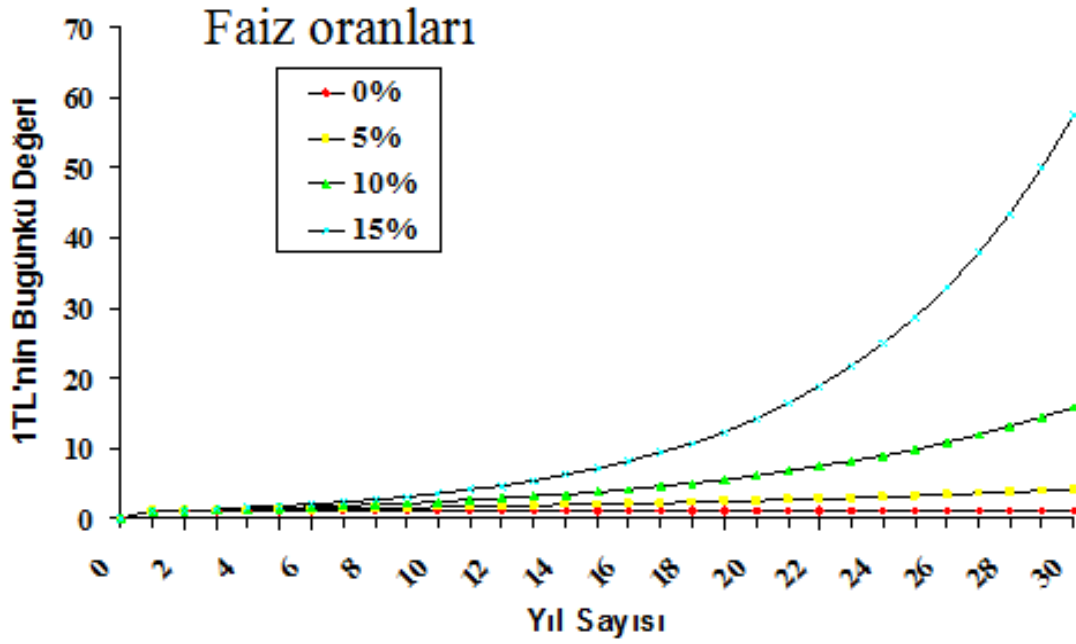
GD_i=Paranın i'inci yıl değeri,

ŞD= Paranın şimdiki değeri,

f= Bileşik faiz oranıdır.

Yapılan çalışmada yıllara göre faiz oranı sabit kabul edilmiştir. Ancak faiz oranı yıllara bağlı değişim gösterdiği zaman Eş.4.13 kullanılmaktadır (Uyarol, 2002).

$$GD_i = \text{ŞD} (1 + f_1)(1 + f_2) \dots \dots \dots (1 + f_i) \dots \dots \dots (4.13)$$



Şekil-8: Paranın Gelecekteki Değeri (Şahin, 2016)

Şekil-8'de örnek olarak 1 TL'nin dört farklı faiz oranında (%0, %5, %10 ve %15 olmak üzere) yıllara bağlı olarak gelecekteki değerindeki artış grafik olarak gösterilmiştir. Faiz oranının yüksek olmasının paranın gelecekteki değerinde daha fazla artış yarattığı, bunun sonucunda da maliyeti artırmada önemli bir parametre olduğu buradan anlaşılmaktadır.

4.3.2. Satın Alma Maliyeti (SAT)

Hali hazırda kullanılan ve 2004 yılından bu yana üretimi devam eden sisteme ilişkin SAT 4.000.000 \$'dır. SAT görünür bir maliyet olduğu için hesaplanması da kolaydır. Bundan dolayı belirtilen miktar yıllara bağlı olarak faiz oranına göre değişim göstermektedir. Faiz oranı olarak hali hazırda dikkate alınan Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE) kullanılmıştır. Yıllara göre SAT, Eş.4.14 ile hesaplanmaktadır.

$$SAT_i = SAT_1 * (1+f)^{i-1} \dots\dots\dots(4.14)$$

Burada,

SAT_i = i'nci yıldaki satın alma maliyeti

f= faiz oranını ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan faiz oranlarına göre jenerik olarak oluşturulan satın alma maliyetleri EK-A'dadır.

4.3.3. İşletme ve Destek Maliyeti (İDM)

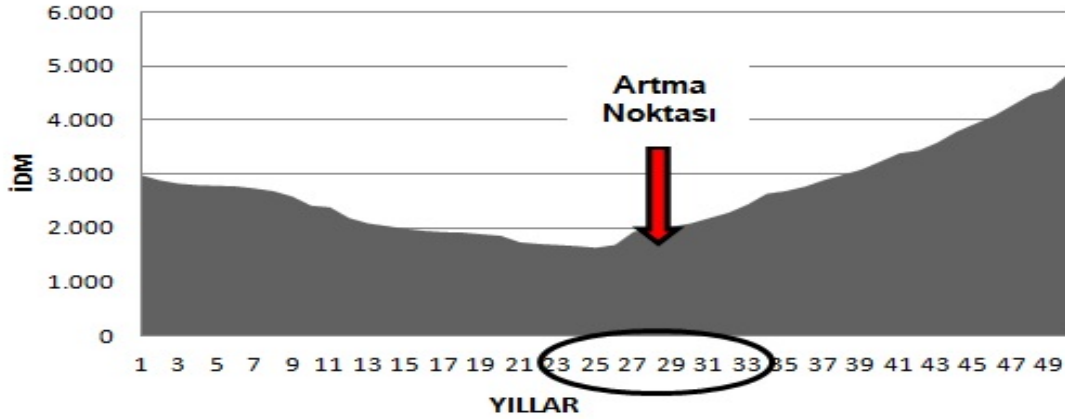
İDM; direkt ve endirekt olmak üzere birçok maliyet kalemini kapsamaktadır. İDM; işçilik, eğitim, işletme, bakım-onarım ve modernizasyon maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Hali hazırda kullanılan sistemlere ilişkin geçmiş yıllara ilişkin maliyetler belli iken gelecek yıllara ilişkin maliyetler maliyet tahmin yöntemleri ile tahmin edilebilmektedir.

Söz konusu maliyetler faiz oranından etkilense de bu maliyetlerin oluşmasında asıl etken meydana gelen arızaların miktarı ve yapılan bakım/onarım masraflarıdır. Bu arızalar arttıkça bakım onarım maliyetleri de haliyle artmaktadır. Sistemin arıza miktarları arttıkça bu maliyet de artacağından bu durum sistemin ekonomik olarak ömrünün sonlanmasına bile neden olacaktır.

İDM ile ilgili; başlangıçta ortaya çıkan işçilik, eğitim, tesis vb. maliyetlerin zamanla ortadan kalktığı ve başlangıç zamanlarında malzemenin yeni olması nedeniyle periyodik bakımlar haricinde çok fazla arıza olmaması nedeniyle bakım/onarım maliyetlerinin yıllar ilerledikçe azalış gösterdiği, ancak malzemenin kullanım şartlarına bağlı olarak belli bir noktadan sonra tekrar artışa geçtiği birçok çalışmada belirtilmiştir.

İDM; ömür devri boyunca, işletme ve destek safhaları süresince yapılması planlanan veya tahmin edilen faaliyetlere dayanırlar. Ancak kullanım esnasında ortaya çıkabilecek belirsiz durumlar, yani; arıza, kullanım yerinin değiştirilmesi vb. haller, İDM'nin tahmin edilmesi en zor maliyet olduğunu ortaya koymuştur (Aytok, 2006).

İŞLETME VE DESTEK MALİYETLERİ



Şekil-9: İşletme ve Destek Maliyetleri

Çalışmada kullanılan sistemin 2004 yılından bu yana kullanımda olmasının yanı sıra savunma sanayi alanında belirli bir gizlilik altında kullanıyor olması nedeniyle bu sisteme ilişkin İDM ile ilgili yeterince veri elde edilememiştir. Öte yandan yapılan çalışmada maliyet kalemlerinin sadece bir parametre olarak kullanılması nedeniyle bu sisteme benzer daha eski bir sistem ele alınarak o sistemin ayrı ayrı birim İDM'leri incelenmiş, benzetim yapılarak İDM ile ilgili Şekil-9'da gösterilen grafik elde edilmiş ve veriler jenerik olarak hayali olarak oluşturulmuştur.

Şekil-9'da da görüldüğü gibi İDM başlangıç zamanında yüksek iken zamanla azalmış, müteakiben belli bir noktadan itibaren artışa geçmiştir. Buna göre oluşturulan maliyetler EK-B'de olduğu gibidir.

4.3.4. Elden Çıkarma Maliyeti (EÇM)

Ömür devrini tamamlayan sistemin hizmetten çıkarılması sonucu ortaya çıkacak maliyetleri kapsamaktadır. Elden çıkarılan sistemin hurdaya ayırma maliyetinden (HAM) hurda getirisi (HG) çıkarılarak elde edilir. EÇM'nin içerisine sistemin hurdaya ayrılması, ulaşım maliyeti, işçilik maliyeti vb. maliyetler dâhil edilir.

HG söz konusu maliyetten düşürülür. Mevcut sistem 50 ton ağırlığındadır ve nerdeyse tamamı çelik ve demir aksamdan oluşmaktadır. Yapılan piyasa araştırmasına göre çelik ve demirin kilosu 0.5 TL'den satın alınmaktadır. Mevcut tonajın bu getiri ile çarpımı sonucu sisteme ilişkin bugünkü HG bulunmaktadır. Gerek hurdaya ayırma

maliyeti gerekse hurdanın kilosu faize bağılı olarak yıllara göre değişmektedir. Maliyetler hesaplanırken Eş.4.15, Eş.4.16 ve Eş.4.17 kullanılır.

$$EÇM = HAM - HG \dots \dots \dots (4.15)$$

$$HAM_i = HAM_1 (1+f)^{i-1} \dots \dots \dots (4.16)$$

$$HG_i = (50.000 \times 0,5) (1+f)^{i-1} \dots \dots \dots (4.17)$$

Burada;

HAM_i =i'nci zamanda hurdaya ayırma maliyetini,

HG_i = i'nci zamanda hurda getirisini göstermektedir.

Buna göre hesaplanan elden çıkarma maliyetleri EK-C'dedir.

4.3.5. Ömür Devri Maliyeti (ÖDM) Hesaplanması

Yukarıda hesaplanan tüm maliyetlere ilişkin veriler elde edildikten sonra ömür devri maliyeti (M_{kij}) hesaplaması yapılır. ODM hesaplanmasında Eş.4.18 kullanılır.

$$M_{kij} = SAT_{ki} + \sum_{i=1}^{j-1} IDM_{ki} + EÇM_{k(j-1)} \dots \dots \dots (4.18)$$

Burada;

M_{kij} = i'nci zamanda satın alınan j'inci zamanda elden çıkarılan k'ıncı tür sistemin ÖDM'si,

SAT_{ki} = i'nci zamanda k'ıncı tür sistemin SAT'ı,

IDM_{ki} = i'nci zamanda satın alınan j'inci zamanda elde çıkarılan k'ıncı tür sistemin IDM'si,

$EÇM_{k(j-1)}$ = j'inci yıl başında k'ıncı tür sistemin EÇM'si,

Çizelge-8: Örnek Maliyet Çizelgesi

i (Yıl)	Satın Alma Maliyeti (SAT)	İşletme ve Destek Maliyeti (İDM)	Elden Çıkarma Maliyeti (EÇM)
1	12.000	3.000	250
2	12.360	2.900	258
3	12.731	2.840	265
4	13.113	2.810	273
5	13.506	2.800	281

Örneğin; Çizelge-8'de gösterilen örnek maliyet tablosuna göre M_{115} hesaplanırken kullanılacak hesaplama Eş.4.19'da gösterildiği gibidir.

$$M_{115} = SAT_{11} + IDM_{11} + IDM_{12} + IDM_{13} + IDM_{14} + EÇM_{14} \dots \dots \dots (4.19)$$

Buna göre; 1'inci yıl satın alınan ve 5'inci yılbaşında elden çıkarılan 1'inci tür bir makinenin ÖDM sonucu;

$M_{115} = 12.000 + 3.000 + 2.900 + 2.840 + 2.810 + 273 = 23.823$ 'tür. Dolayısıyla X_{115} değişkeni için birim maliyet belirlenmiş olmaktadır.

4.4 TEMEL FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ

4.4.1 Çalışılacak Sisteme İlişkin Parametrelerin Belirtilmesi

Çalışmada ele alınan sistem 2004 yılında üretime başlanmıştır. Hali hazırda 300 adet sistem kullanılmaktadır ve aynı zamanda sistemin üretimine devam edilmektedir. Bugüne kadar üretilen sistem miktarı ve bu sistemlere ilişkin yaş bilgileri Çizelge-9'da gösterilmiştir.

Çizelge-9: Bugüne Kadar Üretilen Sistem Miktarı

Yıl	Üretim Miktarı	Mevcut Yaşı
2016	60	0
2014	60	2
2012	60	4
2008	60	8
2004	60	12
TOPLAM	300 Adet	

Çizelge-9'da da görüldüğü üzere sistem 5 farklı dönemde üretilmiş olduğundan dolayı makine türü sayısı olarak belirlenen $k=5$ olarak kabul edilmiştir. Sistem yaşları da türlerine göre sırasıyla 0, 2, 4, 8 ve 12'dir.

Sisteme ilişkin üretici firma tarafından belirlenen fiziki ömür süresi 50 yıl olarak belirtilmiştir ve hali hazırda en son kullanıma başlayan sistem 2016 yılında alındığı için 2016 yılı başlangıç zamanı olarak düşünülerek model 50 yıl sonrası yani 2065 yılına kadar çözülmüştür.

Sistemle ilgili bugüne kadar elde edilen maliyet verilerinin yetersizliği nedeniyle ekonomik ömrüne ilişkin herhangi bir hesaplama yapılmamıştır. Bu nedenle ekonomik ömür süresi modelde 2 farklı senaryo için bir parametre olarak kullanılmıştır. Birinci senaryo için ekonomik ömür 30 yıl, ikinci senaryo için ise 35 yıl olarak kabul edilmiştir.

Ayrıca faiz oranı için de 2 farklı senaryo için çözüm elde edilmiştir. Buna göre; gelecek yıllara ilişkin maliyetler hesaplanırken paranın gelecekteki değeri dikkate alınarak kullanılacak faiz oranı birinci senaryo için %3 (TÜİK Nisan 2016 ayına ilişkin ÜFE oranı olan %2.86), ikinci senaryo için ise %6 olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak belirlenen parametreler Çizelge-10'da olduğu gibidir.

Gelecek yıllar için üretim miktarlarının planlaması dikkate alınarak her yıl elde bulundurulması istenen sistem miktarına (d_{ki}) ilişkin bilgiler EK-Ç'dedir.

Gelecek yıllara ilişkin söz konusu sisteme yönelik planlanan yatırım miktarları (t_{ki}) EK-D'dedir.

Sistemin hali hazırdaki üretim maliyeti 4.000.000 \$, yani yaklaşık 12.000.000 TL'dir. Tüm sistem türleri için aynı maliyet kabul edilmiştir. Söz konusu maliyet SAT gibi kabul edilerek yıllara bağlı olarak oluşturulan SAT'lar (S_{ki}) EK-A'daki gibidir.

Çizelge-10: Model İçin Belirlenen Parametreler

Fiziki ömür (n)	50 yıl (2016-2065)	
Sistem türü (I)	5 tür	1'inci tür 60 adet 12 yaşında
		2'nci tür 60 adet 8 yaşında
		3'üncü tür 60 adet 4 yaşında
		4'üncü tür 60 adet 2 yaşında
		5'nci tür 60 adet 0 yaşında
Ekonomik Ömür (e)	1'inci senaryo için 30 yıl	
	2'nci senaryo için 35 yıl	
Faiz Oranı (f)	1'inci senaryo için %3	
	2'nci senaryo için %6	
Yıllara Göre SAT (S_{ki})	EK-A'dadır.	
Yıllara Göre İDM	EK-B'dedir.	
Yıllara Göre EÇM	EK-C'dedir.	
Yıllara Göre ÖDM (M_{kij})	Her bir senaryo için 12500 (5*50*50) veri olduğu için model çözümü için kullanılmış, çalışmaya dâhil edilmemiştir.	
Yıllara Göre Gerekli Sistem Miktarı (d_{ki})	EK-Ç'dedir.	
Yıllara Göre Gerekli Yatırım Miktarı (t_{ki})	EK-D'dedir.	

Çizelge-10'da çalışmanın uygulama problemi için kullanılacak temel parametreler belirtilmiştir.

4.5 MODELİN FARKLI SENARYOLARA UYGULANMASI

4.5.1. Geliştirilen Modelin Kapalı Formdaki Gösterimi

Çizelge-11: Çoklu Makine Yenileme Modeli Lingo Kodu

ÇOKLU MAKİNE YENİLEME MODELİ
<pre>! MAKİNE YENİLEME MODELİ (50 YIL- 5 TUR); sets: yil /1..50/; !i, j ve u kumesi; tur /1..5/; !k kumesi; TTY(tur,yil,yil):x,m; TY(tur,yil):y,d,t,s; endsets data: m=@ole ('D:\HAREKAT ARAŞTIRMASI\12. TEZ ÇALIŞMASI\04 TEZ\MODEL\Tez ODM30-0.03','odm30');!Omur devri maliyet verisi; d=@ole ('D:\HAREKAT ARAŞTIRMASI\12. TEZ ÇALIŞMASI\04 TEZ\MODEL\Tez Sistem Matris.xlsx','sism30');!O yıl elde bulunması istenen sistem verisi; t=@ole ('D:\HAREKAT ARAŞTIRMASI\12. TEZ ÇALIŞMASI\04 TEZ\MODEL\Tez Yatırım Matris.xlsx','yatm30');!O yıl yatırım yapılabilecek miktar verisi; s=@ole ('D:\HAREKAT ARAŞTIRMASI\12. TEZ ÇALIŞMASI\04 TEZ\MODEL\Tez Satin Alma Matris.xlsx','satm30');!O yıl satin alma maliyeti(Paranın gelecek değerine bağlı)verisi; enddata min=@sum(TTY(k,i,j) i#ne#j:m(k,i,j)*x(k,i,j));!Amac Fonksiyonu; @for(tur(k):@for(yil(i):@sum(TTY(k,i,j) i#lt#j:x(k,i,j))= y(k,i));!O yıl satin alınan sistem; @for(tur(k):@for(yil(i):@sum(TTY(k,i,j) i#lt#j:x(k,i,j))+@sum(TTY(k,j,u) (j#lt#i) #and# (i#lt#u):x(k,j,u))>=d(k,i));!O yıl elde bulunması istenen sistem; @for(yil(i):@for (tur(k):s(k,i)*y(k,i)<=t(k,i));!Yatırım kisiti; @for(TTY(k,i,j):@gin(x));!Tamsayi kisiti; @for(TY(k,i):@gin(y));!Tamsayi kisiti; end</pre>

Modelin kapalı formda Lingo 11.0 yazılımı ile yazılan gösterimi Çizelge-11'de olduğu gibidir.

4.5.2. Modelin Boyut Analizi

Toplam n adet düğümü bulunan k türlü makineleri içeren bir çoklu makine yenileme probleminin boyut analizi sonuçları Çizelge-12'de verilmiştir.

Çizelge-12: Modelin Boyut Analizi

KISIT	DEĞİŞKENLER	DEĞİŞKEN SAYISI	KISIT SAYISI
$s. t. \sum_{j=1}^n X_{kij} = Y_{ki}$	$(i < j),$ $\forall_{k,i} \text{ için}$	$[(k \times i \times j) - i] / 2$	$k \times n$
$\sum_{j=1}^n X_{kij} + \sum_{j=1}^n \sum_{u=1}^n X_{kju} \geq d_{ki}$	$(i < j),$ $\forall_{k,i} \text{ için}$	$[(k \times i \times j) - i] / 2$	$k \times n$
$S_{ki} Y_{ki} \leq t_{ki}$	$\forall_{k,i} \text{ için}$	$k \times i$	$k \times n$
TOPLAM KISIT SAYISI		3 x (k x n)	
TOPLAM DEĞİŞKEN SAYISI		$[(k \times n^2) - n] / 2 + (k \times n)$	

Buna göre;

i. Toplam düğüm sayısı 50 ve makine türü sayısı 5 olan problemde 750 adet kısıt bulunmaktadır.

ii. Toplam değişken sayısı; X_{kij} için $[(50 \times 50^2) - 50] / 2 = 6225$, Y_{ki} için $5 \times 50 = 250$ olmak üzere toplam 6475'dir.

4.5.3. Modelin 1'inci Senaryo İçin Çözümü (e=30 yıl, f=0.03)

Çözüm sonuçları Çizelge-13'de olduğu gibidir.

Çizelge-13: 1'inci Senaryo Çözüm Sonuçları

Parametreler	Çözüm Sonuçları
Amaç Fonksiyonu (17 ardıştırmalı sonucu bulunmuştur)	89.043.370

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=1	1	$X(1, 1, 14)=12$ $X(1, 1, 16)=12$ $X(1, 1, 20)=8$ $X(1, 1, 21)=28$	$Y(1,1)=60$
		2	$X(1, 2, 31)=12$	$Y(1,2)=12$
		4	$X(1, 4, 33)=12$	$Y(1,4)=12$
		6	$X(1, 6, 35)=12$	$Y(1,6)=12$
		8	$X(1, 8, 37)=12$	$Y(1,8)=12$
		10	$X(1, 10, 39)=12$	$Y(1,10)=12$
		13	$X(1, 13, 41)=12$	$Y(1,13)=12$
		14	$X(1, 14, 43)=12$	$Y(1,14)=12$
		16	$X(1, 16, 45)=12$	$Y(1,16)=12$
		18	$X(1, 18, 47)=12$	$Y(1,18)=12$
		20	$X(1, 20, 49)=8$	$Y(1,20)=8$
		21	$X(1, 21, 50)=28$	$Y(1,21)=28$
		22	$X(1, 22, 50)=12$	$Y(1,22)=12$
		24	$X(1, 24, 50)=20$	$Y(1,24)=20$

X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
	k=2	1	$X(2, 1, 3)=12$ $X(2, 1, 4)=8$ $X(2, 1, 21)=40$	$Y(2,1)=60$
		2	$X(2, 2, 31)=12$	$Y(2,2)=12$
		3	$X(2, 3, 32)=12$	$Y(2,3)=12$
		4	$X(2, 4, 33)=8$	$Y(2,4)=8$
		5	$X(2, 5, 33)=4$ $X(2, 5, 34)=8$	$Y(2,5)=12$
		8	$X(2, 8, 34)=4$ $X(2, 8, 36)=8$	$Y(2,8)=12$
		11	$X(2, 11, 36)=4$ $X(2, 11, 37)=4$ $X(2, 11, 39)=4$	$Y(2,11)=12$
		14	$X(2, 14, 41)=2$ $X(2, 14, 43)=10$	$Y(2,14)=12$
		17	$X(2, 17, 41)=8$ $X(2, 17, 46)=4$	$Y(2,17)=12$
		19	$X(2, 19, 41)=2$ $X(2, 19, 47)=4$	$Y(2,19)=6$
		20	$X(2, 20, 43)=2$ $X(2, 20, 49)=4$	$Y(2,20)=6$
		21	$X(2, 21, 50)=40$	$Y(2,21)=40$
		22	$X(2, 22, 50)=4$	$Y(2,22)=$
		24	$X(2, 24, 50)=16$	$Y(2,24)=$

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=3	1	$X(3, 1, 13)=4$ $X(3, 1, 18)=4$ $X(3, 1, 21)=52$	$Y(3,1)=60$
		3	$X(3, 2, 23)=4$ $X(3, 2, 31)=8$	$Y(3,2)=12$
		5	$X(3, 5, 20)=4$ $X(3, 5, 21)=4$	$Y(3,5)=8$
		8	$X(3, 8, 35)=8$	$Y(3,8)=8$
		10	$X(3, 10, 19)=4$ $X(3, 10, 35)=4$	$Y(3,10)=8$
		13	$X(3, 13, 42)=12$	$Y(3,13)=12$
		17	$X(3, 17, 45)=8$	$Y(3,17)=8$
		18	$X(3, 18, 47)=4$	$Y(3,18)=4$
		19	$X(3, 19, 47)=8$	$Y(3,19)=8$
		20	$X(3, 20, 49)=8$	$Y(3,20)=8$
		21	$X(3, 21, 50)=56$	$Y(3,21)=56$
		23	$X(3, 23, 50)=4$	$Y(3,23)=4$

X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
	k=4	1	$X(4, 1, 2)=6$ $X(4, 1, 19)=2$ $X(4, 1, 21)=52$	$Y(4,1)=60$
		2	$X(4, 2, 31)=12$	$Y(4,2)=12$
		3	$X(4, 3, 32)=2$	$Y(4,3)=2$
		4	$X(4, 4, 32)=4$	$Y(4,4)=4$
		5	$X(4, 5, 34)=4$	$Y(4,5)=4$
		6	$X(4, 6, 32)=4$	$Y(4,6)=4$
		7	$X(4, 7, 34)=4$	$Y(4,7)=4$
		8	$X(4, 8, 32)=2$ $X(4, 8, 36)=2$	$Y(4,8)=4$
		9	$X(4, 9, 36)=4$	$Y(4,9)=4$
		10	$X(4, 10, 36)=6$ $X(4, 10, 38)=2$	$Y(4,10)=8$
		11	$X(4, 11, 40)=8$	$Y(4,11)=8$
		14	$X(4, 14, 38)=4$ $X(4, 14, 43)=8$	$Y(4,14)=12$
		18	$X(4, 18, 38)=2$ $X(4, 18, 46)=6$	$Y(4,18)=8$
		19	$X(4, 19, 48)=6$	$Y(4,19)=6$
		21	$X(4, 21, 50)=60$	$Y(4,21)=60$

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=5	1	$X(5, 1, 2)=44$ $X(5, 1, 11)=6$ $X(5, 1, 17)=10$	$Y(5,1)=60$
		2	$X(5, 2, 23)=40$ $X(5, 2, 31)=12$	$Y(5,2)=12$
		4	$X(5, 4, 21)=8$	$Y(5,4)=2$
		6	$X(5, 6, 34)=8$	$Y(5,6)=4$
		8	$X(5, 8, 21)=6$ $X(5, 8, 37)=2$	$Y(5,8)=4$
		10	$X(5, 10, 34)=4$ $X(5, 10, 37)=4$	$Y(5,10)=4$
		11	$X(5, 11, 40)=6$	$Y(5,11)=4$
		15	$X(5, 15, 42)=4$ $X(5, 15, 44)=4$	$Y(5,15)=4$
		17	$X(5, 17, 46)=10$	$Y(5,17)=4$
		19	$X(5, 19, 46)=2$ $X(5, 19, 48)=4$	$Y(5,19)=8$
		21	$X(5, 21, 50)=20$	$Y(5,21)=8$
		23	$X(5, 23, 50)=40$	$Y(5,23)=12$

Birinci senaryo için ekonomik ömür (e) için 30 yıl, faiz oranı için ise %3 parametreleri kullanılarak Lingo 11.0 yazılımı ile çözüm elde edilmiştir. 57 saniyede ve 17 ardıştırmada en iyi çözüme ulaşılmıştır.

4.5.4. Modelin 2'nci Senaryo İçin Çözümü (e=35 yıl, f=0.03)

Çözüm sonuçları EK-E'dedir. İkinci senaryo için ekonomik ömür (e) için 35 yıl, faiz oranı için ise %3 parametreleri kullanılarak Lingo 11.0 yazılımı ile çözüm elde edilmiştir. 53 saniyede ve 16 ardıştırmada en iyi çözüme ulaşılmıştır.

4.5.5. Modelin 3'üncü Senaryo İçin Çözümü (e=30 yıl, f=0.06)

Çözüm sonuçları EK-F'dedir. Üçüncü senaryo için ekonomik ömür (e) için 30 yıl, faiz oranı için ise %6 parametreleri kullanılarak Lingo 11.0 yazılımı ile çözüm elde edilmiştir. 52 saniyede ve 19 ardıştırmada en iyi çözüme ulaşılmıştır.

4.5.6. Modelin 4'üncü Senaryo İçin Çözümü (e=35 yıl, f=0.06)

Çözüm sonuçları EK-G'dedir. Dördüncü senaryo için ekonomik ömür (e) için 35 yıl, faiz oranı için ise %6 parametreleri kullanılarak Lingo 11.0 yazılımı ile çözüm elde edilmiştir. 51 saniyede ve 18 ardıştırmada en iyi çözüme ulaşılmıştır.

4.5.7. Sonuçların Yorumlanması

Önerilen Çoklu Makine Yenileme Modeli savunma sanayide kullanılan bir sistem ele alınarak 4 farklı senaryoda çözülmüştür. Senaryoya dayalı türetilen dört farklı problemin eniyi çözümleri, Intel Core İ5, 2,50 GHz işlemci, 4GB DDR3 RAM ile 64bit işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılarak Lingo 11.0 yazılımı ve dal sınır yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Çözüm sonuçlarına ilişkin veriler Çizelge-14'de olduğu gibidir.

Çizelge-14: Çözüm Sonuçları

Senaryolar	Ekonomik Ömür	Faiz Oranı	Amaç Fonksiyonu Değeri	Çözüm Süresi ve Ardıştırma Sayısı	Sıfırdan Farklı Değişken Sayısı
1'inci Senaryo	30 yıl	%3	89.043.370	57 sn. 17 ardıştırma	165
2'nci Senaryo	35 yıl	%3	86.036.150	53 sn. 16 ardıştırma	157
3'üncü Senaryo	30 yıl	%6	100.314.900	52 sn. 19 ardıştırma	147
4'üncü Senaryo	35 yıl	%6	94.416.960	51 sn. 18 ardıştırma	133

Çizelge-14'de belirtilen sonuçlar incelendiğinde;

i. Maliyet verilerinin faiz oranı ve ekonomik ömür süresine göre değiştirilmesinin çözüm süresini ve ardıştırmaya sayısını önemli ölçüde etkilemediği,

ii. Ekonomik ömür süresindeki artışın amaç fonksiyonu değerinde yani ÖDM değerinde azalışa yol açtığı,

iii. Faiz oranındaki artışın maliyet verilerini artırarak hâliyle amaç fonksiyonu değerini de artırdığı,

iv. Ekonomik ömür süresindeki ve faiz oranındaki artışların sıfırdan farklı değişken sayısını azalttığı, bunun da makine yenileme sayılarının azaldığı anlamına geldiği,

v. Modelin parametreleri değiştirildikçe çözümlerin nasıl değiştiği gözlenerek çok sayıda senaryonun türetilmesi ve içlerinden hangilerinin seçilebilir olduğunun belirlenmesinin mümkün hale geldiği sonucuna varılmıştır.

Çözümü doğrudan etkileyecek parametreler şunlardır.

i. Faiz oranında meydana gelen değişimler,

ii. Ekonomik ömür zamanının parametre olarak kullanılması,

a. Ekonomik ömür bitiminde sistemin elden çıkarılması,

b. Ekonomik ömür süresinden sonra sistemin kullanımına devam edilmesi,

c. Ekonomik ömürden sonra sistemin elden çıkarılmasına karar verilecek süre,

iv. Yıllara bağlı olarak planlanan yatırım miktarı,

a. Tüm sistemler için ortak bütçe kullanımı,

b. Her sistem için ayrı bütçe kullanımı,

v. Yıllara göre elde bulundurulması istenen sistem miktarıdır.

Tüm bu parametrelerde yapılacak değişikliklere göre farklı senaryolar türetilerek çözümün dakikalar mertebesinde elde edilebilmesi modelin en büyük avantajlarındandır. Bu sayede pek çok senaryo denenmesine olanak sağlanmaktadır.

Yapılan çalışmada, dört farklı senaryo neticesinde çözümleri elde edilen modelin diğer en büyük avantajının da karar vericilere maliyete dayalı doğru ve etkin sonuçlar vermesi olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sayede, gerçek verilerle elde edilecek çözümler ile de sistemlerin tasarım aşamasında yapılacak planlamalarda, doğru analizler yapma imkânı sağlanacaktır.



BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇ

Bulguların Tartışılması ve Değerlendirme: Son yıllarda hızla gelişen teknolojiye paralel olarak değişim gösteren sektörlerden biri olan savunma sanayi, neredeyse tüm ülkelerin en önemli sektörlerinden birisidir. Ülkelerin kendi savunma sistemlerini kendi üretmesinin kaçınılmaz hale geldiği özellikle son 10 yılda da ülkemiz savunma sanayisinde büyük gelişmeler yaşanmıştır. Kendi silahını, teçhizatını, sistemini kendi üretmeye başlayan Türkiye bunun yanında ürettiği sistemleri ihracat edecek seviyeye ulaşmaya başlamıştır.

Malum olduğu üzere savunma sanayinde kullanılan sistemler ülkenin iç ve dış güvenliği için önemlidir. Sistemlerin kullanıma hazır halde tutulması, bakım ve onarım gibi destek faaliyetlerinin zamanında ve etkin bir şekilde yapılması, sistemlere ihtiyaç duyulduğunda hizmete hazır olmasını sağlar. Ömrünü doldurmuş her türlü sistem mevcut düzene zarar verir. Bu zarar bazen işgücü bazense ekonomik olabilir. Bu zararın varlığından haberdar olunmasına rağmen kullanmak büyük kayıplara yol açabilir. Bundan dolayı meydana gelebilecek durumları önceden kestirebilmek gelecek planlaması için yol gösterir. Bundan dolayıdır ki sistemlerin hazır olma durumları için ekonomik, teknolojik ve fiziksel ömürlerinin doğru tespit edilmesi çok önemlidir.

Bu çalışma sayesinde, savunma sanayinde kullanılan bir sistem örnek uygulama için seçilmiş ve sistemlerin yenilenme veya elden çıkarma zamanlarının maliyete dayalı hesaplanması için yöntem önerilmiştir. Böylece, yüksek maliyetlerle üretilen veya satın alınan bu sistemlerin yenilenme zamanlarının doğru bulunması, savunma sanayi için stratejik sayılabilecek derecede önemli ve zor olan karar verme sürecinin yürütülmesini kolaylaştırmıştır.

Benzer konuda bugüne kadar herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olması, sadece tek makine için geliştirilmiş makine yenileme probleminin çözüm için kullanılıyor olması nedenleriyle çok türden makinenin yenilenme veya elden çıkarma zamanlarını bulan tamsayı bir karar modeli olan çoklu makine yenileme problemi geliştirilmiştir.

Modelin önemli bir katkısı dönemler itibarıyla elde bulundurulması gereken sistemlerin sayısını ve yıllara bağlı yatırım miktarını gözetiyor olmasıdır. Böylece farklı sistemlerin bir arada ve aynı veya farklı yatırım bütçesinde değerlendirilmesi mümkün hale gelmektedir. Üstelik her bir sistem türünün kendi ekonomik ömrü ve ömür devri maliyetine göre bir karar verilebilmektedir.

Çoklu makine yenileme modeli, bir planlama ufku üzerinden çözüm elde edecek şekilde dinamik olarak ortaya konulmuştur ve hali hazırda kullanılan sisteme ilişkin üretici firma tarafından belirlenen fiziksel ömür olan 50 yıl üzerinden çözüm elde edilmiştir. Ancak bu değer parametrik olarak alınabilir veya farklı değerler için türetilen senaryolarla farklı durumların karşılaştırılması mümkün olabilir.

Araştırmanın Kısıtları: Modelde ekonomik ömür hesaplanması ile ilgili herhangi bir çözüm önerisi sunulmamış, ekonomik ömür bir parametre olarak kabul edilmiş ve senaryolara dayandırılmış, bu sayede modelin farklı verilerle geçerliliği test edilmiştir. Ekonomik ömür parametresi kullanılmadan da model de çözüm elde edilebilmektedir.

Ayrıca, piyasaların durumuna göre şekillenen faiz oranı da parametre kabul edilerek 2 farklı senaryo da buna göre çözülmüştür.

2004 yılından bu yana ülkemizin savunma sanayi tarafından kendi kaynakları ile üretimine başladığı bir sistem örnek uygulama için seçilmiştir. Hali hazırda kullanımda olan 300 adet sisteme ilişkin jenerik olarak oluşturulan maliyet verileri dikkate alınarak ömür devri maliyetine dayalı geliştirilen model çözülmüştür. Modele aynı zamanda her yıl yatırım yapılabilecek sermaye kısıtı ve yıllara göre elde bulundurulması zorunlu olan sistem miktarı kısıtı ilave edilerek gerçek şartlara uygun hale getirilmiştir.

Bu çözüm sayesinde farklı türde ve farklı zamanlarda üretilmiş sistemlerin her birinin ayrı ayrı olmak üzere ne zaman elden çıkarılacağı veya yenisinin ne zaman satın alınacağı belirlenmiştir.

Yazına Katkısı: Yapılan literatür araştırması sonucunda, daha önce herhangi bir çalışmada buna benzer geliştirilmiş ve çok türden makinenin yenileme zamanlarına rastlanılmamıştır. Bu da çalışmanın literatüre olan katkısıdır.

Sonuç: Üretim alanında karmaşık sistemlerin kullanıldığı günümüzde artık çok işe yaramayan tek makine yenileme problemleri yerine geliştirilen çoklu makine yenileme modelinin kullanılması kaçınılmazdır. Bu model, gerçek maliyet verilerine dayandırıldığı zaman doğru ve etkin sonuçlar sağlayacaktır.

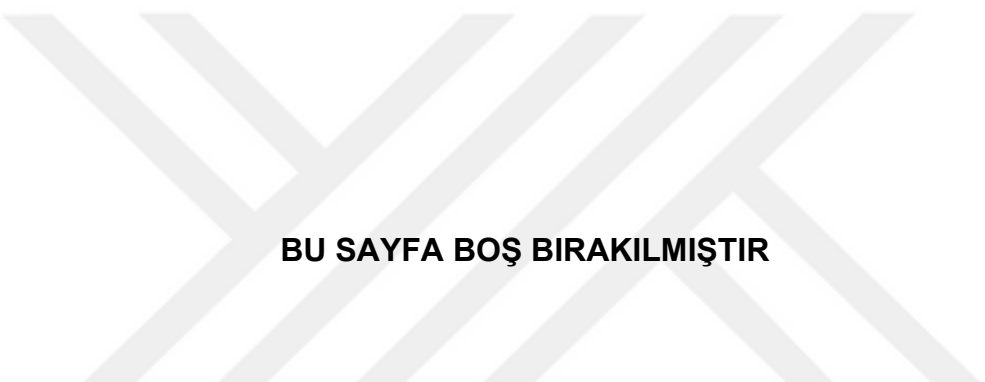
Gelecekte endüstri 4.0 ile tamamen otomatize olmuş ve süreçleri optimize edilmiş üretim sistemlerinin geliştirilmesi planlanmaktadır. Böyle bir çağda sistemlerin ne zaman yenilenmesi gerektiğinin de bütçeye ve gerek duyulan sistem sayısına bağlı olarak belirlendiği yöntemler gerekecektir. Bu açıdan çalışmanın geleceğe dönük bir yatırım olduğu söylenebilir.

5.2. ÖNERİLER

Gelecek Araştırmacılara Öneriler: Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, önerilen modele yeni kısıtlar ilave edilerek gerçek şartlara daha da uygun model geliştirebilir. Çalışılacak sistem, makine, teçhizat vb. şeyler için gerçek verilerin elde edilmesi ile doğru sonuçlar vereceği değerlendirilen modele; sistem arıza oranı, fiziksel şartlara bağlı veriler gibi parametreler de dâhil edilebilir.

Aynı zamanda modelde parametre olarak kullanılan ekonomik ömrün hesaplanması için ayrı bir çalışma yapılarak bu çalışmadan elde edilen sonuçlar birleştirilerek geniş kapsamlı bir sonuca ulaşılabilir.

Bütün yapı bir karar destek sistemi halinde tasarlanarak kolay kullanılabilen ve farklı sektörlerde kullanılabilecek bir yazılım geliştirilebilir. Bunun yanında, maliyet değerleri iyi bir tahmin yöntemi kullanılarak yazılıma ilave edilebilir.



BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

KAYNAKÇA

- Abensur, E. (2010). Optimization models applied to equipment replacement policy. *XVI International Conference On Industrial Engineering And Operations Management, Brazil*.
- Ahuja, Ravindra K.; Mehlhorn, Kurt; O., James; T. and Robert E. (1990). Faster algorithms for the shortest path problem. *Journal of the ACM (ACM)* 37 (2); 213–223.
- Ahuja, R.K.; Magnanti, T. L. and Orlin, J.B. (1993). *Network flows: theory, algorithms and applications*. New Jersey: Prentice Hall.
- Akbalık, A.; Kebe, S.; Penz, B. and Sbihi, N. (2008). *Exact methods and a heuristic for the optimization of an integrated replenishment-storage planning problem*. *International Transactions in Operational Research*, 15, 195-214.
- Alchian, A.A. (1952). *Economic replacement policy*. Published R-224, Santa Monica, CA: The Rand Corporation.
- Aytok A. (2006). *Ömür devri maliyet analizi modelinin işletmelerde karar almada kullanılabilirliğine yönelik amprik çalışma*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Basaran, M. (1998). *Savunma kararlarına modern yaklaşım, maliyet-etkinlik değerlendirmeleri*, Ankara: K.H.O. Matbaası, 16.
- Bean, J.C., Lohmann J.R. and Smith, R.L. (1985). A dynamic infinite horizon replacement economy decision model. *Eng.Economist*, 30 (2), 99-120.
- Bellman, R. (1955). Equipment replacement policy. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 133-136.
- Bellman, Richard (1958). On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*, 16, 87–90.
- Bescherer, F. (2005). *Established life cycle concepts in the business environment introduction and terminology*, (20 Şubat 2016). http://www.aalto.fi/fi/kirjasto/kokoelmat/raportiti/report_bescherer_2005.pdf.
- Candan, A. (2003). *Savunma sistemleri tedariğinde ömür devri maliyet sürecinin maliyet risk analizi*, Yüksek Lisans Tezi, K.H.O. Savunma Bilimleri Enstitüsü.
- Chand, C. and Sethi, S. (1982). Planning horizon procedures for machine replacement models with several possible alternatives. *Nav.Res.Logis.Q.*, 29 (3), 483-493.
- Cherkassky, B.V., Goldberg, A.V. and Radzik,T. (1996). Shortest paths algorithms: theory and experimental evaluation. *Mathematical Programming* 73, 129–174.
- Dantzig, G. B. (1960). On the shortest route through a network. *Management Science*, 6 (2), 187–190.
- Douglas, J. (1978). Equipment costs by current methods. *Journal of Construction Division ASCE* 104 (C02), 191-225.

- Dhillon, B.S. (1989). Life cycle costing, techniques, models and applications, New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1989, s.1.
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik* 1, 269–271.
- Doğramacı, A. and Fraiman, N.M. (2004). Replacement decisions with maintenance under uncertainty: an imbedded optimal control model. *Operations Research*, 52, 785-794.
- Dreyfus, S.E. (1957). *A generalized equipment replacement study*. Santa Monica, CA.: Rand Corporation.
- Dunk, A. S. (2004). Product life cycle cost analysis: The impact of customer profiling, competitive advantage, and quality of is information. *Management Accounting Research*, 401-414.
- Eilon, S., King., J.R. & Hutchinson, D.E. (1966). A study of equipment replacement. *Operational Research Quarterly*, 1, 59-71.
- Elmacı, O. (2005) *Muhasebe sistemi uygulama genel tebligine göre maliyet muhasebesi*, Kütahya: Ekspres Matbaası, 5.
- Fan, W.D., Gemar, M.D. and Machemehl, R. (2013). Equipment replacement decision making: opportunities and challenges. *Journal of the Transportation Research Forum*. 52, 79–90.
- Fabrycky, W.J. and Blanchard, B.S. (1991) *Life cycle cost and economic analysis*, New Jersey: Prentice Hall, 1.
- Federal Aviation Administration [FAA]. (2002). *Life cycle cost estimating handbook*. (12 Aralık 2015). www.faa.gov/ASD/ia-or/pdf/handbook/CEH_foreword.pdf.
- Ford, L. R. (1956). *Network flow theory*. Rand Corporation. 923.
- Gransberg, D., Popescu, R. and Ryan, R. (2006). *Construction equipment management for engineers, estimators, and owners*. (1st Ed.), Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL.
- Gnür.Bşk.ılığı. (2004). *Değişen ve gelişen çağda lojistik*, Ankara, Genelkurmay Basımevi, 221.
- Hanssman, F.S. (1968). *Operations research techniques for capital investment*. New York: John Wiley and Sons.
- Hatiboglu, Z. (1987) Maliyet ve yönetim muhasebesi, *Temel Araştırma A.S. Yayınları, İşletme Yönetimi İhtisas Dizisi No:9*, 1.
- Humphreys, K. (1984). *Project and cost engineers handbook* (Second edition), New York: Marcel Dekker Inc., 6, 249.
- Jusu, J. (2006). *LCC An introduction of life cycle cost*. (20 Şubat 2016). <http://www.tsminc.co.jp/download/relexsemi2/LCC.pdf>.

Kawauchi, Y. and Rausand, M. (1999) *Life cycle cost (LCC) analysis, in oil and chemical process industries*, (10 Şubat 2016). <http://www.ntnu.no/ross/reports/lcc.pdf>.

Ladany, S.P. (1997). Optimal banknote replenishing policy by an issuing bank. *International Transactions in Operational Research*, 4, 1-12.

Leung, L.C. and Tanchoco, J.M.A. (1984). After-tax equipment and replacement analysis using discrete transform. *IIE Trans.*, 16(2),152-158.

Leung, L.C. and Tanchoco, J.M.A. (1990). Multiple machine replacement analysis. *Engineering Costs and Production Economics*, 20, 265-275.

Leyzorek, M., Gray, R. S., Johnson, A. A., Ladew, W. C., Meaker, S. R., Jr., Petry, R. M. and Seitz, R. N. (1957). *Investigation of model techniques, first annual report , a study of model techniques for communication systems*. Cleveland, Ohio: Case Institute of Technology.

Marques, G.M.; Silva, M.L.; Leite, H.G. and Fontes, A.A. (2005). Aplicação da programação dinâmica na substituição de equipamentos. *Revista Árvore*, 29, 749-756.

Mitchell, Z. (1998). *A statistical analysis of construction equipment repair costs using field data and the cumulative cost model*. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute.

Moore, E.F. (1959). The shortest path through a maze. *Proceedings of an International Symposium on the Theory of Switching*. Cambridge: Harvard University Press. 285–292.

Muhasebe portal. (b.t.). (20 Ocak 2016). <http://muhasebeturk.org/ecopedia/387-e/24701-ekonomik-omur-nedir-ne-demek.html>.

Nair, S.K. and Hopp, W.J. (1992). A model for equipment replacement due to technological obsolescence. *European Journal of Operational Research*, 63, 201-221.

NIST Handbook 13. (1995). *Life cycle costing manual*, U.S. Department of Commerce. (15 Şubat 2016). <http://www.bfrl.nist.gov/oae/publications/handbooks/135.pdf>.

Oaxford, R.V., Lohmann, J.R. and Smith, R.L. (1985). A dynamic infinite horizon replacement economy decision model. *Eng.Economist*, 30 (2), 99-120.

Ostwald, P.F. (1992). *Engineering Cost Estimating* (Third Edition), New Jersey: Prentice Hall, 412.

Özer, G. (2003). Bugünün ve geleceğin maliyetlerini yöneterek rekabetçi kalmanın yolları. *Mevzuat Dergisi*, 6, 63.

Peker, A. (1988). *Modern yönetim muhasebesi* (Dördüncü Baskı), İstanbul, İ.Ü.İ.F. Muh. Ens. Yay. 53, 142.

Ray, R.T. (1971). *A systems approach to replacement*, Ph.D.Thesis, Department of Industrial Engineering and Operations Research, Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University.

Sethi, S. and Morton, T. (1972). A mixed optimization technique for the generalized machine replacement problem. *Nav.Res.Logis.Q.*, 19 (3),471-481.

Sethi, S. and Chand, C. (1979). Planning horizon procedures for machine replacement models. *Manage. Sci.*, 25(2), 140-151.

Shimbel, A. (1953). Structural parameters of communication networks. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 15 (4), 501–507.

Smith, V.L. (1966). *Investment and production*. Cambridge, MA.: Harvard University Press.

Şahin, A. (2016) *Paranın zaman değeri* (10 Nisan 2016). [www.kisi.deu.edu.tr/userweb/aysegul.sahin/\(1\)paranın%20zaman%20değeri.ppt](http://www.kisi.deu.edu.tr/userweb/aysegul.sahin/(1)paranın%20zaman%20değeri.ppt).

Taha, H.A. (2008). *Pesquisa operacional*. São Paulo: Prentice Hall.

Tanchoco, J.M.A. and Leung, L.C. (1987). An input-output model for equipment replacement decisions. *Eng. Costs Prod.Econ.*, 11(2), 69-78.

TDK Güncel Türkçe Sözlük. (b.t.). (15 Ocak 2016). http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5739cd0eb89021.71982306.

Terborgh, G. (1949). *Dynamic equipment policy*, New York: McGraw-Hill Inc.

Uyarol, F. (2002). Finans bilimi ve yatırım analizi. *İstanbul: Bilim Teknik*, 48, 152

Üstün, R. (1999) *Yönetim muhasebesi*, Dördüncü. Baskı, İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi, 17.

Valverde, S.R. and Resende, J.L.P. (1997). Princípio de substituição de máquinas e equipamentos. *Revista Árvore*, 21, 353-364.

Yano, C.A. (1984). *On the equivalence of an equipment replacement problem and facility location problem*. The University of Michigan Technical Report, 84-27.

Yöner, N. (2003). *Proje ömür devri maliyet analizi*, Ankara, M.S. B.Teknik Hizmet Daire Başkanlığı, SATEM, Kurs Dokümanı, 37.

Winston, W.L. (2004) *Operations research:applications and algorithms* (4th edition). Boston: Duxbury Press, 8, 2.

EKLER

EK-A SATIN ALMA MALİYETLERİ

EK-B İŞLETME VE DESTEK MALİYETLERİ

EK-C ELDEN ÇIKARMA MALİYETLERİ

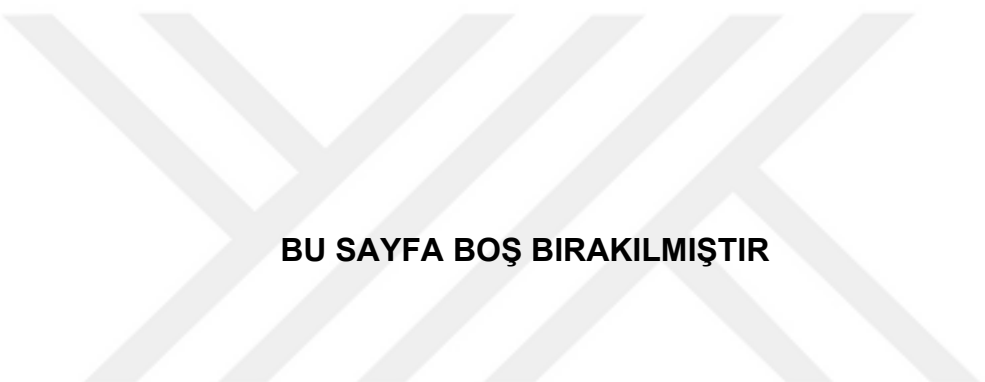
EK-Ç YILLARA GÖRE SİSTEM MİKTARLARI (d_{ki})

EK-D YILLARA GÖRE YATIRIM MİKTARLARI (t_{ki})

EK-E MODELİN 2'NCİ SENARYO İÇİN ÇÖZÜM SONUÇLARI (e=35 YIL, f=0.03)

EK-F MODELİN 3'ÜNCÜ SENARYO İÇİN ÇÖZÜM SONUÇLARI (e=30 YIL, f=0.06)

EK-G MODELİN 4'ÜNCÜ SENARYO İÇİN ÇÖZÜM SONUÇLARI (e=35 YIL, f=0.06)



BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

SATIN ALMA MALİYETLERİ (SAT)
(Faiz Oranı f=0,03)

Yıllar	Satın Alma Maliyeti	Yıllar	Satın Alma Maliyeti
1	12.000	26	25.125
2	12.360	27	25.879
3	12.731	28	26.655
4	13.113	29	27.455
5	13.506	30	28.279
6	13.911	31	29.127
7	14.329	32	30.001
8	14.758	33	30.901
9	15.201	34	31.828
10	15.657	35	32.783
11	16.127	36	33.766
12	16.611	37	34.779
13	17.109	38	35.823
14	17.622	39	36.897
15	18.151	40	38.004
16	18.696	41	39.144
17	19.256	42	40.319
18	19.834	43	41.528
19	20.429	44	42.774
20	21.042	45	44.057
21	21.673	46	45.379
22	22.324	47	46.741
23	22.993	48	48.143
24	23.683	49	49.587
25	24.394	50	51.075

SATIN ALMA MALİYETLERİ (SAT)
(Faiz Oranı f=0,06)

Yıllar	Satın Alma Maliyeti	Yıllar	Satın Alma Maliyeti
1	12.000	26	51.502
2	12.720	27	54.593
3	13.483	28	57.868
4	14.292	29	61.340
5	15.150	30	65.021
6	16.059	31	68.922
7	17.022	32	73.057
8	18.044	33	77.441
9	19.126	34	82.087
10	20.274	35	87.012
11	21.490	36	92.233
12	22.780	37	97.767
13	24.146	38	103.633
14	25.595	39	109.851
15	27.131	40	116.442
16	28.759	41	123.429
17	30.484	42	130.834
18	32.313	43	138.684
19	34.252	44	147.005
20	36.307	45	155.826
21	38.486	46	165.175
22	40.795	47	175.086
23	43.242	48	185.591
24	45.837	49	196.726
25	48.587	50	208.530

İŞLETME VE DESTEK MALİYETLERİ (İDM)

Yıllar	Makine Türlerine (k) Göre İşletme ve Destek Maliyeti					Yıllar	Makine Türlerine (k) Göre İşletme ve Destek Maliyeti				
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5
1	3.000	2.800	2.300	1.800	1.580	26	1.700	1.570	1.700	2.600	3.570
2	2.900	2.630	3.130	1.680	1.480	27	1.950	1.600	1.850	2.670	3.600
3	2.840	2.600	2.000	1.650	1.450	28	2.000	1.700	1.960	2.790	3.700
4	2.810	2.400	1.900	1.500	1.300	29	2.040	1.800	2.100	2.940	3.800
5	2.800	2.300	1.800	1.450	1.300	30	2.100	1.950	2.300	3.150	3.900
6	2.790	2.250	1.780	1.440	1.290	31	2.200	2.150	2.450	3.300	4.000
7	2.750	2.200	1.780	1.420	1.280	32	2.300	2.320	2.620	3.370	4.120
8	2.700	2.160	1.750	1.400	1.270	33	2.450	2.360	2.780	3.560	4.130
9	2.600	2.140	1.740	1.390	1.320	34	2.650	2.400	2.890	3.680	4.150
10	2.430	2.130	1.750	1.380	1.350	35	2.700	2.750	2.940	3.950	4.190
11	2.400	2.100	1.740	1.375	1.360	36	2.780	2.750	3.000	4.200	4.260
12	2.200	2.070	1.720	1.340	1.380	37	2.900	2.880	3.100	4.360	4.360
13	2.100	1.950	1.700	1.330	1.500	38	3.000	3.100	3.150	4.500	4.500
14	2.050	1.920	1.690	1.320	1.750	39	3.100	3.300	3.300	4.900	4.800
15	2.000	1.900	1.690	1.330	1.800	40	3.250	3.500	3.500	5.000	5.100
16	1.960	1.880	1.690	1.500	1.900	41	3.400	3.900	3.700	5.200	5.320
17	1.940	1.850	1.680	1.650	2.300	42	3.450	4.200	4.100	5.450	5.460
18	1.930	1.740	1.650	1.800	2.400	43	3.600	4.300	4.250	5.820	5.700
19	1.900	1.700	1.640	1.900	2.600	44	3.800	4.700	4.330	6.000	5.950
20	1.870	1.650	1.480	2.100	2.900	45	3.950	4.750	4.450	6.400	6.300
21	1.750	1.640	1.440	2.150	3.100	46	4.100	4.880	4.560	6.450	6.550
22	1.720	1.620	1.470	2.250	3.300	47	4.300	4.900	4.600	6.700	6.780
23	1.700	1.600	1.500	2.340	3.340	48	4.500	5.050	4.900	6.800	6.900
24	1.680	1.600	1.520	2.350	3.540	49	4.600	5.080	5.100	6.900	7.100
25	1.650	1.580	1.590	2.450	3.560	50	4.900	5.100	5.260	7.000	7.200

ELDEN ÇIKARMA MALİYETLERİ (EÇM)
(Faiz Oranı f=0,03)

Yıllar	Makine Türlerine (k) Göre Elden Çıkarma Maliyeti					Yıllar	Makine Türlerine (k) Göre İşletme ve Destek Maliyeti				
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5
1	250	350	500	650	950	26	523	733	1.047	1.361	1.989
2	258	361	515	670	979	27	539	755	1.078	1.402	2.049
3	265	371	530	690	1.008	28	555	777	1.111	1.444	2.110
4	273	382	546	710	1.038	29	572	801	1.144	1.487	2.174
5	281	394	563	732	1.069	30	589	825	1.178	1.532	2.239
6	290	406	580	754	1.101	31	607	850	1.214	1.578	2.306
7	299	418	597	776	1.134	32	625	875	1.250	1.625	2.375
8	307	430	615	799	1.168	33	644	901	1.288	1.674	2.446
9	317	443	633	823	1.203	34	663	928	1.326	1.724	2.520
10	326	457	652	848	1.240	35	683	956	1.366	1.776	2.595
11	336	470	672	874	1.277	36	703	985	1.407	1.829	2.673
12	346	484	692	900	1.315	37	725	1.014	1.449	1.884	2.753
13	356	499	713	927	1.354	38	746	1.045	1.493	1.940	2.836
14	367	514	734	955	1.395	39	769	1.076	1.537	1.999	2.921
15	378	529	756	983	1.437	40	792	1.108	1.584	2.059	3.009
16	389	545	779	1.013	1.480	41	816	1.142	1.631	2.120	3.099
17	401	562	802	1.043	1.524	42	840	1.176	1.680	2.184	3.192
18	413	578	826	1.074	1.570	43	865	1.211	1.730	2.249	3.288
19	426	596	851	1.107	1.617	44	891	1.248	1.782	2.317	3.386
20	438	614	877	1.140	1.666	45	918	1.285	1.836	2.386	3.488
21	452	632	903	1.174	1.716	46	945	1.324	1.891	2.458	3.593
22	465	651	930	1.209	1.767	47	974	1.363	1.948	2.532	3.700
23	479	671	958	1.245	1.820	48	1.003	1.404	2.006	2.608	3.811
24	493	691	987	1.283	1.875	49	1.033	1.446	2.066	2.686	3.926
25	508	711	1.016	1.321	1.931	50	1.064	1.490	2.128	2.767	4.043

ELDEN ÇIKARMA MALİYETLERİ (EÇM)
(Faiz Oranı f=0,06)

Yıllar	Makine Türlerine (k) Göre İşletme ve Destek Maliyeti					Yıllar	Makine Türlerine (k) Göre İşletme ve Destek Maliyeti				
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5
1	250	350	500	650	950	26	1.073	1.502	2.146	2.790	4.077
2	265	371	530	689	1.007	27	1.137	1.592	2.275	2.957	4.322
3	281	393	562	730	1.067	28	1.206	1.688	2.411	3.135	4.581
4	298	417	596	774	1.131	29	1.278	1.789	2.556	3.323	4.856
5	316	442	631	821	1.199	30	1.355	1.896	2.709	3.522	5.147
6	335	468	669	870	1.271	31	1.436	2.010	2.872	3.733	5.456
7	355	496	709	922	1.348	32	1.522	2.131	3.044	3.957	5.784
8	376	526	752	977	1.428	33	1.613	2.259	3.227	4.195	6.131
9	398	558	797	1.036	1.514	34	1.710	2.394	3.420	4.446	6.499
10	422	591	845	1.098	1.605	35	1.813	2.538	3.626	4.713	6.888
11	448	627	895	1.164	1.701	36	1.922	2.690	3.843	4.996	7.302
12	475	664	949	1.234	1.803	37	2.037	2.852	4.074	5.296	7.740
13	503	704	1.006	1.308	1.912	38	2.159	3.023	4.318	5.613	8.204
14	533	747	1.066	1.386	2.026	39	2.289	3.204	4.577	5.950	8.697
15	565	791	1.130	1.470	2.148	40	2.426	3.396	4.852	6.307	9.218
16	599	839	1.198	1.558	2.277	41	2.571	3.600	5.143	6.686	9.771
17	635	889	1.270	1.651	2.413	42	2.726	3.816	5.451	7.087	10.358
18	673	942	1.346	1.750	2.558	43	2.889	4.045	5.779	7.512	10.979
19	714	999	1.427	1.855	2.712	44	3.063	4.288	6.125	7.963	11.638
20	756	1.059	1.513	1.967	2.874	45	3.246	4.545	6.493	8.441	12.336
21	802	1.122	1.604	2.085	3.047	46	3.441	4.818	6.882	8.947	13.076
22	850	1.190	1.700	2.210	3.230	47	3.648	5.107	7.295	9.484	13.861
23	901	1.261	1.802	2.342	3.423	48	3.866	5.413	7.733	10.053	14.693
24	955	1.337	1.910	2.483	3.629	49	4.098	5.738	8.197	10.656	15.574
25	1.012	1.417	2.024	2.632	3.846	50	4.344	6.082	8.689	11.295	16.509

YILLARA GÖRE SİSTEM MİKTARLARI (d_{ki})

Tür (k)/ Yıl (i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	60	72	72	84	84	96	96	108	108	120	120	120	132	132	132	132	132	144	144	144	144	156	156	176	176
2	60	72	72	72	84	84	84	96	96	96	108	108	108	120	120	120	132	132	138	144	144	148	148	164	164
3	60	72	72	72	80	80	80	88	88	96	96	96	104	104	104	104	112	112	116	120	120	120	120	120	120
4	60	64	68	72	76	80	84	88	92	100	108	108	108	120	120	120	120	128	132	132	140	140	140	140	140
5	60	68	68	76	76	84	84	92	92	100	100	100	100	100	108	108	108	108	114	114	120	120	120	120	120

Tür (k)/ Yıl (i)	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	176	176	176	176	176	164	164	152	152	140	140	128	128	116	116	104	104	92	92	80	80	68	68	60	0
2	164	164	164	164	164	152	140	128	116	116	104	100	100	96	96	84	84	72	72	72	68	64	64	60	0
3	120	120	120	120	120	112	112	112	112	100	100	100	100	100	100	100	88	88	88	80	80	68	68	60	0
4	140	140	140	140	140	128	116	116	108	108	96	96	88	88	80	80	80	72	72	72	66	66	60	60	0
5	120	120	120	120	120	108	108	108	96	96	96	90	90	90	84	84	80	80	76	76	64	64	60	60	0

YILLARA GÖRE YATIRIM MİKTARLARI (t_{ki})

Tür (k)/ Yıl (i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1.000.000	1.200.000	1.200.000	1.500.000	1.600.000	1.800.000	1.800.000	2.000.000	2.000.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000
2	1.000.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.800.000	1.800.000	1.800.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.750.000
3	1.000.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.700.000	1.700.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.900.000
4	1.000.000	1.050.000	1.200.000	1.500.000	1.600.000	1.700.000	1.800.000	1.900.000	2.000.000	2.150.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000
5	1.000.000	1.100.000	1.100.000	1.500.000	1.600.000	1.700.000	1.800.000	1.950.000	1.950.000	1.950.000	1.950.000	1.950.000	1.950.000	1.950.000	2.100.000	2.100.000	2.100.000

Tür (k)/ Yıl (i)	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	2.750.000	2.750.000	2.750.000	2.750.000	3.000.000	3.000.000	3.500.000	3.500.000	3.500.000	3.500.000	3.500.000	3.500.000	3.500.000	3.000.000	3.000.000	2.800.000	2.800.000
2	2.750.000	2.900.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.750.000	3.750.000	3.500.000	3.750.000	3.750.000	3.750.000	3.750.000	3.500.000	3.250.000	2.800.000	2.800.000
3	2.900.000	2.900.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	2.850.000	2.850.000	2.850.000	2.750.000
4	3.500.000	3.700.000	3.700.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	3.750.000	3.500.000	3.500.000	3.500.000
5	2.100.000	2.250.000	2.250.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.000.000	2.000.000	1.800.000	1.600.000

YILLARA GÖRE YATIRIM MİKTARLARI (t_{ki})

Tür (k)/ Yıl (i)	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	2.500.000	2.500.000	2.250.000	2.250.000	2.000.000	2.000.000	1.750.000	1.500.000	1.500.000	1.400.000	1.400.000	1.250.000	1.250.000	1.000.000	1.000.000	0
2	2.500.000	2.500.000	2.250.000	2.250.000	2.000.000	2.000.000	1.750.000	1.500.000	1.500.000	1.400.000	1.400.000	1.250.000	1.250.000	1.000.000	1.000.000	0
3	2.750.000	2.600.000	2.600.000	2.400.000	2.400.000	2.000.000	2.000.000	1.750.000	1.750.000	1.750.000	1.500.000	1.500.000	1.250.000	1.000.000	1.000.000	0
4	3.250.000	3.000.000	3.000.000	2.800.000	2.800.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.400.000	2.400.000	2.000.000	1.750.000	1.500.000	1.250.000	1.000.000	0
5	1.600.000	1.600.000	1.500.000	1.500.000	1.300.000	1.300.000	1.200.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	0

MODELİN 2'NCİ SENARYO İÇİN ÇÖZÜM SONUÇLARI (e=35 YIL, f=0.03)

Parametreler	Çözüm Sonuçları
Amaç Fonksiyonu (16 ardışırma sonucu bulunmuştur)	86.036.150

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=1	1	$X(1, 1, 11)=12$ $X(1, 1, 15)=8$ $X(1, 1, 16)=16$ $X(1, 1, 33)=12$ $X(1, 1, 35)=12$	$Y(1,1)=60$
		2	$X(1, 2, 31)=12$	$Y(1,2)=12$
		4	$X(1, 4, 37)=12$	$Y(1,4)=12$
		6	$X(1, 6, 39)=12$	$Y(1,6)=12$
		8	$X(1, 8, 41)=12$	$Y(1,8)=12$
		10	$X(1, 10, 43)=12$	$Y(1,10)=12$
		11	$X(1, 11, 45)=12$	$Y(1,11)=12$
		13	$X(1, 13, 47)=12$	$Y(1,13)=12$
		15	$X(1, 15, 49)=8$	$Y(1,15)=8$
		16	$X(1, 16, 50)=16$	$Y(1,16)=16$
		18	$X(1, 18, 50)=12$	$Y(1,18)=12$
		22	$X(1, 22, 50)=12$	$Y(1,22)=12$
		24	$X(1, 24, 50)=20$	$Y(1,24)=20$

X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
	k=2	1	$X(2, 1, 2)=4$ $X(2, 1, 15)=4$ $X(2, 1, 16)=16$ $X(2, 1, 31)=12$ $X(2, 1, 32)=12$ $X(2, 1, 33)=12$	$Y(2,1)=60$
		2	$X(2, 2, 34)=4$ $X(2, 2, 36)=12$	$Y(2,2)=16$
		5	$X(2, 5, 34)=8$ $X(2, 5, 39)=4$	$Y(2,5)=12$
		8	$X(2, 8, 37)=4$ $X(2, 8, 41)=8$	$Y(2,8)=12$
		11	$X(2, 11, 43)=12$	$Y(2,11)=12$
		14	$X(2, 14, 41)=4$ $X(2, 14, 46)=4$ $X(2, 14, 47)=4$	$Y(2,14)=12$
		15	$X(2, 15, 49)=4$	$Y(2,15)=4$
		16	$X(2, 16, 50)=16$	$Y(2,16)=16$
		17	$X(2, 17, 50)=12$	$Y(2,17)=12$
		19	$X(2, 19, 50)=6$	$Y(2,19)=6$
		20	$X(2, 20, 50)=6$	$Y(2,20)=6$
		22	$X(2, 22, 50)=4$	$Y(2,22)=4$
		24	$X(2, 24, 50)=16$	$Y(2,24)=16$

X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
	k=3	1	$X(3, 1, 11)=8$ $X(3, 1, 16)=44$ $X(3, 1, 31)=8$	$Y(3,1)=60$
		3	$X(3, 2, 35)=12$	$Y(3,2)=12$
		5	$X(3, 5, 15)=8$	$Y(3,5)=8$
		8	$X(3, 8, 13)=4$ $X(3, 8, 42)=4$	$Y(3,8)=8$
		10	$X(3, 10, 42)=8$	$Y(3,10)=8$
		11	$X(3, 11, 45)=8$	$Y(3,11)=8$
		13	$X(3, 13, 47)=12$	$Y(3,13)=12$
		15	$X(3, 15, 49)=8$	$Y(3,15)=8$
		16	$X(3, 16, 50)=44$	$Y(3,16)=44$
		17	$X(3, 17, 50)=8$	$Y(3,17)=8$
		19	$X(3, 19, 50)=4$	$Y(3,19)=4$
		20	$X(3, 20, 50)=4$	$Y(3,20)=4$

X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
	k=4	1	$X(4, 1, 2)=20$ $X(4, 1, 16)=40$	$Y(4,1)=60$
		2	$X(4, 2, 31)=8$ $X(4, 2, 32)=4$ $X(4, 2, 34)=8$ $X(4, 2, 36)=8$	$Y(4,2)=28$
		4	$X(4, 4, 32)=4$	$Y(4,4)=4$
		5	$X(4, 5, 32)=4$	$Y(4,5)=4$
		6	$X(4, 6, 40)=4$	$Y(4,6)=4$
		7	$X(4, 7, 36)=4$	$Y(4,7)=4$
		8	$X(4, 8, 38)=4$	$Y(4,8)=4$
		9	$X(4, 9, 38)=4$	$Y(4,9)=4$
		10	$X(4, 10, 40)=4$ $X(4, 10, 43)=4$	$Y(4,10)=8$
		11	$X(4, 11, 31)=4$ $X(4, 11, 43)=4$	$Y(4,11)=8$
		14	$X(4, 14, 46)=6$ $X(4, 14, 48)=6$	$Y(4,14)=12$
		16	$X(4, 16, 50)=40$	$Y(4,14)=40$
		18	$X(4, 18, 50)=8$	$Y(4,18)=8$
		19	$X(4, 19, 50)=4$	$Y(4,19)=4$
		21	$X(4, 21, 50)=8$	$Y(4,21)=8$

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=5	1	$X(5, 1, 2)=4$ $X(5, 1, 12)=8$ $X(5, 1, 16)=48$	$Y(5,1)=60$
		2	$X(5, 2, 31)=8$ $X(5, 2, 34)=12$	$Y(5,2)=20$
		6	$X(5, 6, 37)=2$ $X(5, 6, 40)=6$	$Y(5,6)=8$
		8	$X(5, 8, 31)=4$ $X(5, 8, 42)=4$	$Y(5,8)=8$
		10	$X(5, 10, 37)=4$ $X(5, 10, 44)=4$	$Y(5,10)=8$
		12	$X(5, 12, 46)=8$ $X(5, 15, 46)=4$	$Y(5,12)=12$
		15	$X(5, 15, 48)=4$	$Y(5,15)=4$
		16	$X(5, 16, 50)=48$	$Y(5,16)=48$
		19	$X(5, 19, 50)=6$	$Y(5,19)=6$
		21	$X(5, 21, 50)=6$	$Y(5,21)=6$

MODELİN 3'ÜNCÜ SENARYO İÇİN ÇÖZÜM SONUÇLARI (e=30 YIL, f=0.06)

Parametreler	Çözüm Sonuçları
Amaç Fonksiyonu (19 ardıştırmalı sonucu bulunmuştur)	100.314.900

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=1	1	$X(1, 1, 14)=12$ $X(1, 1, 16)=12$ $X(1, 1, 20)=8$ $X(1, 1, 21)=28$	$Y(1,1)=60$
		2	$X(1, 2, 31)=12$	$Y(1,2)=12$
		4	$X(1, 4, 33)=12$	$Y(1,4)=12$
		6	$X(1, 6, 35)=12$	$Y(1,6)=12$
		8	$X(1, 8, 37)=12$	$Y(1,8)=12$
		10	$X(1, 10, 39)=12$	$Y(1,10)=12$
		13	$X(1, 13, 41)=12$	$Y(1,13)=12$
		14	$X(1, 14, 43)=12$	$Y(1,14)=12$
		16	$X(1, 16, 45)=12$	$Y(1,16)=12$
		18	$X(1, 18, 47)=12$	$Y(1,18)=12$
		20	$X(1, 20, 49)=8$	$Y(1,20)=8$
		21	$X(1, 21, 50)=60$	$Y(1,21)=60$

X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
	k=2	1	$X(2, 1, 3)=12$ $X(2, 1, 4)=8$ $X(2, 1, 21)=40$	$Y(2,1)=60$
		2	$X(2, 2, 31)=12$	$Y(2,2)=12$
		3	$X(2, 3, 32)=12$	$Y(2,3)=12$
		4	$X(2, 4, 33)=8$	$Y(2,4)=8$
		5	$X(2, 5, 34)=12$	$Y(2,5)=12$
		8	$X(2, 8, 36)=12$	$Y(2,8)=12$
		11	$X(2, 11, 33)=4$ $X(2, 11, 37)=4$ $X(2, 11, 39)=4$	$Y(2,11)=12$
		14	$X(2, 14, 41)=12$	$Y(2,14)=12$
		17	$X(2, 17, 43)=12$	$Y(2,17)=12$
		18	$X(2, 18, 46)=4$ $X(2, 18, 47)=4$	$Y(2,18)=8$
		20	$X(2, 20, 49)=4$	$Y(2,20)=4$
		21	$X(2, 21, 50)=60$	$Y(2,21)=60$

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=3	1	$X(3, 1, 13)=4$ $X(3, 1, 20)=4$ $X(3, 1, 21)=52$	$Y(3,1)=60$
		2	$X(3, 2, 18)=4$ $X(3, 2, 31)=8$	$Y(3,2)=12$
		5	$X(3, 5, 21)=8$	$Y(3,5)=8$
		8	$X(3, 8, 18)=4$ $X(3, 8, 35)=4$	$Y(3,8)=8$
		10	$X(3, 10, 35)=8$	$Y(3,10)=8$
		13	$X(3, 13, 42)=12$	$Y(3,13)=12$
		16	$X(3, 16, 45)=8$	$Y(3,16)=8$
		18	$X(3, 18, 47)=12$	$Y(3,18)=12$
		20	$X(3, 20, 49)=8$	$Y(3,20)=8$
		21	$X(3, 21, 50)=60$	$Y(3,21)=60$

X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
	k=4	1	$X(4, 1, 2)=6$ $X(4, 1, 19)=2$ $X(4, 1, 21)=52$	$Y(4,1)=60$
		2	$X(4, 2, 31)=12$	$Y(4,2)=12$
		3	$X(4, 3, 32)=2$	$Y(4,3)=2$
		4	$X(4, 4, 32)=4$	$Y(4,4)=4$
		5	$X(4, 5, 32)=4$	$Y(4,5)=4$
		6	$X(4, 6, 32)=2$ $X(4, 6, 34)=2$	$Y(4,6)=4$
		7	$X(4, 7, 34)=2$ $X(4, 7, 36)=2$	$Y(4,7)=4$
		8	$X(4, 8, 34)=4$	$Y(4,8)=4$
		9	$X(4, 9, 38)=4$	$Y(4,9)=4$
		10	$X(4, 10, 36)=4$ $X(4, 10, 38)=4$	$Y(4,10)=8$
		11	$X(4, 11, 36)=6$ $X(4, 11, 40)=2$	$Y(4,11)=8$
		12	$X(4, 12, 40)=6$	$Y(4,12)=6$
		14	$X(4, 14, 43)=8$	$Y(4,14)=8$
		17	$X(4, 17, 46)=6$	$Y(4,17)=6$
		19	$X(4, 19, 48)=6$	$Y(4,19)=6$
		21	$X(4, 21, 50)=60$	$Y(4,21)=60$

X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
	k=5	1	$X(5, 1, 2)=44$ $X(5, 1, 11)=6$ $X(5, 1, 17)=10$	$Y(5,1)=60$
		2	$X(5, 2, 21)=40$ $X(5, 2, 31)=12$	$Y(5,2)=52$
		4	$X(5, 4, 21)=8$	$Y(5,4)=8$
		6	$X(5, 6, 34)=8$	$Y(5,6)=8$
		8	$X(5, 8, 34)=2$ $X(5, 8, 37)=6$	$Y(5,8)=8$
		10	$X(5, 10, 21)=6$ $X(5, 10, 34)=2$	$Y(5,10)=8$
		11	$X(5, 11, 40)=6$	$Y(5,11)=6$
		15	$X(5, 15, 42)=4$ $X(5, 15, 44)=4$	$Y(5,15)=8$
		17	$X(5, 17, 46)=10$	$Y(5,17)=10$
		19	$X(5, 19, 46)=2$ $X(5, 19, 48)=4$	$Y(5,19)=6$
		21	$X(5, 21, 50)=60$	$Y(5,21)=60$

MODELİN 4'ÜNCÜ SENARYO İÇİN ÇÖZÜM SONUÇLARI (e=35 YIL, f=0.06)

Parametreler	Çözüm Sonuçları
Amaç Fonksiyonu (18 ardışırma sonucu bulunmuştur)	94.416.960

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=1	1	$X(1, 1, 11)=12$ $X(1, 1, 15)=8$ $X(1, 1, 16)=16$ $X(1, 1, 33)=12$ $X(1, 1, 35)=12$	$Y(1,1)=60$
		2	$X(1, 2, 31)=12$	$Y(1,2)=12$
		4	$X(1, 4, 37)=12.$	$Y(1,4)=12$
		6	$X(1, 6, 39)=12$	$Y(1,6)=12$
		8	$X(1, 8, 41)=12$	$Y(1,8)=12$
		10	$X(1, 10, 43)=12$	$Y(1,10)=12$
		11	$X(1, 11, 45)=12$	$Y(1,11)=12$
		13	$X(1, 13, 47)=12$	$Y(1,13)=12$
		15	$X(1, 15, 49)=8$	$Y(1,15)=8$
		16	$X(1, 16, 50)=16$	$Y(1,16)=16$
		18	$X(1, 18, 50)=44$	$Y(1,18)=44$

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=2	1	$X(2, 1, 2)=4$ $X(2, 1, 15)=4$ $X(2, 1, 16)=16$ $X(2, 1, 31)=12$ $X(2, 1, 32)=12$ $X(2, 1, 33)=12$	$Y(2,1)=60$
		2	$X(2, 2, 34)=4$ $X(2, 2, 36)=12$	$Y(2,2)=16$
		5	$X(2, 5, 34)=4$ $X(2, 5, 37)=4$ $X(2, 5, 39)=4$	$Y(2,5)=12$
		8	$X(2, 8, 41)=12$	$Y(2,8)=12$
		11	$X(2, 11, 43)=12$	$Y(2,11)=12$
		14	$X(2, 14, 34)=4$ $X(2, 14, 46)=4$ $X(2, 14, 47)=4$	$Y(2,14)=12$
		15	$X(2, 15, 49)=4$	$Y(2,15)=4$
		16	$X(2, 16, 50)=16$	$Y(2,16)=16$
		17	$X(2, 17, 50)=12$	$Y(2,17)=12$
		18	$X(2, 18, 50)=32$	$Y(2,19)=32$

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=3	1	$X(3, 1, 11)=8$ $X(3, 1, 16)=44$ $X(3, 1, 31)=8$	$Y(3,1)=60$
		3	$X(3, 2, 35)=12$	$Y(3,2)=12$
		5	$X(3, 5, 15)=8$	$Y(3,5)=8$
		8	$X(3, 8, 13)=4$ $X(3, 8, 42)=4$	$Y(3,8)=8$
		10	$X(3, 10, 42)=8$	$Y(3,10)=8$
		11	$X(3, 11, 45)=8$	$Y(3,11)=8$
		13	$X(3, 13, 47)=12$	$Y(3,13)=12$
		15	$X(3, 15, 49)=8$	$Y(3,15)=8$
		16	$X(3, 16, 50)=60$	$Y(3,16)=60$

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=4	1	$X(4, 1, 2)=20$ $X(4, 1, 16)=40$	$Y(4,1)=60$
		2	$X(4, 2, 31)=8$ $X(4, 2, 32)=8$ $X(4, 2, 34)=4$ $X(4, 2, 36)=12.$	$Y(4,2)=32$
		5	$X(4, 5, 32)=4$	$Y(4,5)=4$
		6	$X(4, 6, 40)=4$	$Y(4,6)=4$
		7	$X(4, 7, 40)=4$	$Y(4,7)=4$
		8	$X(4, 8, 38)=4$	$Y(4,8)=4$
		9	$X(4, 9, 43)=4$	$Y(4,9)=4$
		10	$X(4, 10, 34)=4$ $X(4, 10, 38)=4$	$Y(4,10)=8$
		11	$X(4, 11, 31)=4$ $X(4, 11, 43)=4$	$Y(4,11)=8$
		12	$X(4, 12, 46)=6$	$Y(4,12)=6$
		14	$X(4, 14, 48)=6$	$Y(4,14)=6$
		16	$X(4, 16, 50)=60$	$Y(4,16)=60$

	Makine Türü	Yıl	X_{kij}	Y_{ki}
X_{kij} ve Y_{ki} Değişkenleri	k=5	1	$X(5, 1, 2)=4$ $X(5, 1, 12)=8$ $X(5, 1, 16)=48$	$Y(5,1)=60$
		2	$X(5, 2, 31)=12$ $X(5, 2, 34)=12$	$Y(5,2)=24$
		6	$X(5, 6, 40)=4$	$Y(5,6)=4$
		8	$X(5, 8, 37)=6$ $X(5, 8, 40)=2$	$Y(5,8)=8$
		10	$X(5, 10, 42)=4$ $X(5, 10, 44)=4$	$Y(5,10)=8$
		12	$X(5, 12, 46)=8$	$Y(5,12)=8$
		15	$X(5, 15, 46)=4$ $X(5, 15, 48)=4$	$Y(5,15)=8$
		16	$X(5, 16, 50)=48$	$Y(5,16)=48$
		19	$X(5, 19, 50)=6$	$Y(5,19)=6$
		21	$X(5, 21, 50)=6$	$Y(5,21)=6$

