



**PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEMEDE GENETİK ALGORİTMA İLE
KRİTİK YOLUN-PROJE TAMAMLANMA ZAMANININ TESPİTİ VE
ZAMAN-MALİYET ANALİZİ**

HAKAN ÖZKÖSE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2014

Hakan ÖZKÖSE tarafından hazırlanan “PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEMEDE GENETİK ALGORİTMA İLE KRİTİK YOLUN - PROJE TAMAMLANMA ZAMANININ TESPİTİ VE ZAMAN-MALİYET ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Cevriye GENCER

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~

Başkan : Doç. Dr. Fırat HARDALAÇ

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~

Üye : Yrd. Doç. Dr. Talip KELLEGÖZ

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~

Tez Savunma Tarihi: 19/09/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Nurettin TOPALOĞLU

Bilişim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

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



Hakan ÖZKÖSE

19.09.2014

PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEMEDE GENETİK ALGORİTMA İLE KRİTİK
YOLUN-PROJE TAMAMLANMA ZAMANININ TESPİTİ VE ZAMAN-MALİYET

ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hakan ÖZKÖSE

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

Eylül 2014

ÖZET

Proje yönetimi içerisinde proje planlama ve çizelgeleme en karmaşık konulardan biridir. Günümüz şartlarındaki rekabet ortamında, faaliyetlerin öncüllük veya ardılık ilişkisine bağlı olarak hazırlanmış şebeke üzerinde kritik yol/yolların, kritik faaliyetlerin ve proje tamamlanma zamanının elde edilmesi proje planlama ve çizelgeleme için önemlidir. Ayrıca proje planlama ve çizelgelemede, zaman maliyet analizi zamandan tasarruf sağlarken maliyeti de en küçük hale getirmeyi hedefleyerek firmalara rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu yüzden, optimizasyon işlemi gerektiren bir konudur ve matematiksel modeli oluşturularak en iyi çözümü bulunabilmektedir. Sezgisel/meta sezgisel algoritmaların ortaya çıkması ile birlikte optimizasyon problemlerinin çözümü daha kolay hale gelmiştir. Tavlama benzetimi, tepe tırmanışı, karınca kolonisi, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi birçok meta sezgisel yaklaşım bulunmaktadır. Bu çalışmada, genetik algoritma kullanılarak şebeke üzerindeki kritik yol/yolları, kritik faaliyetleri ve proje tamamlanma zamanını bulan bir proje planlama ve çizelgeleme programı tasarlanmıştır. Ayrıca tasarlanan bu program sayesinde istenen tamamlanma zamanı için zaman maliyet analizi de yapılabilmektedir. Tasarlanan programın etkinliği örnek problemlerle test edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 1146.1.014

Anahtar Kelimeler : Kritik yol, kritik faaliyet, proje yönetimi, proje tamamlanma zamanı, zaman-maliyet analizi, genetik algoritma

Sayfa Adedi : 132

Danışman : Prof. Dr. Cevriye GENCER

THE EVALUATION OF THE CRITICAL PATH-THE PROJECT COMPLETION TIME
AND TIME-COST ANALYSIS WITH GENETIC ALGORITHM IN PROJECT
PLANNING AND SCHEDULING

(M. Sc. Thesis)

Hakan ÖZKÖSE

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF INFORMATICS

September 2014

ABSTRACT

Project Planning and Project Scheduling are the most sophisticated subjects of Project Management. At today's competitive environment; determining the critical path, critical activities and the completion time of the project expressed as a network having precedence relationships between activities are highly vital for the Project Planning and Scheduling. Besides the time-cost analysis at Project Planning and Scheduling offers a competitive edge to the firms by saving time and minimizing costs. Therefore it requires optimization and the best solution can be found with mathematical model. The solution of optimization problems have become easier with the occurrence of heuristic / meta heuristic algorithms. There are a lot of meta heuristic approaches like simulated annealing, hill climbing, ant colony, artificial neural networks and genetic algorithm. In this study a Project Planning and Scheduling program was designed which uses genetic algorithm to find the critical path, the critical activities and the time of completion on the network. Moreover by means of the program, the time-cost analysis can be performed within the desired completion time. The effectiveness of the program was also compared and tested with any other examples.

Science Code : 1146.1.014

Key Words : Critical path, critical activities, project management, project completion time, time-cost analysis, genetic algorithm

Page Number : 132

Supervisor : Prof. Cevriye GENCER

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Cevriye GENCER'e, ayrıca Bilişim Enstitüsü'nde görevli tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve Hakan KILIÇKAYA'ya, manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. PROJE YÖNETİMİ.....	3
2.1. Proje	3
2.2. Proje Yönetimi	5
2.3. Proje Yönetim Süreçleri.....	6
2.4. Proje Yöneticisi.....	9
3. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME TEKNİKLERİ.....	11
3.1. GANTT Şeması.....	11
3.2. Kritik Yol Metodu - CPM.....	12
3.2.1. CPM hakkında genel bilgi	12
3.2.2. CPM yönteminde kritik yolun bulunması.....	14
3.2.3. Bolluk kavramı ve bollukların hesaplanması.....	22
3.3. Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği-PERT.....	25
3.3.1. PERT hakkında genel bilgi	25
3.3.2. PERT için örnek bir uygulama	27
4. ZAMAN - MALİYET ANALİZİ	33
4.1. Zaman – Maliyet Analizi Hakkında Genel Bilgi	33
4.2. Zaman – Maliyet Analizi Problemlerinin Çözümü.....	35

Sayfa

4.3. Zaman – Maliyet Analizi İle İlgili Örnek Bir Problem Çözümü	36
5. META-SEZGİSEL YÖNTEMLER	41
5.1. Tavlama Benzetimi Algoritması (Simulated Annealing Algorithm)	41
5.2. Karınca Kolonisi Algoritması (Ant Colony Algorithm)	42
5.3. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)	43
5.3.1. Yapay sinir ağındaki katmanlar	44
5.3.2. Yapay sinir ağlarında ağırlıklandırma	46
5.3.3. Yapay sinir ağı mimarileri	46
5.3.4. Yapay sinir ağlarında öğrenme	47
5.4. Genetik Algoritma.....	48
5.4.1. Genetik algoritmanın çalışma prensibi	49
6. ÖNERİLEN PROGRAM VE UYGULAMA	59
6.1. Önerilen Program.....	59
6.2. 25 Faaliyetli Örnek Uygulama.....	62
6.3. 50 Faaliyetli Örnek Uygulama.....	69
6.4. 75 Faaliyetli Örnek Uygulama.....	75
6.5. 100 Faaliyetli Örnek Uygulama.....	82
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	93
EKLER.....	99
EK-1. 25 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması	100
EK-2. 25 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması	101
EK-3. 50 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması	103

Sayfa

EK-5. 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması	109
EK-6. 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması	112
EK-7. 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması	118
EK-8. 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması	122
ÖZGEÇMİŞ	130

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3. 1. Faaliyetlerin oklara atanması ve kritik yolun bulunması örneği	16
Çizelge 3. 2. PERT örneği için faaliyetlerin a, b, m değerleri	28
Çizelge 3. 3. Örnek problemdeki faaliyetlerin beklenen zamanları.....	28
Çizelge 3. 4. Örnek problemdeki faaliyetlerin standart sapma değerleri.....	29
Çizelge 3. 5. Örnek problemdeki faaliyet zamanlarına ilişkin varyans değerleri.....	30
Çizelge 3. 6. Örnek problem için elde edilen tüm değerler	30
Çizelge 4. 1. Zaman-Maliyet analizi zaman ve maliyet değerleri	36
Çizelge 4. 2. Faaliyetlerin eğim değerleri.....	37
Çizelge 4. 3. Örnek problem için ay bazında hızlandırma maliyetleri	38
Çizelge 4. 4. Örnek problem için ay bazında toplam maliyet değerleri	39
Çizelge 5. 1. Rulet tekerleği örneği	57
Çizelge 6. 1. 25 faaliyetli örnek için faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri.....	62
Çizelge 6. 2. 25 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizinde gerekli olan veriler	64
Çizelge 6. 3. 25 faaliyetli örnek için popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanının ve bulunan farklı yol sayısının değişimi.....	65
Çizelge 6. 4. 25 faaliyetli örnek için elde edilen yollardaki kritik faaliyetler, tamamlanma zamanı ve toplam maliyet	66
Çizelge 6. 5. Örnek 1 için tamamlanma zamanları	66
Çizelge 6. 6. Örnek 1. için Lindo programından elde edilen hızlandırma maliyetleri	66
Çizelge 6. 7. Örnek 1. için önerilen programdan elde edilen hızlandırma maliyetleri	67
Çizelge 6. 8. 50 faaliyetli örnek için faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri.....	69
Çizelge 6. 9. 50 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizinde gerekli olan veriler	71
Çizelge 6. 10. 50 faaliyetli örnek için popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanının ve bulunan farklı yol sayısının değişimi.....	73
Çizelge 6. 11. Örnek 2 için tamamlanma zamanları	73
Çizelge 6. 12. Örnek 2. için Lindo programından elde edilen hızlandırma maliyetleri	73
Çizelge 6. 13. Örnek 2. için önerilen programdan elde edilen hızlandırma maliyetleri	74
Çizelge 6. 14. 75 faaliyetli örnek için faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri.....	77
Çizelge 6. 15. 75 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizinde gerekli olan veriler	78

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6. 16. 75 faaliyetli örnek için popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanının ve bulunan farklı yol sayısının değişimi	79
Çizelge 6. 17. Örnek 2 için tamamlanma zamanları	80
Çizelge 6. 18. Örnek 2. için Lindo programından elde edilen hızlandırma maliyetleri	80
Çizelge 6. 19. Örnek 2. için önerilen programdan elde edilen hızlandırma maliyetleri	81
Çizelge 6. 20. 100 faaliyetli örnek için faaliyetlerin öncül ve soncul düğüm bilgileri	82
Çizelge 6. 21. 100 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizinde gerekli olan veriler	84
Çizelge 6. 22. 100 faaliyetli örnek için popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanının ve bulunan farklı yol sayısının değişimi	86
Çizelge 6. 23. Örnek 2 için tamamlanma zamanları	86
Çizelge 6. 24. Örnek 2. için Lindo programından elde edilen hızlandırma maliyetleri	86
Çizelge 6. 25. Örnek 2. için önerilen programdan elde edilen hızlandırma maliyetleri	87
Çizelge 7. 1. Tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin doğrusal model, MS Project 2013 ve önerilen program için karşılaştırması	90
Çizelge 7. 2. Her örnek için istenilen tamamlanma zamanında projeyi bitirmek için hızlandırma maliyetleri	90
Çizelge 7. 3. Zaman-maliyet analizi değerlerinin sapması	91
Çizelge 7. 4. Örneklerde kullanılan genetik algoritma bileşenlerinin değerleri	91

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2. 1. Proje safhaları akış şeması.....	8
Şekil 2. 2. Proje yaşam döngüsü	9
Şekil 3. 1. GANTT şeması örneği.....	12
Şekil 3. 2. Örnek CPM şebekesi	13
Şekil 3. 3. Faaliyetlerin oklara atandığı durum.....	15
Şekil 3. 4. Faaliyetlerin oklara atandığı durum için bir örnek çalışma	17
Şekil 3. 5. Faaliyetlerin düğümlere atandığı durum.....	19
Şekil 3. 6. Faaliyetlerin düğümlere atandığı durum için bir örnek çalışma.....	19
Şekil 3. 7. PERT örneği	27
Şekil 3. 8. Normal dağılım eğrisi	31
Şekil 4. 1. Zaman-maliyet eğrisi	34
Şekil 5. 1. Tavlama Benzetimi algoritmasının akış diyagramı	42
Şekil 5. 2. YSA sinir hücresi.....	44
Şekil 5. 3. Klasik YSA modeli.....	46
Şekil 5. 4. Genetik algoritma akış diyagramı.....	50
Şekil 5. 5. Rulet tekerleği örneği	57
Şekil 6. 1. Önerilen programın kritik yol/yollar sekmesi.....	61
Şekil 6. 2. Önerilen programın zaman-maliyet analizi sekmesi	62
Şekil 6. 3. 25 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı.....	63
Şekil 6. 4. 50 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı.....	70
Şekil 6. 5. 75 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı.....	76
Şekil 6. 6. 100 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı.....	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
t_{ij}	(i, j) faaliyetinin zamanı
E_j	j olayının er erken meydana geliş zamanı
L_j	j olayının er geç meydana geliş zamanı
ES_i	i faaliyeti için en erken başlama zamanı
EF_i	i faaliyeti için en erken bitirme zamanı
LS_i	i faaliyeti için en geç başlama zamanı
LF_i	i faaliyeti için en geç bitirme zamanı
t_i	i faaliyeti süresi
TB	Toplam bolluk
SB	Serbest bolluk
a	İyimser süre
b	Kötümser süre
m	Yaklaşık süre
t^-	Faaliyetin ortalama zamanı
V	Varyans
σ	Standart sapma
μ	Beklenen proje tamamlanma zamanı
Z	Projenin gerçekleşme olasılığı
T_n	Normal zaman
T_h	Hızlandırılmış zaman
M_n	Normal maliyet

Simgeler	Açıklama
M_h	Hızlandırılmış maliyet
S_{ij}	Eğim
T_{ij}	$i-j$ faaliyetinin hızlandırılmış zamanı
t_{ij}	$i-j$ faaliyetinin normal zamanı
X_i	i olayının en erken meydana geliş zamanı ($i=1,2,\dots,n$)
T	istenilen tamamlanma zamanı
M	faaliyetlerin sıkıştırılabileceği süreler

Kısaltmalar	Açıklama
CPM	Critical Path Method
PERT	Program Evaluation and Review Technique
GA	Genetik Algoritma
PMI	Project Management Institute
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
TDK	Türk Dil Kurumu
TBD	Türkiye Bilişim Derneği
YSA	Yapay Sinir Ağları
GA	Genetik Algoritmalar

1. GİRİŞ

Endüstri ve sanayideki çekişme gün geçtikçe artmaktadır. Bu yüzden firmalar kendilerini daha çok öne çıkarabilecek ya da daha fazla kazanç sağlayabilecek durumlara/projelere yönelmektedir. Firmalar alanlarında öne çıkabilmek ve daha fazla kazanç sağlayabilmek amacıyla ortaya koydukları projelerde başarılı olabilmeleri için proje yönetiminden etkin olarak faydalanmaları gerekmektedir. Proje yönetimi içerisinde ise en önemli kısmı proje planlama ve çizelgeleme oluşturmaktadır.

Proje planlama ve çizelgeleme aşağıda belirtildiği gibi firmalara veya kurumlara farklı şekillerde yardımcı olmaktadır.

- İş akışının düzenli bir şekilde yürütülmesini sağlar,
- İş akışındaki faaliyetlerin ayrıntılı bir şekilde görüntülenmesini sağlar,
- Projenin görsel karmaşıklığını ortadan kaldırır,
- Bütçenin kontrol altında tutulmasına yardımcı olur ve benzeri gibi.

Bir projenin ana elemanları zaman, maliyet ve kapsamdır. Zaman, projenin tamamlanma zamanının belirlenmesini; maliyet, projede tanımlanan faaliyetlerin ortaya konulmasında kullanılan kaynakların toplam maliyetinin belirlenmesini ve kapsam, projenin sonucunu tanımlar. Yani, zaman ve kaynak belirli bir kapsam dâhilinde bir araya gelmektedir. Bu durum, kapsam çerçevesinde zaman ve maliyetin birbirini etkileyen iki unsur olduğunu ortaya koymaktadır.

Proje çizelgeleme ile proje tamamlanma zamanı ve proje maliyeti hesaplanmaktadır. Ancak, tamamlanma zamanı, kullanılan kaynak miktarına bağlı olarak zamanda değişikliğe ve maliyette artışa neden olabilir. Bu durumda da zaman-maliyet analizi denilen kavram ortaya çıkmaktadır.

Zaman-maliyet analizi matematiksel model yardımıyla yapılabilmektedir. Ancak, büyük şebekelerde çözüme ulaşmak mümkün olmayabilir veya çok zaman alabilir. Bu durumlarda, sezgisel/meta sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Literatürde, tavlama benzetimi, tepe

tırmanışı, karınca kolonisi, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi birçok meta sezgisel yaklaşım bulunmaktadır.

Bu çalışmada proje çizelgelemede ve zaman-maliyet analizinde, meta sezgisel algoritmalarından genetik algoritma temelli bir program tasarlanmıştır. Genetik algoritma zor ve karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılması, verimli sonuçlar vermesi ve algoritmanın probleme uygulanabilirliğinin yüksek olması nedeni ile tercih edilmiştir. Tasarlanan program ile şebeke üzerinde kritik yol/yollar, kritik faaliyetler, proje tamamlanma zamanı belirlenebilmekte ve istenilen tamamlanma zamanı için zaman-maliyet analizi yapılabilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, proje, proje yönetimi, proje yönetim süreçleri, proje yaşam döngüsü ve proje yürütücüsü; üçüncü bölümünde, proje planlama ve çizelgeleme yöntemleri; dördüncü bölümünde, zaman – maliyet analizi; beşinci bölümünde, meta-sezgisel yöntemler ve genetik algoritmalar; altıncı bölümünde, uygulamalar ve son bölümde, sonuçlar anlatılmıştır.

2. PROJE YÖNETİMİ

Çalışmanın bu bölümünde, proje, proje yönetimi, proje yönetim süreçleri, proje yaşam döngüsü ve proje yürütücüsü hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Proje

Proje kavramının tanımlanmasının, literatürde farklı şekillerde yapıldığı görülmektedir. Bu tanımlardan birkaç tanesi aşağıdadır;

Project Management Institute (PMI) tarafından yayınlanan PMBoK (2009)'e göre proje, “benzersiz bir ürün, hizmet ya da sonuç yaratmak için yürütülen geçici bir girişimdir. Geçici nitelikte olmalarından dolayı projelerin kesin başlangıç ve bitiş tarihleri vardır. Projenin hedeflerine ulaşıldığında ya da hedeflere ulaşılamayacağı veya projeye son verildiğinde bitişe ulaşılmış olur. Geçicilik, her zaman sürenin kısa olduğu anlamına gelmez. Projeye yaratılan ürün, hizmet ya da sonuç için genellikle geçicilik söz konusu değildir; çoğu proje kalıcı bir sonuca ulaşmak amacıyla yürütülür” [1].

Proje Yönetimi Derneği'ne (PYD) göre proje, “özgün ürün ya da hizmet yaratmak üzere ortaya konan geçici bir çabadır” [2].

Türk Dil Kurumu'na (TDK) göre proje, “değişik alanlarda önceden plan ve programa alınmış, maliyeti hesaplanmış, kurum ve kuruluşların yönetim organları tarafından onaylanmış, kısa ve uzun vadeye bağlanarak özel kurum veya devlet adına gerçekleştirilmesi kabul edilmiş bilimsel çalışma tasarısı” [3].

Türkiye Bilişim Derneği'ne (TBD) (1999) göre proje, “öngörülen hedeflere belirli bir süre içerisinde ulaşmak için, insan ve maddi kaynakları planlı bir çalışma içinde bir araya getiren ve kendi içerisinde bir bütünlük taşıyan yatırım ve etkinlikler paketidir” [4].

Gitmez'e (1998) göre bir projede, “insan ve insan dışı kaynaklar, başlangıç ve sonu belirli olan bir amaç için bir organizasyon çerçevesinde bir araya getirilir. Proje sonunda ise bu kaynaklar başka yerlere tahsis edilir” [5].

Kerzner (2009)'e göre proje, "bir dizi aktiviteler ve görevler olarak düşünülebilir" [6]. Buna göre;

- Belirli özellikler içinde tamamlanması için belirgin bir amacı vardır,
- Başlangıç ve bitiş tarihleri bellidir,
- Maliyet limitleri vardır,
- İnsan ve insan dışındaki kaynakları kullanır,
- Çok fonksiyonludur.

Peşkircioğlu (1989)'a göre projenin bir proje olabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler şunlardır [7];

- Önceden belirlenmiş hedef
- Sınırlı kaynaklar
- Belirli süre
- Kısmen yada tamamen yenilik içermesi
- Risk
- Dinamizm
- Disiplinlerarası

Yukarıda ki açıklamalara göre; projenin belli kriterlere uyması gerekmektedir. Bu kriterler şunlardır;

- Bir ürün veya hizmet elde edilmesi gerekir yani ulaşılması gereken bir hedefi vardır,
- Plan ve programa dayalı olması gerekir,
- Belirli bir zaman içinde yapılması gerekir yani belli bir başlangıç ve bitiş tarihi olmalıdır,
- Kendi içerisinde bir bütünlük taşır,
- Maddi ve manevi kaynağa ihtiyaç duyar yani belirli bir maliyeti vardır.

Açıklamalardan da anlaşıldığı gibi projenin bazı ana elemanları bulunmaktadır. Bunlar; zaman, maliyet ve kapsamdır.

Zaman; projenin tamamlanması ne kadar zaman alacak sorusuna cevap verir. Diğer bir ifade ile hizmet veya ürünün gerçekleştiriliş takvimi ortaya konur.

Maliyet; projenin tamamlama maliyetinin ne olacağı sorusuna cevap verir. Yani eldeki kaynakların çalışır bir sisteme dönüştürülmesinin maliyetidir.

Kapsam; proje hangi hedefe ulaşmayı amaçlıyor sorusuna cevap verir. Sponsor veya müşterinin proje sonucunda hangi ürün veya hizmeti elde etmek amacıyla olduğu belirlenir.

2.2. Proje Yönetimi

Proje yönetimi literatürde farklı şekillerde açıklanmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır;

PMI (2009)'a göre proje yönetimi; “bilgilerin, becerilerin, araçların ve tekniklerin, projenin gereksinimlerini yerine getirmek amacıyla proje aktivitelerine uygulanmasıdır” [1].

PYD'e göre proje yönetimi; “Projeye dâhil olanların projeye yönelik gereksinim ya da beklentilerini karşılamak ya da bunların üzerine çıkma için bilgi, beceri, araç ve tekniklerin proje etkinliklerine uygulanmasıdır” [2].

TBD (1999)'e göre proje yönetimi; “projenin yürütülmesi için gereken kaynakların ve harcanması gereken çabaların planlanması, yönlendirilmesi ve denetlenmesidir” [4].

Peşkircioğlu (1989)'a göre proje yönetimi; “proje olarak tanımlanan işlerin, bu tanımdaki zaman, performans ve kaynak kriterleri ile kısıtları uyarınca önceden belirlenmiş olan hedefe ulaşmak için sürdürülen planlama, organizasyon, yönetim, kaynakların tahsisi ve kullanımı, uygulama, izleme, kontrol ve değerlendirme faaliyetlerinin bir bütünüdür” [7].

Çimen (1994)'e göre proje yönetimi, “ulaşılacak istenen belli bir sonucu elde etmek için kullanılan maddi ve beşeri kaynakların ortak faaliyetlerini planlama, örgütleme, yürütme ve denetleme çalışmalarıdır. Projelerin başarılı bir şekilde yürütülmesi için uygun teknoloji kullanımı ve gerekli kaynakların tahsisinden başka, etkin ve başarılı bir proje yönetiminin de gerçekleştirilmesi gerekmektedir” [8].

Harold KERZNER proje başarısını zaman, maliyet ve performans sınırlamaları içinde projeyi tamamlamak olarak tanımlamıştır [9]. Bu kısıtlar, proje yönetiminin en önemli karakteristiklerini gösterir. Maddeler halinde bu kısıtlar sıralanacak olursa;

1. Eldeki kaynaklarla (maliyet),
2. Belirlenen zamanda (zaman),
3. Belirlenen kriter ve yapıda projeyi tamamlamak (kapsam).

Başarılı bir proje yönetimi; maliyet, zaman ve kapsam kısıtları ile belirlenen hedeflere ulaşılması ve proje finansörünün veya müşterinin memnuniyeti ile ölçülür.

2.3. Proje Yönetim Süreçleri

Proje yönetiminde izlenmesi gereken bazı adımlar bulunmaktadır. Bu adımlara proje yönetim süreçleri adı verilmiştir. Çoğu kaynağa göre bu adımlar şunlardır;

- Başlangıç,
- Planlama,
- Yürütme,
- Kontrol,
- Bitirme.

Proje yönetim süreçleri literatürde farklı kaynaklarda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Bu kaynaklardan bazıları şunlardır;

PMI (2009)'e göre proje yönetim süreçleri şunlardır; başlangıç, planlama, yürütme, izleme ve kontrol etme ve kapanış [1].

Kerzner (2009) bu 5 adım'ı ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Buna göre [6];

Proje Başlangıcı;

- Verilen kaynak kısıtlarına göre en iyi projenin seçimi,

- Projenin faydalarının bilinmesi,
- Projenin yaptırımı için belgelerin hazırlanması,
- Proje yöneticisinin atanması.

Projenin Planlanması;

- Çalışma şartlarının belirlenmesi,
- İş kalitesinin ve miktarının belirlenmesi,
- Gerekli olan kaynakların belirlenmesi,
- Aktivitelerin planlanması,
- Çeşitli risklerin değerlendirilmesi.

Projenin Yürütülmesi;

- Projedeki çalışma üyeleri ile görüşme,
- İşi yönlendirme ve yönetme,
- Takım üyeleri ile birlikte çalışma.

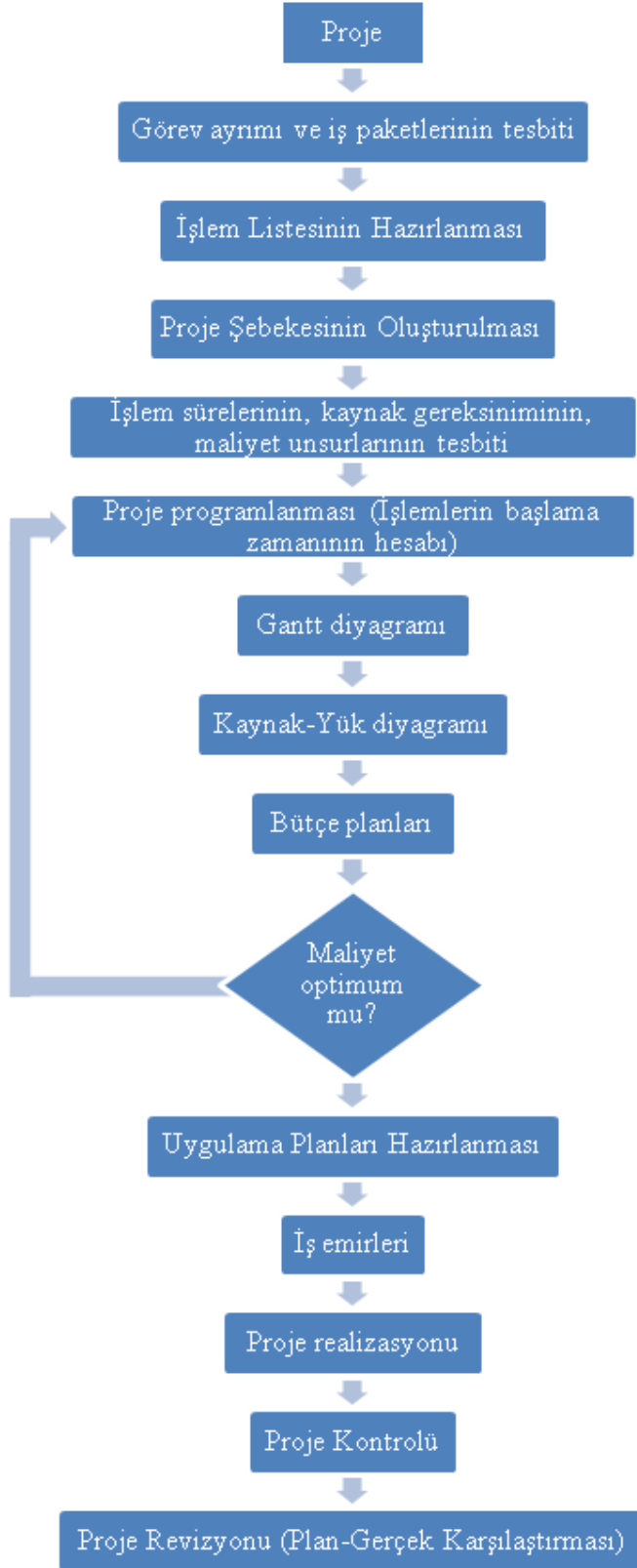
Projenin İzlenmesi ve Kontrolü;

- İşlemleri izleme,
- Tahmin edilen gider ile gerçek gideri karşılaştırma,
- Değişiklikleri (varyansları) ve etkilerini analiz etme,
- Düzeltmeleri yapma.

Projenin Bitişi;

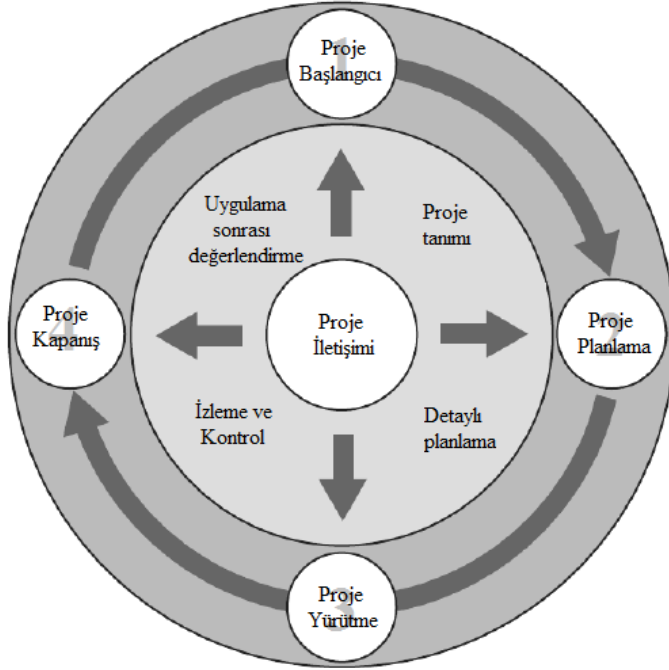
- Tüm işin başarıldığının doğrulanması,
- Sözleşme akdinin kapatılması,
- Mali tablonun kapatılması,
- Evrak işlerinin idari olarak kapatılması.

Ulukan (1992) bir proje akış şeması oluşturmuştur. Bu akış şeması Şekil 2.1’de verilmiştir [10].



Şekil 2. 1. Proje safhaları akış şeması

Westland (2006)'a göre proje yaşam döngüsü 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar şunlardır; proje başlangıcı, proje planlama, proje yürütme ve projenin kapanışıdır. Westland proje yaşam döngüsünü Şekil 2.2'de ki gibi göstermiştir [11].



Şekil 2. 2. Proje yaşam döngüsü [11]

2.4. Proje Yöneticisi

Literatürde proje yöneticisi hakkında birçok tanım bulunmaktadır. Bunlardan biri de PMI tarafından yapılan tanımdır.

PMI (2009)'a göre proje yöneticisi; projeyi yürüten organizasyonun, proje hedeflerine ulaşma görevini verdikleri kişilerdir. Bu, önemli sorumluluklar ve değişen öncelikler içeren, oldukça güç ve önemli bir roldür. Esneklik, muhakeme yeteneği, güçlü liderlik ve proje yönetimi uygulamalarını çok iyi bilmeyi gerektirir. Bir proje yöneticisi, projenin başarısından sorumlu kişi olarak, projenin tüm yönlerinden sorumludur. Bunlardan bazıları şunlardır [1];

- Proje yönetimi planını ve tüm bağlantılı bileşen planlarını geliştirmek,
- Projenin zaman çizelgesi ve bütçe sınırları içerisinde ilerlemesini sağlamak,

- Riskleri saptamak, izlemek ve gerekenleri yapmak,
- Proje ölçütlerinin tam ve zamanında bildirilmesini sağlamak.

3. PROJE PLANLAMA VE ÇİZELGELEME TEKNİKLERİ

Bu bölümde, proje planlama ve çizelgeme tekniklerinin temelini oluşturan GANTT Şeması, CPM ve PERT hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. GANTT Şeması

GANTT şeması, Henry GANTT tarafından tasarlanmıştır. Amacı, iş yönetiminde planlamayı sağlamak için grafiksel olarak faaliyetlerin gösterilmesidir. GANTT şeması için literatürde kullanılan bazı tanımlar aşağıda verilmiştir.

Henry L. GANTT tarafından geliştirilen ve onun adını taşıyan bu diyagram basitliğine rağmen modern üretim yönetiminin önemli öncü buluşlarından biri sayılmaktadır. Günümüzde mekanik ve elektronik gereçlerin yardımı ile çok daha verimli programlama araçları geliştirilmiştir. Fakat GANTT diyagramı, basit ve kullanışlı olması nedeni ile küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin programcıları için önemli bir araç olma niteliğini hala sürdürmektedir [12].

GANTT diyagramı, planlamada ve proje gelişimini izlemede iyi bir araçtır. Bu diyagram, başlangıçta belirlenen amaçlara ulaşmaya hizmet eder. GANTT diyagramı sütun boyutunda görev listesini; satır boyutunda ise belirlenen zamanı gösterir. Diyagram, kolayca proje gelişimini görmeyi sağladığı gibi, düşünülen eylemleri de hatırlatır. Ayrıca, kaynak kullanımının ve proje üzerindeki gecikmelerin etkisini gösterir. GANTT diyagramı, proje aktörleri arasındaki haberleşmeyi de kolaylaştırır [13].

GANTT şemalarının anlaşılması ve hazırlanması kolaydır. Bu şemalar herhangi bir zamanda hangi aktivitenin gerçekleştirilmesi gerektiğini, daha da önemlisi projenin ilerleyişini günlük olarak gösterebilir ve böylelikle gerektiğinde düzeltici önlemlerin alınabilmesini sağlar [14]. Bu diyagramda planlanmış işin adımını oluşturan faaliyetler, süreyle doğru orantılı olarak yatay şerit ile gösterilirler. İşlem sırası yukarıdan aşağıya, zaman akışı soldan sağa doğrudur [15].

Şekil 3.1’de örnek bir GANTT şeması görülmektedir. Bu şekilde faaliyetler, faaliyet süreleri ve faaliyetlerin başlangıç ve bitiş işlem tarihleri görülmektedir.

Faaliyetler	Faaliyet Süreleri								
Faaliyet 6	3 ay								
Faaliyet 5	5 ay								
Faaliyet 4	4 ay								
Faaliyet 3	6 ay								
Faaliyet 2	2 ay								
Faaliyet 1	4 ay								
İşlem Tarihleri		01.06.2013	01.07.2013	01.08.2013	01.09.2013	01.10.2013	01.11.2013	01.12.2013	01.01.2014

Şekil 3. 1. GANTT şeması örneği

3.2. Kritik Yol Metodu - CPM

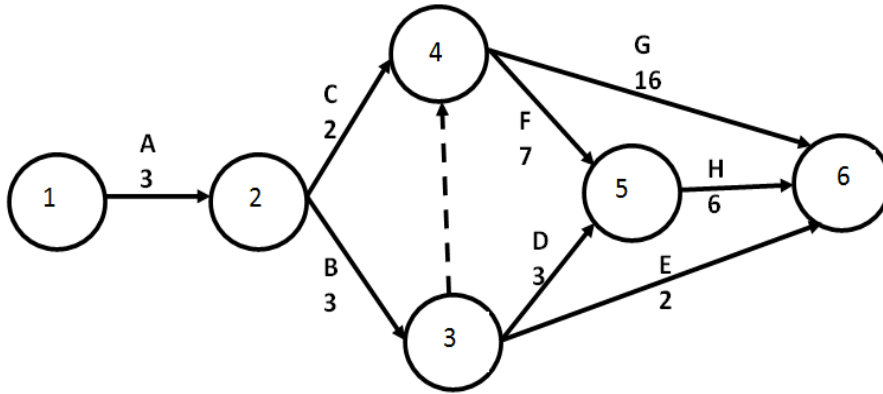
3.2.1. CPM hakkında genel bilgi

CPM; **Critical Path Method**’un ilk harflerinden oluşur. Literatürde bu yöntem ile ilgili farklı kaynaklarda farklı açıklamalar mevcuttur. Aşağıda CPM hakkında bilgiler yer almaktadır.

Kritik yol metodu 1950’lerin sonlarına doğru kimya devi DuPont şirketi tarafından geliştirilmiş, büyük üretimlerin ve projelerin yapılmasında kullanılmıştır. İlk kez de çok büyük bir sentetik elyaf fabrikası yapımı projesinde uygulanmıştır. Proje, ümit edilen zamandan çok daha önce tamamlanmış ve firma imalata başlayıp piyasaya mal sevk edebilme olanağı ile büyük karlar elde etmiştir [16].

1959’da CPM yöntemi, Dr. Mauchly tarafından basitleştirilerek, endüstri projelerine uygulanabilir hale getirilmiştir. Bu arada bilgisayar teknolojisi de hayli ilerlemiş ve buna paralel olarak CPM-PERT yöntemleriyle büyük ve uzun vadeli yatırımların kapasite dengelemesi, maliyet kontrolü vb. işlerin yapılması mümkün olmuştur [17].

Şekil 3.2’de örnek CPM şebekesi verilmiştir.



Şekil 3. 2. Örnek CPM şebekesi [18]

CPM belli adımlardan oluşur. Bu adımlar şunlardır [18];

- Faaliyetlerin belirlenmesi,
- Faaliyet takip sıralarının belirlenmesi,
- Proje şebekesinin çizilmesi,
- Faaliyet zamanlarının belirlenmesi,
- Kritik yolun belirlenmesi,
- Proje tamamlanma zamanının belirlenmesi.

Faaliyetlerin belirlenmesinde; ilk olarak projede kullanılacak ya da yapılacak olan işler belirlenir. Bu projeyi oluşturmanın ilk aşamasıdır. Faaliyetler birleşerek proje oluşturacağından faaliyetlerin belirlenmesi projenin tasarlanmasında başlangıç aşaması olarak kabul edilir.

Şebekenin hazırlanmasında, faaliyetlerin öncül veya ardıl ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Öncül; faaliyetin kendisinden önce gelecek olan faaliyetlerin; ardıl ise faaliyetin kendisinden sonra gelecek olan faaliyetlerin belirlenmesidir.

Faaliyet zamanlarının belirlenmesi diğer önemli faktörlerden biridir. Bu aşamada, faaliyetlerin bitirileceği zamanlar belirlenir. Çeşitli faaliyet zamanı belirleme yöntemleri vardır.

Kritik yolun belirlenmesi CPM yönteminin amacıdır. Kritik yol, tamamlanma zamanında hangi faaliyetlerin etkin rol oynadığını gösterir. Kritik yol, şebekedeki en uzun yolun

bulunması ile gerçekleştirilir. Bu yol üzerindeki herhangi bir aksaklık ya da işteki gecikme tamamlanma zamanının uzamasına neden olmaktadır. Bu nedenle kritik ifadesi kullanılmaktadır.

Proje tamamlanma zamanı, kritik yol uzunluğuna eşittir. Kritik yoldaki faaliyetlerin toplam zamanı proje tamamlanma zamanını vermektedir. Proje tamamlanma zamanı düşürülmek isteniyorsa kritik yoldaki faaliyetlerin hızlandırılması gerekmektedir.

3.2.2. CPM yönteminde kritik yolun bulunması

CPM yönteminde kritik yolun bulunması hazırlanan şebekenin özelliğine göre iki farklı şekilde yapılmaktadır:

1. Faaliyetlerin oklara atandığı durumda şebeke,
2. Faaliyetlerin düğümlere atandığı durumda şebeke.

Şebeke oluşturulmasında adımlar:

- Faaliyetler belirlenir.
- Faaliyetler kesin tanımlanabilir olmalıdır.
- Her hangi bir faaliyet başladıktan sonra kesintiye uğramaksızın bitene kadar sürdürülür.
- Her faaliyetin öncül veya ardıl faaliyetleri belirlenir.
- Faaliyetlerin süreleri belirlenir.

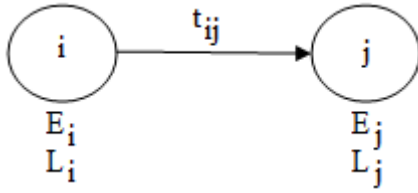
Kukla (gölge) faaliyetler; zamanı ve maliyeti sıfır olan faaliyetlerdir. Şebeke içerisinde aynı faaliyetin birden fazla gösterilmesi gerekirse; bu durumda ikinci ve daha sonraki gösterimlerde kukla faaliyet kullanılır.

Faaliyetlerin oklara atandığı durum [18]:

$t_{ij} = (i, j)$ faaliyetinin zamanı,

$E_j = j$ olayının en erken meydana geliş zamanı,

$L_j = j$ olayının en geç meydana geliş zamanı.



Şekil 3. 3. Faaliyetlerin oklara atandığı durum

E_j değerlerini hesaplayan algoritma;

1. $E_1=0$ ile başla,
2. Her faaliyeti öncül olayı meydana gelir gelmez başlat,
3. En erken meydana geliş zamanını, o olayı oluşturan faaliyetlerin en geç bitenin bitiş zamanı olarak sapt,
4. Son düğüme kadar devam et.

L_j değerlerini hesaplayan algoritma;

1. n son düğüm olmak üzere, $L_n = E_n$ ile başla,
2. Her faaliyeti ardıl olay düğümlerinin en geç meydana geliş zamanından faaliyet süresi çıkartıldığında elde edilen zamanda başlat,
3. En geç bitiş zamanı o olaydan kaynaklanan faaliyetlerin en küçük başlama zamanı olarak sapt,
4. İlk düğüme kadar devam et.

Bu tür şebekelerde proje tamamlanma zamanı aşağıda verilen matematiksel model yardımıyla da bulunabilir:

$$\text{Min } z = X_j \quad (3.1)$$

Kısıtlar;

$$X_j \geq X_i + t_{ij} \quad \forall (i, j) \quad (3.2)$$

$$X_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.3)$$

Burada;

t_{ij} = i-j faaliyetinin normal zamanı

X_j = j olayının en erken meydana geliş zamanı ($j=1,2,\dots,n$)

Modelde amaç fonksiyonu (3.1) projenin tamamlanma zamanını; (3.2) numaralı kısıt j olayının en erken meydana geliş zamanını ve (3.3) numaralı kısıt işaret kısıtlarını tanımlamaktadır.

Matematiksel model ile projenin tamamlanma zamanı hesaplanır. Kritik yol ve faaliyetler ise bağlayıcı kısıtlar (binding) yardımıyla elde edilir.

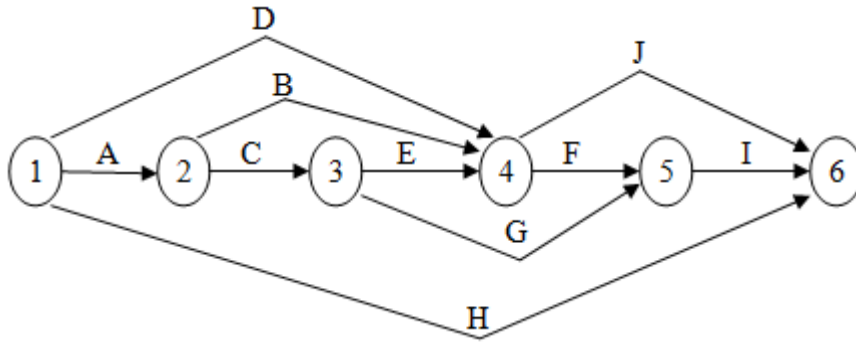
Örnek 1. Faaliyetlerin oklara atanması ve kritik yolun bulunması

Faaliyetlerin oklara atanması ve kritik yolun bulunması ile ilgili örnek aşağıda ayrıntılı bir şekilde çözülmüştür. Çizelge 3.1’de, faaliyetlerin oklara atanması ve kritik yolun bulunması örneği için faaliyet isimleri, öncül faaliyetler ve işlem süresi ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 3. 1. Faaliyetlerin oklara atanması ve kritik yolun bulunması örneği

Faaliyet	Öncül Faaliyetler	İşlem Süresi
A	-	3
B	A	5
C	A	4
D	-	6
E	C	7
F	B,D,E	5
G	C	2
H	-	9
I	F,G,H	6
J	B,D,E	4

Faaliyetin oklara atanması sonucu oluşan proje diyagramı Şekil 3.4.'de verilmiştir;



Şekil 3. 4. Faaliyetlerin oklara atandığı durum için bir örnek çalışma

Kritik yolun bulunması;

$$E_1 = 0 \quad = 0$$

$$E_2 = E_1 + t_{12} \quad = 3$$

$$E_3 = E_2 + t_{23} \quad = 7$$

$$E_4 = \max \{ E_1 + t_{14}, E_2 + t_{24}, E_3 + t_{34} \} \quad = 14$$

$$E_5 = \max \{ E_3 + t_{35}, E_4 + t_{45} \} \quad = 19$$

$$E_6 = \max \{ E_1 + t_{16}, E_4 + t_{46}, E_5 + t_{56} \} \quad = 25$$

$$L_6 = E_6 \quad = 25$$

$$L_5 = L_6 - t_{56} \quad = 19$$

$$L_4 = \min \{ L_5 - t_{45}, L_6 - t_{46} \} \quad = 14$$

$$L_3 = \min \{ L_4 - t_{34}, L_5 - t_{35} \} \quad = 7$$

$$L_2 = \min \{ L_3 - t_{23}, L_4 - t_{24} \} \quad = 3$$

$$L_1 = \min \{ L_2 - t_{12}, L_4 - t_{14}, L_6 - t_{16} \} \quad = 0$$

$$E_1 = 0 \quad = \quad L_1 = 0$$

$$E_2 = 3 \quad = \quad L_2 = 3$$

$$E_3 = 7 \quad = \quad L_3 = 7$$

$$E_4 = 14 \quad = \quad L_4 = 14$$

$$E_5 = 19 \quad = \quad L_5 = 19$$

$$E_6 = 25 \quad = \quad L_6 = 25$$

Kritik Yol : 1-2-3-4-5-6

Kritik Faaliyetler : A-C-E-F-I

Proje Tamamlanma Zamanı : 25

Örnek uygulamanın matematiksel modeli aşağıdadır;

Min $X_6 - X_1$

ST

$$X_2 - X_1 \geq 3$$

$$X_3 - X_2 \geq 4$$

$$X_4 - X_1 \geq 6$$

$$X_4 - X_2 \geq 5$$

$$X_4 - X_3 \geq 7$$

$$X_5 - X_3 \geq 2$$

$$X_5 - X_4 \geq 5$$

$$X_6 - X_1 \geq 9$$

$$X_6 - X_4 \geq 4$$

$$X_6 - X_5 \geq 6$$

$$X_1 = 0$$

$$X_2 \geq 0$$

$$X_3 \geq 0$$

$$X_4 \geq 0$$

$$X_5 \geq 0$$

$$X_6 \geq 0$$

END

Matematiksel model'in Lindo 6.1 kullanılarak elde edilen çözümüne göre proje tamamlanma zamanı 25'dir. Kritik yol 1-2-3-4-5-6; Kritik Faaliyetler A-C-E-F-I'dir.

Faaliyetlerin düğümlere atandığı durum:

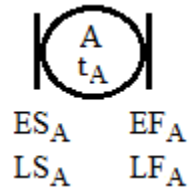
ES_i = i faaliyeti için en erken başlama zamanı,

EF_i = i faaliyeti için en erken bitirme zamanı,

LS_i = i faaliyeti için en geç başlama zamanı,

LF_i = i faaliyeti için en geç bitirme zamanı.

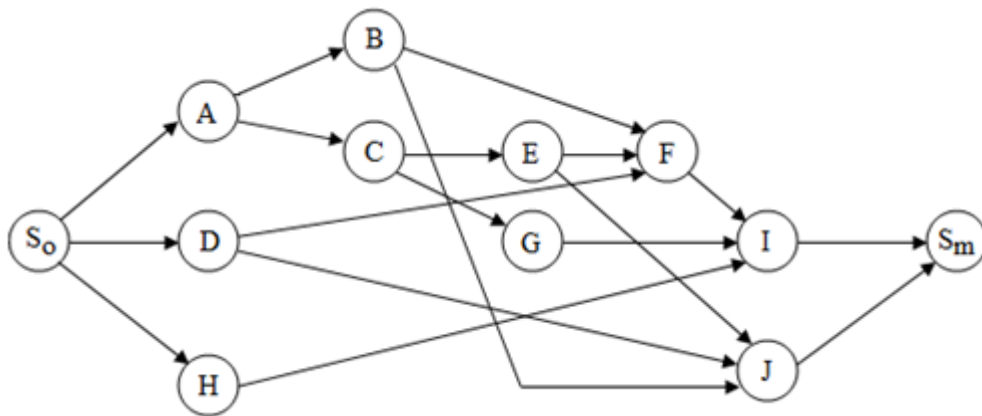
t_i = i faaliyeti süresi.



Şekil 3. 5. Faaliyetlerin düğümlere atandığı durum

Örnek 2. Faaliyetlerin düğümlere atanması ve kritik yolun bulunması

Faaliyetlerin düğümlere atanması ve kritik yolun bulunması ile ilgili örnek için Çizelge 3.1 kullanılmıştır. Örneğin ayrıntılı çözümü aşağıdadır.



Şekil 3. 6. Faaliyetlerin düğümlere atandığı durum için bir örnek çalışma

$$\begin{aligned}
ES_A &= 0 \\
EF_A = ES_A + t_A &= 3 \\
ES_B = EF_A &= 3 \\
EF_B = ES_B + t_B &= 8 \\
ES_C = EF_A &= 3 \\
EF_C = ES_C + t_C &= 7 \\
ES_D &= 0 \\
EF_D = ES_D + t_D &= 6 \\
ES_E = EF_C &= 7 \\
EF_E = ES_E + t_E &= 14 \\
ES_F = \max \{EF_B, EF_D, EF_E\} &= 14 \\
EF_F = ES_F + t_F &= 19 \\
ES_G = EF_C &= 7 \\
EF_G = ES_G + t_G &= 9 \\
ES_H &= 0 \\
EF_H = ES_H + t_H &= 9 \\
ES_I = \max \{EF_F, EF_G, EF_H\} &= 19 \\
EF_I = ES_I + t_I &= 25 \\
ES_J = \max \{EF_E, EF_G, EF_H\} &= 14 \\
EF_J = ES_J + t_J &= 18 \\
\\
LF_J &= 25 \\
LS_J = LF_J - t_J &= 21 \\
LF_I &= 25 \\
LS_I = LF_I - t_I &= 19 \\
LF_H &= 25 \\
LS_H = LF_H - t_H &= 16
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
LF_G &= LS_I && = 19 \\
LS_G &= LF_G - t_G && = 17 \\
LF_F &= LS_I && = 19 \\
LS_F &= LF_F - t_F && = 14 \\
LF_E &= \min\{LS_F, LS_J\} && = 14 \\
LS_E &= LF_E - t_E && = 7 \\
LF_D &= \min\{LS_F, LS_J\} && = 14 \\
LS_D &= LF_D - t_D && = 8 \\
LF_C &= \min\{LS_E, LS_G\} && = 7 \\
LS_C &= LF_C - t_C && = 3 \\
LF_B &= \min\{LS_F, LS_J\} && = 14 \\
LS_B &= LF_B - t_B && = 9 \\
LF_A &= \min\{LS_B, LS_C\} && = 3 \\
LS_A &= LF_A - t_A && = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
EF_A = 3 &= LF_A = 3 \\
EF_B = 8 &\neq LF_B = 14 \\
EF_C = 7 &= LF_C = 7 \\
EF_D = 6 &\neq LF_D = 14 \\
EF_E = 14 &= LF_E = 14 \\
EF_F = 19 &= LF_F = 19 \\
EF_G = 9 &\neq LF_G = 19 \\
EF_H = 9 &\neq LF_H = 25 \\
EF_I = 25 &= LF_I = 25 \\
EF_J = 18 &\neq LF_J = 25
\end{aligned}$$

Kritik Faaliyetler : A-C-E-F-I

Proje Tamamlanma Zamanı : 25

3.2.3. Bolluk kavramı ve bollukların hesaplanması

Kritik yol üzerinde olmayan bütün faaliyetlerin belirli bir serbest payı vardır. Buna faaliyetlerin serbest süreleri veya gecikme zamanları veya bollukları denir.

Bollukların kullanıldığı yerlere ilişkin bazı örnekler aşağıdadır [19];

- İşlemlerin kritik olup olmadığının ve esnekliğinin hesaplanmasında,
- Malzeme, ekipman v.b. kaynakların en etkin biçimde kullanılmalarının sağlanmasında,
- Optimum yatırım süresinin hesaplanmasında,
- İşlem sürelerinin değiştirilmesinde, ekip büyüklüğü ya da ekip sayısının değiştirilmesinde kullanılır.

Bolluklar ikiye ayrılır;

- Toplam Bolluk
- Serbest Bolluk

Toplam bolluk; proje tamamlanma zamanı gecikmeksizin bir faaliyetin ertelenebileceği süredir.

Serbest bolluk; bir faaliyetin ardıl faaliyetinin başlama zamanını bozmaksızın ertelenebileceği süredir.

Bollukların bazı özellikleri vardır. Bu özellikler şunlardır;

- Bolluklar negatif değer alamazlar.
- Kritik faaliyetlerin bollukları sıfırdır.
- Toplam bollukta sadece kritik faaliyetler sıfır iken; serbest bolluk da başka faaliyetlerde sıfır değer alabilirler. Bu özellik, yeni bir kritik yol tanımını beraberinde getirir. Kritik yol toplam bolluğu sıfır olan faaliyetlerin oluşturduğu yoldur.

Faaliyetlerin oklara atandığı durum için toplam bolluğun ve serbest bolluğun bulunması:

$TB_{ij} = (i-j)$ faaliyetinin toplam bolluğu

$SB_{ij} = (i-j)$ faaliyetinin serbest bolluğu

Tanımlarına göre toplam bolluk ve serbest bolluk aşağıdaki şekilde formüle edilir;

$$TB_{ij} = L_j - E_i - t_{ij}$$

$$SB_{ij} = E_j - E_i - t_{ij}$$

Örnek 3. Faaliyetlerin oklara atandığı durum için toplam bolluğun ve serbest bolluğun bulunması ile ilgili örnek.

Faaliyetlerin oklara atanması durumu örneğinden (Örnek 1) yararlanılarak toplam bolluk ve serbest bolluk için örnek bir çözüm yapılacaktır.

$$TB_{12} = L_2 - E_1 - t_{12} = 0$$

$$SB_{12} = E_2 - E_1 - t_{12} = 0$$

$$TB_{14} = L_4 - E_1 - t_{14} = 8$$

$$SB_{14} = E_4 - E_1 - t_{14} = 8$$

$$TB_{16} = L_6 - E_1 - t_{16} = 16$$

$$SB_{16} = E_6 - E_1 - t_{16} = 16$$

$$TB_{23} = L_3 - E_2 - t_{23} = 0$$

$$SB_{23} = E_3 - E_2 - t_{23} = 0$$

$$TB_{24} = L_4 - E_2 - t_{24} = 6$$

$$SB_{24} = E_4 - E_2 - t_{24} = 6$$

$$TB_{34} = L_4 - E_3 - t_{34} = 0$$

$$SB_{34} = E_4 - E_3 - t_{34} = 0$$

$$TB_{35} = L_5 - E_3 - t_{35} = 10$$

$$SB_{35} = E_5 - E_3 - t_{35} = 10$$

$$TB_{45} = L_5 - E_4 - t_{45} = 0$$

$$SB_{45} = E_5 - E_4 - t_{45} = 0$$

$$TB_{46} = L_6 - E_4 - t_{46} = 7$$

$$SB_{46} = E_6 - E_4 - t_{46} = 7$$

$$TB_{56} = L_6 - E_5 - t_{56} = 0$$

$$SB_{56} = E_6 - E_5 - t_{56} = 0$$

Faaliyetlerin düğümlere atandığı durum için toplam bolluğun ve serbest bolluğun bulunması:

$TB_i = i$ faaliyetinin toplam bolluğu

$SB_i = i$ faaliyetinin serbest bolluğu

$S_i = i$ düğümünün ardıl faaliyetler kümesi

Tanımlarına göre toplam bolluk ve serbest bolluk aşağıdaki şekilde formüle edilir;

$$TB_i = LS_i - ES_i = LF_i - EF_i$$

$$SB_i = \min_{x \in S_i} \{ES_x - EF_i\}$$

Örnek 4. Faaliyetlerin düğümlere atandığı durum için toplam bolluğun ve serbest bolluğun bulunması ile ilgili örnek.

Faaliyetlerin düğümlere atanması durumu örneğinden (Örnek 2) yararlanılarak toplam bolluk ve serbest bolluk için örnek bir çözüm yapılacaktır.

$$TB_A = LF_A - EF_A = 0$$

$$TB_B = LF_B - EF_B = 6$$

$$TB_C = LF_C - EF_C = 0$$

$$TB_D = LF_D - EF_D = 8$$

$$TB_E = LF_E - EF_E = 0$$

$$TB_F = LF_F - EF_F = 0$$

$$TB_G = LF_G - EF_G = 16$$

$$TB_H = LF_H - EF_H = 10$$

$$TB_I = LF_I - EF_I = 0$$

$$TB_J = LF_J - EF_J = 7$$

$$SB_A = \min \{ ES_B - EF_A, ES_C - EF_A \} = 0$$

$$SB_B = \min \{ ES_F - EF_B, ES_J - EF_B \} = 6$$

$$SB_C = \min \{ ES_E - EF_C, ES_G - EF_C \} = 0$$

$$SB_D = \min \{ ES_F - EF_D, ES_J - EF_D \} = 8$$

$$SB_E = \min \{ ES_F - EF_E, ES_J - EF_E \} = 0$$

$$SB_F = ES_I - EF_F = 0$$

$$SB_G = ES_I - EF_G = 16$$

$$\begin{aligned}
SB_H &= ES_I - EF_H &&= 10 \\
SB_I &= ES_m - EF_I &&= 0 \\
SB_J &= ES_m - EF_J &&= 7 \\
ES_m &= 25
\end{aligned}$$

3.3. Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği-PERT

3.3.1. PERT hakkında genel bilgi

PERT, *Project Evaluation and Review Technique*'in ilk harflerinden adını almaktadır. Proje Geliştirme ve Revizyon Tekniği veya Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği olarak Türkçeleştirilmiştir.

PERT ve CPM büyük ölçekli, karmaşık projelerin planlanması, şekilsel gösterimi ve kontrolüne yardımcı olmak üzere 1950'lerden sonra geliştirilmişlerdir. Amerikan Deniz Kuvvetleri, Polaris adlı silah sistemini geliştirirken muazzam bir eşgüdümleme problemi ile karşılaşmıştır. Bu sebepten, 11.000 müteahhidin işlemlerini eşgüdümlmek ve projenin yapılmasını sağlamak için PERT adı verilen bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, programda ileri sürülen değişiklikleri değerlendirmek ve bütün tamamlama süresinde meydana gelecek gecikmeleri en etkili şekilde önlemek için kullanılır [20].

PERT'in tarihsel gelişimi incelendiğinde, Gantt şemalarının PERT'e temel teşkil ettiği görülmektedir. Ancak Gantt şeması, yapılacak işin safhaları arasındaki ilişkiyi bir dereceye kadar gösterdiğinden, bir takım eksiklikleri olan bir yöntemdir [21]. Bu nedenle PERT'e Gantt şemasının daha gelişmiş bir biçimi de denilebilir [22].

CPM ile PERT arasındaki temel fark faaliyet sürelerinin tahminindedir. CPM'de kullanılan zaman değerleri kesinlik içerir ve bu nedenle tek bir zaman birimi ile ifade edilir. Faaliyet sürelerinin kesin olarak bilinmediği projelerde ise PERT tercih edilir. PERT'de olasılıklı zaman sürelerinin kullanılması söz konusudur ve her faaliyet için üç zaman tanımlanır. Bu süreler; iyimser (a), kötümser (b) ve muhtemel (m) sürelerdir. PERT'in amacı, her faaliyetin ortalamasını ve varyansını ve tüm projenin de olasılık dağılımını bulmaktır. Bu konuda elde

edilen bilgiler, projenin fizibilitesini değerlendirmede kullanılan, yönetim planlama bilgisini sağlar [23-24].

İyimser süre:

Projede planlanan her şey yolunda gittiği durumda, bir faaliyeti tamamlayabilmek için düşünölen en kısa süredir. Bir faaliyeti, en iyimser süreden daha kısa sürede tamamlama ihtimalinin %1'den büyük olmadığı varsayımına dayanmaktadır [25].

Kötümser süre:

Bir faaliyeti tamamlayabilmek için düşünölen en uzun süredir. Kötümser tahmin, faaliyette bütün muhtemel gecikmelerin ve aksaklıkların bulunduğu bir ortamı varsayar. Kısacası bu süre, proje için gerekli bütün şartların kötü gitmesi halinde projenin bitirilebileceği süredir ve uygulamada gerçekleşme ihtimali yüzde bir olarak kabul edilmiştir [25].

Muhtemel süre:

Projeye alakalı planlanan her şeyin normal şartlar altında gerçekleştiği durumda ve ilgili faaliyetin uygulama süreci ile alakalı geçmiş deneyimler ışığında tahmin edilen, faaliyetin tamamlanabileceği en olası (muhtemel) süredir [25].

PERT'de kritik yolun bulunması:

Faaliyet süreleri üç farklı zamandan tek zamana indirgenir. Faaliyet zamanları tek zamana indirgindikten sonra CPM de olduğu gibi ilk düğümden son düğüme her düğümün E_i ve L_i değerleri hesaplanır. Kritik yol ve kritik faaliyetler bulunur.

a : iyimser süre

b : kötümser süre

m : muhtemel süre

Faaliyetin tek zamana indirgenmesi (faaliyet beklenen zamanı);

$$t^- = (a + 4m + b)/6 \quad (3.1)$$

Faaliyetin standart sapmasının hesaplanması;

$$\sigma = (b - a)/6 \quad (3.2)$$

Faaliyetin varyansının hesaplanması;

$$V = \sigma^2 \quad (3.3)$$

Projenin belirli zamanda bitirilme olasılığının hesaplanması;

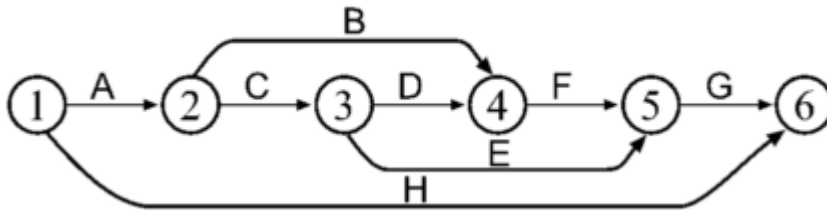
Pert, belirlenen kritik yolun merkezi limit teoremine göre normal dağıldığını varsayar. Beklenen proje süresi (tamamlanma zamanı) (μ) ve Varyans (V)'nin bilindiği ve bitmesi istenen hedef tamamlanma zamanı T'nin tanımlandığı zamanda projenin bitme olasılığı hesaplanabilir.

$$Z = (T - \mu)/\sqrt{V} \quad (3.4)$$

Burada Z, standart normal dağılıma sahiptir.

3.3.2. PERT için örnek bir uygulama

Şekil 3.7'de ve Çizelge 3.2'de verilen bilgilere göre projenin tamamlanma zamanının hesaplanması aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 3. 7. PERT örneği

Çizelge 3.2’de faaliyetler için en iyimser süre (a), en kötümser süre (b) ve yaklaşık süre (m) değerleri verilmiştir. Çizelge 3.3’de faaliyetlerin beklenen zamanları görülmektedir.

Çizelge 3. 2. PERT örneği için faaliyetlerin a, b, m değerleri

Faaliyet	a	b	m
A	12	16	14
B	9	17	14
C	6	8	7
D	14	21	16
E	18	22	20
F	9	12	10
G	11	16	14
H	25	32	27

Faaliyetlerin tek zaman indirgenmesi;

$(a + 4m + b)/6$ formülünden yararlanılarak faaliyetlerin beklenen zamanları hesaplanacaktır.

$$A \text{ faaliyeti için; } (12 + 4 * 14 + 16)/6 = 14$$

$$B \text{ faaliyeti için; } (9 + 4 * 14 + 17)/6 = 13,66$$

$$C \text{ faaliyeti için; } (6 + 4 * 7 + 8)/6 = 7$$

$$D \text{ faaliyeti için; } (14 + 4 * 16 + 21)/6 = 16,5$$

$$E \text{ faaliyeti için; } (18 + 4 * 20 + 22)/6 = 20$$

$$F \text{ faaliyeti için; } (9 + 4 * 10 + 12)/6 = 10,16$$

$$G \text{ faaliyeti için; } (11 + 4 * 14 + 16)/6 = 13,83$$

$$H \text{ faaliyeti için; } (25 + 4 * 27 + 32)/6 = 27,5$$

Çizelge 3. 3. Örnek problemdeki faaliyetlerin beklenen zamanları

Faaliyet	t^-
A	14
B	13,66
C	7
D	16,5
E	20
F	10,16
G	13,83
H	27,5

Faaliyet zamanlarının standart sapmasının hesaplanması:

$\sigma = (b - a)/6$ formülünden yararlanılarak faaliyet zamanlarının standart sapmaları hesaplanacaktır.

A faaliyeti için; $(16 - 12)/6$	= 0,66
B faaliyeti için; $(17 - 9)/6$	= 1,33
C faaliyeti için; $(8 - 6)/6$	= 0,33
D faaliyeti için; $(21 - 14)/6$	= 1,16
E faaliyeti için; $(22 - 18)/6$	= 0,66
F faaliyeti için; $(12 - 9)/6$	= 0,50
G faaliyeti için; $(16 - 11)/6$	= 0,83
H faaliyeti için; $(32 - 25)/6$	= 1,16

Çizelge 3.4’de faaliyetler için hesaplanmış olan standart sapma değerleri yer almaktadır.

Çizelge 3. 4. Örnek problemdeki faaliyetlerin standart sapma değerleri

Faaliyet	σ
A	0,66
B	1,33
C	0,33
D	1,16
E	0,66
F	0,50
G	0,83
H	1,16

Faaliyet zamanlarının varyanslarının hesaplanması;

$V = \sigma^2$ formülünden yararlanılarak faaliyetlerin zamanlarının varyansları hesaplanacaktır.

A faaliyeti için; $0,66^2$	= 0,43
B faaliyeti için; $1,33^2$	= 1,76
C faaliyeti için; $0,33^2$	= 0,19
D faaliyeti için; $1,16^2$	= 1,34

$$E \text{ faaliyeti için; } 0,66^2 = 0,43$$

$$F \text{ faaliyeti için; } 0,50^2 = 0,25$$

$$G \text{ faaliyeti için; } 0,83^2 = 0,68$$

$$H \text{ faaliyeti için; } 1,16^2 = 1,34$$

Çizelge 3.5’de faaliyetler için hesaplanmış olan varyans değerleri yer almaktadır.

Çizelge 3. 5. Örnek problemdeki faaliyet zamanlarına ilişkin varyans değerleri

Faaliyet	V
A	0,43
B	1,76
C	0,19
D	1,34
E	0,43
F	0,25
G	0,68
H	1,34

Çizelge 3. 6. Örnek problem için elde edilen tüm değerler

Faaliyet	a	b	m	t^-	σ	V
A	12	16	14	14	0,66	0,43
B	9	17	14	13,66	1,33	1,76
C	6	8	7	7	0,33	0,19
D	14	21	16	16,5	1,16	1,34
E	18	22	20	20	0,66	0,43
F	9	12	10	10,16	0,50	0,25
G	11	16	14	13,83	0,83	0,68
H	25	32	27	27,5	1,16	1,34

Kritik yolun bulunması ve projenin tamamlanması için öngörülen zamanın hesaplanması:

CMP’de olduğu gibi hesaplamalar yapılır. Bu durumda kritik yol ve kritik faaliyetler;

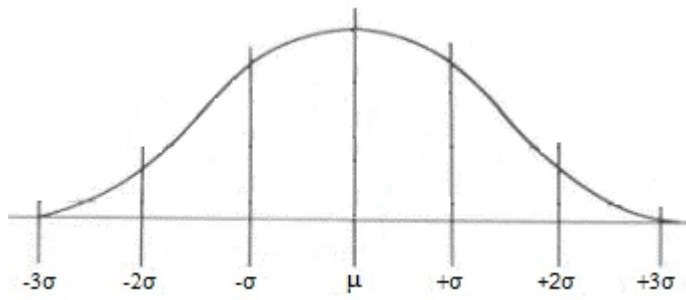
A-C-D-F-G yani 1-2-3-4-5-6 olarak elde edilmiştir.

Projenin tamamlanma zamanı ise; $A+C+D+F+G = 14+7+16,5+10,16+13,83 = 61,5$ olarak hesaplanmıştır.

Projenin belirli zamanda bitirilme olasılığının hesaplanması;

Projenin belirli zamanda bitirilme olasılığını hesaplamak için ilk olarak kritik yolun ve projenin tamamlanması için öngörülen zamanının hesaplanması gerekmektedir. Bu zaman hesaplandıktan sonra projenin belirlenen bir zaman dilimi için bitirilebilme ihtimali hesaplanacaktır.

Her bir faaliyet için tanımlanan a, b ve m sürelerinin beta dağılımından geldiği varsayılmaktadır. Dolayısıyla bu sürelerin toplamı merkezi limit teoreminde normal dağılımlı bir rassal değişkendir. Merkezi limit teoremine göre kritik yol üzerinde bulunan faaliyetlerin sürelerinin toplamı tamamlanma zamanının beklenen değerini; varyanslarının toplamı beklenen varyans değerini vermektedir ve kritik yolun uzunluğu normal dağılımdır.



Şekil 3. 8. Normal dağılım eğrisi

Şekil 3.8'den de görüldüğü gibi normal dağılımın beklenen değeri simetrik olduğu için bulunan proje tamamlanma zamanı %50 olasılıkla proje tamamlanma zamanıdır. Dolayısıyla bu durum farklı tamamlanma zamanı olasılıklarının hesaplanmasını beraberinde getirmektedir.

Örnekte %50 olasılıkla proje 61.5 günde tamamlanmaktadır. Projenin 63 günde bitirilme olasılığının hesaplanmasına ilişkin işlemler.

Projenin 63 günde bitirilme olasılığı;

$$\mu = 61,5;$$

$$V = V_A + V_C + V_D + V_F + V_G = 0,43 + 0,19 + 1,34 + 0,25 + 0,68 = 2,89$$

$$T = 63;$$

$$Z = \frac{T - \mu}{\sqrt{V}} = \frac{63 - 61,5}{\sqrt{2,89}} = 0,8823$$

$Z = 0,8823$ değeri normal dağılım tablosundan bakılarak $P(Z) = 0,81$ olarak elde edilmiştir.

Projen 63 günde %81 olasılıkla tamamlanacaktır.

4. ZAMAN - MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde, zaman – maliyet analizi hakkında bilgiler verilmektedir.

4.1. Zaman – Maliyet Analizi Hakkında Genel Bilgi

Zaman-Maliyet analizi, kaynak dengeleme ile birlikte proje yönetiminin önemli konularından biridir. Amacı, hem zamanı hem de maliyeti istenilen seviyelere çekmektir.

Projenin başlangıcından sonlandırılmasına kadar geçen sürede yapılmış olan tüm harcamalara proje maliyeti denir. Başka bir deyişle, projenin ilk evresinden başlayarak son evresine kadar yapılan masrafların tamamıdır. Bu masraflara proje aşamasındaki tüm giderler dâhildir.

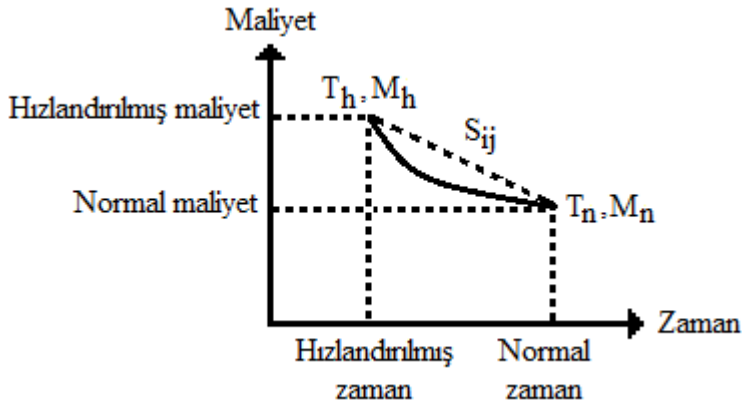
Proje zamanı, projenin başlangıcından bitişine kadar geçen süredir. Projedeki tüm evreler bu zamana dâhil edilmek zorunda değildir. Kritik faaliyetler projenin tamamlanma zamanı üzerinde etkin rol oynarlar.

Proje zamanı proje maliyetini etkileyebilirken aynı şekilde proje maliyeti de proje zamanını etkileyebilmektedir. Eğer, sadece zamanın indirgenmesi isteniyorsa kullanılacak kaynak miktarının artırılması nedeni ile maliyet artışı söz konusu olacaktır. Bu durum maliyet ile zaman arasında ters yönlü bir ilişki olduğunu ortaya koyar. Fakat bazı projelerde faaliyet maliyetlerinin yanında sabit maliyetlerde tanımlanmaktadır. Bu durumda, zaman indirgenirken maliyet artışı olmakla birlikte, zaman indirgenmesi nedeni ile sabit maliyette düşüş olması nedeniyle toplam maliyette artış veya düşüş gözlemlenebilmektedir.

Bir projede zaman-maliyet analizinin yapılabilmesi için her faaliyetin iki farklı zamanı tanımlanmalıdır. Bunlar; normal zaman ve hızlandırılmış/sıkıştırılmış zaman olarak ifade edilmektedir. Normal zaman, bir faaliyetin normal şartlar altında uygun zamanda tamamlanmasıdır. Hızlandırılmış/sıkıştırılmış zaman ise, bir faaliyetin kaynak miktarının artırılmasıyla elde edilmiş zamanda tamamlanmasıdır. Hızlandırılmış zamanın elde edilmesi fazla mesailer, arttırılan primler, ikramiyeler ve kiralanan araç-gereçlerle mümkündür.

Her faaliyet için iki zaman tanımlandığı gibi bu zamanlara karşılık gelen iki farklı maliyette de tanımlanmalıdır. Bunlar; normal maliyet ve hızlandırılmış/sıkıştırılmış maliyet olarak ifade edilmektedir. Faaliyetlerde normal zaman için normal maliyetler; hızlandırılmış/sıkıştırılmış zaman için hızlandırılmış/sıkıştırılmış maliyetler kullanılır.

Aynı faaliyet için tanımlanan normal - hızlandırılmış zaman ve normal – hızlandırılmış maliyet arasında aşağıda görüldüğü gibi bir ilişki söz konusudur.



Şekil 4. 1. Zaman-maliyet eğrisi

Grafikte kullanılan simgelerin anlamları aşağıdadır:

T_n : Normal zaman,

T_h : Hızlandırılmış zaman,

M_n : Normal maliyet,

M_h : Hızlandırılmış maliyet

S_{ij} : Eğim

Şekil 4.1.'de zaman-maliyet eğrisi zamanın maliyetlerle ilişkisini ve farklı zamanlarda ki maliyet değerlerini vermektedir [18].

Grafikten de görüldüğü gibi $T_h \leq T_n$ ve $M_h \geq M_n$ 'dir. (T_n, M_n) ve (T_h, M_h) noktaları arasında farklı zaman ve maliyetler söz konusudur. Bu zaman aralığında, faaliyet süresindeki herhangi bir azalış maliyeti arttırırken zamandaki artış maliyeti azaltmaktadır. Bu değişimin

doğrusal olduğu varsayılır ve bu doğruya eğim denir (Grafikte kesikli çizgi ile gösterilmektedir). Eğim, ilgili faaliyetin bir zaman birimi arttırma veya azaltmanın maliyeti olarak tanımlanır. Aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$S_{ij} = \frac{(M_h - M_n)}{(T_n - T_h)} \quad (4.1.)$$

Projenin zaman-maliyet analizi bakımından farklı hedefleri tanımlanabilir. Bu hedeflerin bir kısmı şunlardır;

- İstenilen tamamlanma zamanı için maliyetin hesaplanması,
- En kısa proje tamamlanma zamanının ve maliyetinin hesaplanması,
- İstenilen maliyet değerlerine göre zamanın hesaplanması,
- Sabit maliyetin olduğu durumlarda en uygun tamamlanma zamanı ve maliyetin hesaplanması.

Bu çalışmada sadece istenilen zamanı için maliyetin hesaplanması incelenmiştir.

4.2. Zaman – Maliyet Analizi Problemlerinin Çözümü

Bir projede zaman-maliyet analiz matematiksel model yardımıyla en iyi şekilde hesaplanabilir. Matematiksel modelin genel gösterimi aşağıdadır;

$$\text{Min } z = \sum S_{ij} * M_{ij} \quad (4.2)$$

Kısıtlar;

$$X_j \geq X_i + t_{ij} - M_{ij} \quad \gamma (i, j) \quad (4.3)$$

$$M_{ij} \leq t_{ij} - T_{ij} \quad \gamma (i, j) \quad (4.4)$$

$$X_n \leq T \quad (4.5)$$

$$M_{ij}, X_j \geq 0 \quad (4.6)$$

Burada;

S_{ij} = i-j faaliyetinin eğimi

T_{ij} = i-j faaliyetinin hızlandırılmış zamanı

t_{ij} = i-j faaliyetinin normal zamanı

X_i = i olayının en erken meydana geliş zamanı ($i=1,2,\dots,n$)

T = istenilen tamamlanma zamanı

M_{ij} = her faaliyetlerin sıkıştırılabileceği süreler

Modelde amaç fonksiyonu (4.2) istenilen T tamamlanma zamanı için gerekli olan hızlandırılmış/sıkılaştırılmış maliyeti göstermektedir. (4.3) numaralı kısıt j olayının en erken tamamlanma zamanını; (4.4) numaralı kısıt (i-j) faaliyetinin en fazla hızlandırılabilen/sıkılaştırılabilen süreyi; (4.5) numaralı kısıt n olayının istenilen T tamamlanma zamanında bitirilmesini ve (4.6) numaralı kısıt işaret kısıtlarını tanımlamaktadır.

4.3. Zaman – Maliyet Analizi İle İlgili Örnek Bir Problem Çözümü

Çizelge 4.1'de faaliyetlerin öncül bilgileri ve zaman-maliyet analizi yapılabilmesi için gerekli olan veriler yer almaktadır.

Çizelge 4. 1. Zaman-Maliyet analizi zaman ve maliyet değerleri

Faaliyet	Öncül	T_n	T_h	M_n	M_h
A	-	3	2	900	1800
B	-	2	1	1100	2200
C	A	5	2	500	2000
D	B	4	2	2000	4000
E	B	5	1	2500	5300
F	C,D	4	1	3000	6600
G	E,C	6	2	2400	4800

Proje'nin tamamlanma zamanı 14 ay ve proje tamamlanma maliyeti 12400 TL'dir. Proje 14 aydan daha erken zamanda bitirilmek istenebilir. Bu durumda yoğun kaynak kullanımı

nedeni ile maliyet artışı söz konusu olacaktır. Bu artış miktarındaki değişimler farklı tamamlanma zamanları için aşağıda incelenmiştir.

Formül 4.1'e göre eğimler aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanır:

$$S_A = \frac{(M_h - M_n)}{(T_n - T_h)} = \frac{(1800 - 900)}{(3 - 2)} = 900$$

$$S_B = \frac{(2200 - 1100)}{(2 - 1)} = 1100$$

$$S_C = \frac{(2000 - 500)}{(5 - 2)} = 500$$

$$S_D = \frac{(4000 - 2000)}{(4 - 2)} = 1000$$

$$S_E = \frac{(5300 - 2500)}{(5 - 1)} = 700$$

$$S_F = \frac{(6600 - 3000)}{(4 - 1)} = 1200$$

$$S_G = \frac{(4800 - 2400)}{(6 - 2)} = 600$$

Hesaplanan eğim değerleri Çizelge 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4. 2. Faaliyetlerin eğim değerleri

Faaliyet	T_n	T_h	M_n	M_h	S_{ij}
A	3	2	900	1800	900
B	2	1	1100	2200	1100
C	5	2	500	2000	500
D	4	2	2000	4000	1000
E	5	1	2500	5300	700
F	4	1	3000	6600	1200
G	6	2	2400	4800	600

Tamamlanma zamanı 10 ile 14 ay arası için hazırlanan matematiksel model aşağıdadır:

$$\text{Min } 900A + 1100B + 500C + 1000D + 700E + 1200F + 600G$$

ST

$$X2 + A - X1 \geq 3$$

$$X3 + B - X1 \geq 2$$

$$X4 + C - X2 \geq 5$$

$$X4 + D - X3 \geq 4$$

$$X5 + E - X3 \geq 5$$

$$X5 - X4 \geq 0$$

$$X6 + F - X4 \geq 4$$

$$X6 + G - X5 \geq 6$$

$$A \leq 1$$

$$B \leq 1$$

$$C \leq 3$$

$$D \leq 2$$

$$E \leq 4$$

$$F \leq 3$$

$$G \leq 4$$

$$X6 = i \text{ (} i = 10 \text{ to } 14\text{)}$$

$$X1, X2, X3, X4, X5 \geq 0$$

$$A, B, C, D, E, F \geq 0$$

END

Matematiksel modelin Lindo 6.1. paket programı sonucu elde edilen çözümleri Çizelge 4.3 gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3. Örnek problem için ay bazında hızlandırma maliyetleri

	14 Ay	13 Ay	12 Ay	11 Ay	10 Ay
Hızlandırma maliyetleri	0 TL	500 TL	1100 TL	1700 TL	2800 TL

Çizelge 4.3. incelendiğinde projenin tamamlanma zamanı 14 ay olması nedeniyle hızlandırma yapılmadığı için hızlandırma maliyetinin 0 TL olduğu görülmektedir. Projenin bir ay hızlandırılması (Projenin 13 ayda tamamlanması) için 500 TL; 2 ay hızlandırılması (Projenin 12 ayda tamamlanması) için 1100 TL; 3 ay hızlandırılması (Projenin 11 ayda

tamamlanması) için 1700 TL ve 4 ay hızlandırılması (Projenin 10 ayda tamamlanması) için 2800 TL ekstra harcama yapılması gerekmektedir.

Bir projenin istenilen T tamamlanma zamanında tamamlanma maliyeti; normal zamanda tamamlanma maliyetlerine hızlandırma maliyetlerinin eklenmesiyle elde edilir. Örnek için elde edilen toplam maliyetler Çizelge 4.4. 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4. Örnek problem için ay bazında toplam maliyet değerleri

	14 Ay	13 Ay	12 Ay	11 Ay	10 Ay
Toplam maliyet	12400 TL	12900 TL	13500 TL	14100 TL	15200 TL

5. META-SEZGİSEL YÖNTEMLER

Bu bölümde, Meta-Sezgisel yöntemlerden tavlama benzetimi, karınca kolonisi ve yapay sinir ağları hakkında bilgi verilip; genetik algoritma ayrıntılı incelenecektir.

5.1. Tavlama Benzetimi Algoritması (Simulated Annealing Algorithm)

1983 yılında Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi tarafından önerilen Tavlama benzetimi rastgelelik tabanlı çalışan arama tekniklerinden bir tanesidir. Optimizasyon problemlerinde sıkça kullanılan tekniklerden biri olan tavlama benzetimi; yüksek ısıdan düşük ısıya doğru yavaş yavaş ısının azaltılması ile kristalleşmeyi yani fiziksel tavlama sürecini taklit eden stokastik arama yöntemidir. Her sıcaklık değerinde belirlenmiş olan deneme sayısı kadar arama işlemi yapar.

Tavlama benzetimine başlanmadan önce bazı kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Başlangıç sıcaklığı
- Soğutmanın her adımda ne kadar olacağı ve her soğutma aşamasındaki tekrar sayısı
- Durdurma koşulu

Başlangıç sıcaklığı:

Başlangıç sıcaklığı çözüm elde etme aşaması boyunca kullanılan en yüksek sıcaklıktır. Sıcaklığın yüksek olmasının en önemli nedeni, kötü çözümlerin kabul edilmesi olasılığının yüksek olmasını sağlamaktır. Başlangıç sıcaklığının yüksek seçilmesinin en önemli nedeni, çözüm havuzundaki olası çözümlerin sayısını yüksek tutmaktır.

Soğutma işlemi:

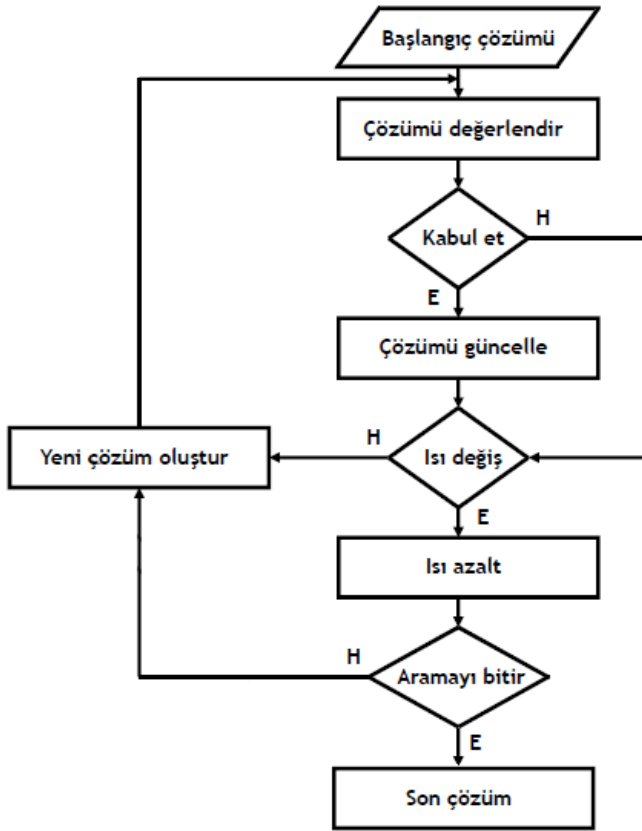
Soğutma işlemi başlangıç sıcaklığından aşağı doğru yapılarak hedef değere ulaşılması şeklindedir. Soğutmanın her adımda ne kadar olacağına karar verilmesi gerekir. Ayrıca, her

sıcaklık kademesinde kaç kere sonuç elde edileceği de (markov zinciri uzunluğu) bu aşamada belirlenir.

Durdurma koşulu:

Belirlenen sıcaklık değerine gelindiği zaman döngünün tamamlanmasıdır bu değer genelde 0 olarak alınır ya da önceden belirlenmiş uygun bir değerden daha iyi sonuç bulunduğu durdurma işlemi yapılır.

Algoritmanın akış diyagramı Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 1. Tavlama Benzetimi algoritmasının akış diyagramı [26]

5.2. Karınca Kolonisi Algoritması (Ant Colony Algorithm)

1992 yılında Marco Dorigo tarafından önerilen Karınca Kolonisi Algoritması, karıncaların davranışlarının gözlemlenmesi sonucu ortaya çıkan stokastik optimizasyon algoritmalarından bir tanesidir. Karıncaların buldukları yiyecekleri yuvalarına en kısa

mesafeden taşımalarından esinlenen bu algoritma popülasyon tabanlı algoritmalarından bir tanesidir.

Karıncalar yiyecek ile yuvaları arasında feromen adı verilen bir kalıntı bırakırlar. Yol üzerindeki feromen maddesinin yoğunluğu karıncanın o yolu tercih etmesinde en önemli faktörlerden birisidir. Feromen maddesi ne kadar yoğunsa, yolun tercih edilme ihtimali de o kadar fazladır. Karıncaların sergilediği bu davranış Karınca Kolonisi algoritmasında taklit edilmiştir.

Karınca kolonisi algoritmasında sadece feromen maddeye göre en kısa yolun bulunması doğru değildir. Eğer sadece feromen maddeye göre en kısa yol bulunursa olası sonuçlardan bir tanesi bulunur. Buna alt optimal sonuç adı verilir. Bu yüzden farklı yollarında denenmesi gerekmektedir. Bu yüzden algoritma esnasında rastgelelik ön plana çıkmaktadır. Rastgelelik sayesinde alt optimal sonuçtan kurtulularak optimal sonuca ulaşılabilir.

Feromen madde yol boyunca kalıcı değildir. Belirli bir süre sonunda buharlaşma yüzünden feromen madde seviyesinde azalma görülecektir. Bu da algoritmanın daha verimli çalışmasını sağlar. Eskiden çok kullanılan fakat şuan kullanılmayan yolda ki feromen madde miktarında buharlaşma sayesinde azalma görülecektir. Bu sayede eski yolu kullanan karınca sayısında azalma görülecek ve yeni yolun veya yolların tercih edilme olasılığı artacaktır.

5.3. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

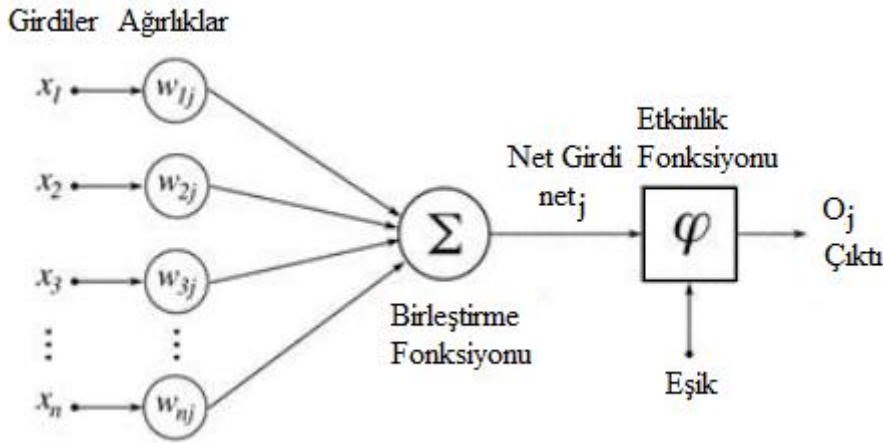
1949 yılında Hebb beynin nasıl öğrendiği üzerine yaptığı araştırmalar sayesinde Yapay Sinir Ağlarının (YSA) mimarı olarak bilinmektedir.

YSA, beynin çalışma ilkelerinin bilgisayarlar üzerinde taklit edilmesi fikrinden ortaya çıkmıştır. Alandaki ilk çalışmalar beyni oluşturan “biyolojik sinir hücrelerinin (nöron)” matematiksel olarak modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların ortaya çıkardığı bulgular, her bir nöronun komşu nöronlardan bazı bilgiler aldığı ve bu bilgilerin biyolojik nöron dinamiğinin öngördüğü biçimde bir çıktıya dönüştürüldüğü şeklinde idi [27].

YSA'lar karşılaştığımız çeşitli problemlerde, beynin matematiksel gücünü, matematiksel işleyişini bilgisayarlara kazandırmaya, bu güçten faydalandırmaya ve modellemeye çalışır. YSA öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme, örüntü tanıma, optimizasyon vb. konularda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bir YSA yapısının çözebileceği problem uzayı, insan beyninin çözebileceği problem uzayının oldukça kısıtlanmış bir alt kümesidir [28].

Genel olarak bir YSA, ağırlıklandırılmış bağlantılarla birbirine bağlı çok sayıda basit bilgi işlem biriminden meydana gelmektedir. Benzetme yapılacak olursa, bilgi işlem birimleri beyindeki nöronlara benzetilebilir. Her bir bilgi işlem birimi birçok başka birimden girdileri alır ve bir çıktı oluşturur. Çıktı ağıdaki diğer birimlere girdi olacak şekilde dağıtılır [29].

Genel bir YSA sinir hücresi Şekil 5.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5. 2. YSA sinir hücresi [30]

5.3.1. Yapay sinir ağındaki katmanlar

YSA, 3 katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar şunlardır;

- Girdi Katmanı
- Gizli Katman
- Çıkış Katmanı

Girdi katmanı:

Giriş verilerinin alındığı katmandır. Bu katmanda veriler üzerinde hata yapılmaz. Bunun nedeni gelen verilere müdahale edilmemesidir. Bu katmandaki veriler ağırlıklandırma işlemiyle birlikte gizli katmana yönlendirilirler.

Gizli katman:

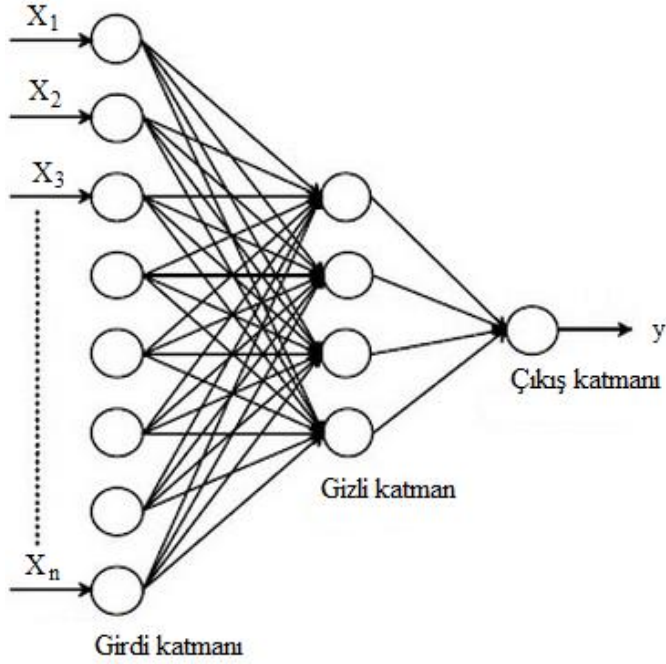
Ağırlıklandırılmış giriş verilerinin işlendiği katmandır. YSA'ların doğrusal olmamasını sağlayan katmandır. Bunun nedeni de kullanılan fonksiyonunun doğrusal olmamasıdır. Veriler fonksiyon ile işlendikten sonra çıkış katmanına yönlendirilir.

Gizli katman miktarı probleme göre değişiklik göstermektedir. Gizli katmanda gereğinden az sayıda nöron kullanılması giriş verilerine göre daha az hassas çıkış elde edilmesine sebep olur. Aynı şekilde, gereğinden daha çok sayıda nöron kullanılması durumunda aynı ağda yeni tip veri gruplarının işlenmesinde zorluklar ortaya çıkar [28]. Bu yüzden probleme göre uygun sayıda katman sayısı belirlenmelidir.

Çıkış katmanı:

Çıkış değerlerinin elde edildiği katmandır. Bu katmanda işlenen veriler sonuç değerleridir. Çıkış sayısına bağlı olarak kullanılan nöron sayısı da değişiklik göstermektedir. Örneğin; 3 adet çıkış elde edilecekse 3 tane nöron kullanılmalıdır.

Şekil 5.3'de klasik bir YSA modeli görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere YSA 3 katmandan oluşmaktadır. Şekilde görülen YSA modelinin n adet giriş katmanı, 4 adet gizli katman ve 1 adet çıkış katmanı bulunmaktadır.



Şekil 5. 3. Klasik YSA modeli [31]

5.3.2. Yapay sinir ağlarında ağırlıklandırma

Katmanlar arasında her bir bağlantı için ağırlık değeri bulunmaktadır. Sıklıkla 0 ve 1'den oluşan giriş değerleri bu ağırlık değerleri sayesinde daha anlamlı hale gelmiş olur. Hangi giriş değerinin sistemi ne kadar etkileyeceğini belirlemede kullanılırlar. Yukarıdan da anlaşılacağı üzere, ağırlıklar sistemi doğrudan etkileyerek performansın değişmesini sağlarlar. İyi bir ağırlıklandırma ile sistemin çözümü en iyiye doğru yaklaşır.

Ağırlıklandırma işleminden sonra veriler birleştirme fonksiyonu ile işlenirler. Birleştirme fonksiyonu, her bir girdi değerinin ağırlık değeriyle çarpılması ve elde edilen bu değerlerin toplamıdır. Buna girdilerin ağırlıklı toplamı da diyebiliriz.

5.3.3. Yapay sinir ağı mimarileri

Farklı bağlantı türleri, ağırlık farklı davranışlar göstermesine neden olur. Yapay sinir ağlarında ileri yönelimli ve geri yönelimli olmak üzere iki temel mimari söz konusudur. İleri yönelimli ağlar, örüntü tanıma, fonksiyon kestirme, tahmin gibi uygulama alanlarında kullanılırken, geri yönelimli ağlar ise daha çok optimizasyon ve kümeleme problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır [32].

İleri Yönelimli Ağlar:

Ağ yönü sadece girdilerden çıktılara doğrudur. Çıktılardan girdilere doğru herhangi bir ağ hareketi yoktur. Bu yüzden ismine İleri Yönelimli Ağlar adı verilmiştir. Girdilerdeki bilgilerin çıktılara iletilmesi işlemi yapan ağ modelidir ve belleksiz ağlar olarak da bilinirler. Yapay sinir ağlarında kullanılan ileri yönelimli ağlardan bazıları şunlardır;

- Basit Algılayıcı
- Çok Katmanlı Algılayıcılar
- Dairesel Tabanlı Ağlar

Geri Yönelimli Ağlar:

Geri yönelimli ağlar ileri yönelimli ağlara göre daha kullanışlı ve dinamik olan ağlardır. Girdilere doğru olan geri beslemeler sayesinde sistemdeki verilerin değiştirilmesini mümkün kılar. Bu sayede çıktılarda değişikliğe gidilerek daha verimli sonuçların alınması sağlanır. En uygun sonuç alınıncaya kadar geri yapılan işlemler tekrarlanır. Bu yüzden, geri yönelimli ağların eğitimi daha zordur. Yapay sinir ağlarında kullanılan geri yönelimli ağlardan bazıları şunlardır;

- Yarışmacı ağlar
- SOM
- Hopfield ağları
- Art Modelleri

5.3.4. Yapay sinir ağlarında öğrenme

Yapay sinir ağlarında öğrenme, ağın verilen bir girdiye karşılık beklenen çıktıyı oluşturacak şekilde ağırlıkların ayarlanması sürecidir. Girdiler ile çıktılar arasındaki fonksiyonel ilişki bilinmediğinden birçok fonksiyonu uygulayabilecek kadar esnek bir ağ ile başlanır ve bu ağ üzerinde eldeki veriye uyacak şekilde ayarlamalar yapılır. Bu, genellikle bir optimizasyon işlemi eşliğinde devam eden tekrarlamalı (iteratif) bir süreçtir. Ağ mükemmel bir şekilde

eğitilmediği sürece, gerekleŒen ile beklenen sonuçlar arasında farklar olacaktır. Amaç, verilen bir veri kümesi üzerinde toplam hatayı en aza indirecek ağı oluŒturacaktır [30].

Yapay sinir ağlarında 3 farklı öğrenme stratejisi kullanılmaktadır. Bunlar;

- Denetimli ğrenme (ğretmenli ğrenme)
- Denetimsiz ğrenme (ğretmensiz ğrenme)
- Destekleyici ğrenme (Takviyeli ğrenme)

5.4. Genetik Algoritma

Michigan niversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland genetik algoritma üzerine ilk alıŒmaları yapan kiŒidir [33]. Holland'ın alıŒmaları 1970'li yıllara dayanmaktadır. Holland, 1975 yılında yayınlamıŒ olduğu "Machine Learning" isimli kitabında Genetik Algoritma zerine yapmıŒ olduğu alıŒmaların sonuçlarını yayınlamıŒtır. Fakat yapmıŒ olduğu alıŒmalar fazla ilgi grmemiŒtir. Daha sonra, Genetik Algoritma (GA) alıŒmaları Holland'ın ğrencisi ve inŒaat mühendisi olan David E. Goldberg tarafından doktora tezinde kullanılmıŒtır. Goldberg yaptığı bu alıŒma ile ödül almıŒ ve Genetik Algoritmalara olan ilgiyi arttırmıŒtır. Goldberg, 1989 yılında alanında klasik olan kitabını yayınlayarak Genetik Algoritmalara olan ilgiyi üst düzeye çıkarmayı baŒarmıŒtır.

Genetik algoritma, popülasyon tabanlı alıŒan sezgisel algoritmalardan bir tanesidir. Darwin'in evrim teorisinden esinlenen genetik algoritma, birçok olası çözüm arasından en iyi çözümü bulmaya veya yakınsamaya alıŒmaktadır.

Goldberg'e göre; GA'lar rastgele araŒtırma tekniklerinin bir formu olup seçilen karakterler olasılık süreci ile birleŒtirilir. GA'lar rastsal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya alıŒan, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir [33,34].

GA yöntemleri, çözüm alanını rastgele biçimde bombardımana tutarak en iyi çözümü arayan bir yöntemdir. zme ulaŒabilmek için önce çözüm uzayında rastgele noktalar topluluğu alınır. Daha sonra gösterilecek kuralların ıŒığı altında bu noktalar arasında eŒleŒtirmeler yapılarak toplumun bazı yeleri yok edilirken onların yerine yenileri oluŒturulur. Yeni gelen

bireylerin topluma katılması ile o toplumun öncekinden daha sağlıklı, yani hedefe daha yakın olması beklenir. Böylece hedefe birçok noktadan ve kısa yollardan yaklaşılr [35,36].

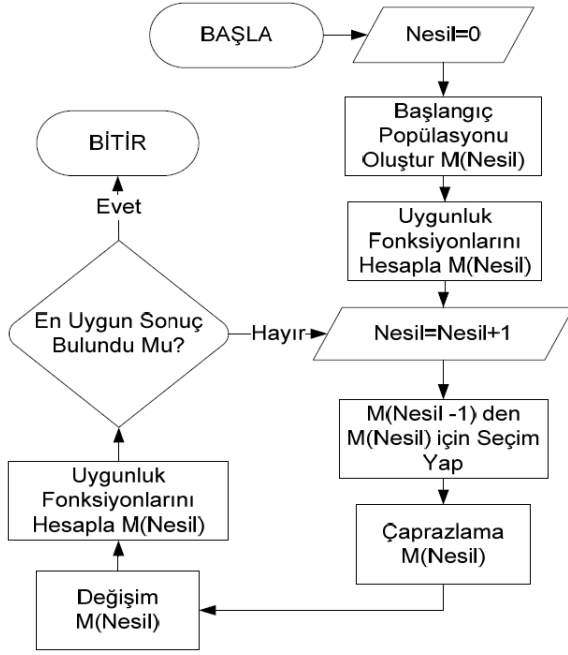
5.4.1. Genetik algoritmanın çalışma prensibi

GA optimizasyon tekniğine uygun olarak; bir problemin çözümüne belirli sayıdaki kromozomun rastgele oluşturulması ile başlar ve aşağıdaki adımlar gerçekleştirilerek yapılır [37].

1. Popülasyonun oluşturulması
2. Uygunluk değerlerinin hesaplanması
3. Yeni bireylerin üretilmesi
 - a. Çaprazlama
 - b. Mutasyon
4. Yeni Popülasyon seçimi
5. Test edilmesi

Akış diyagramına göre; başlangıçta nesil sıfır olarak kabul edilir ve başlangıç popülasyonu oluşturulur. Bu popülasyondaki her bir bireyin uygunluk fonksiyonları hesaplanır. Nesil sayısı 1 artırılarak yeni bir popülasyon oluşturulur. Bu işlem sırasında önceki nesilden bireyler seçilir ve yeni nesil'e aktarılır. Ayrıca çaprazlama ve mutasyon işlemi sonucunda elde edilen bireyler de yeni oluşturulan popülasyona eklenir. Daha sonra bu popülasyonda bulunan her bir bireyin uygunluk değerleri tekrar hesaplanır. Buradaki uygunluk değerlerinin uygun sonuç olup olmadığı belirlenir. Eğer uygun sonuç değilse tekrar yeni bir nesil oluşturulur. Uygun sonuç bulununcaya kadar yeni nesil üretme işlemi tekrar edilir. Uygun sonuç bulunca döngüden çıkılır ve işlem tamamlanır.

Genetik algoritmanın akış diyagramı Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 4. Genetik algoritma akış diyagramı [38]

Şekil 5.4.'de genel olarak bir genetik algoritmanın nasıl çalıştığı gösterilmiştir. Algoritmayı çalıştırmadan önce bazı parametre değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Popülasyon büyüklüğü,
- Çaprazlama olasılığı,
- Çaprazlama ile elde edilecek birey sayısı,
- Mutasyon olasılığı,
- Nesil sayısı,
- Seçim Mekanizması.

Popülasyon büyüklüğü:

Popülasyondaki birey sayısını temsil etmektedir. Popülasyondaki birey sayısı arttıkça programın sonucu bulma süresi artar. Eğer birey sayısını düşük tutarsak bu sefer de optimal sonuca ulaşma olasılığı düşüş gösterir. Problemlere göre popülasyon sayısı değişmektedir. Bazı problemler için 20-30 birey sayısı yeterliken bazı problemler için bu sayı 100-150 birey olabilir. Algoritma tasarımcısı veya kullanıcısı tarafından verilen önemli kararlardan biridir.

Çaprazlama olasılığı:

Çaprazlama kullanıcı tarafından belirlenen belli bir olasılık dâhilinde yapılmaktadır. Bunun nedeni iyi olan kromozomların bozulmasının istenmemesidir. Kullanıcı tarafından çaprazlama değeri belirlenir ve bu çaprazlama değeri düşük tutulmalıdır. Çaprazlama işleminin olma ihtimali şu şekildedir; programda 0-1 aralığında rastgele bir sayı değeri üretilir eğer bu değer kullanıcının belirlemiş olduğu çaprazlama olasılığından küçük ise çaprazlama işlemi yapılır ve popülasyona dâhil edilir.

Çaprazlama ile elde edilecek birey sayısı:

Çaprazlama ile elde edilen birey sayısının çok olması popülasyon'un genel yapısını bozabilir. Bu yüzden çaprazlama ile elde edilen birer sayısını popülasyonun genel yapısını bozmayacak seviyede tutmak önemlidir. Yüksek seviyede tutulması birçok bireyin kromozomunda yer değişikliği olduğu anlamına gelmektedir. Bu yüzden bazı problemler için bu değer düşük tutulması (nüfusun maximum %5'i) uygundur.

Mutasyon olasılığı:

Mutasyonun amacı genetik çeşitliliği sağlamaktır ve mutasyon kullanıcı tarafından belirlenen belli bir olasılık dâhilinde yapılmaktadır. Bunun nedeni aramanın kontrol altında tutulmasıdır. Mutasyonun amacı, kaybolmuş olan bir geni tekrar ortaya çıkarmaktır. Kullanıcı tarafından mutasyon olasılık değeri belirlenir ve bu mutasyon değeri çok düşük tutulmalıdır. Mutasyon işleminin olma ihtimali şu şekildedir; programda 0-1 aralığında rastgele bir sayı değeri üretilir eğer bu değer kullanıcının belirlemiş olduğu mutasyon olasılığından küçük ise mutasyon işlemi yapılır ve oluşan yeni birey popülasyona dâhil edilir.

Nesil sayısı:

Kaç nesil popülasyon üretileceğine karar verilen adımdır. Nesil sayısının çok olması işlem süresini uzatacaktır fakat en iyi değere daha fazla yaklaşmayı sağlayacaktır. Nesil sayısını

belirlemek kullanıcının vereceği önemli karar aşamalarından bir tanesidir. Nesil sayısından farklı olarak koşum zamanı gibi diğer bazı durdurma kriterleri de kullanılabilir.

Seçim Mekanizması:

Eski kuşağı yenilemenin çeşitli yöntemleri mevcuttur. Kuşaksal stratejide, mevcut popülasyondaki kromozomlar tamamen yavrular ile yer değiştirir. Popülasyonun en iyi kromozomu da yenilediğinden dolayı bir sonraki kuşağa aktarılamaz ve bu yüzden bu strateji en uygun (elitist) stratejisiyle beraber kullanılmaktadır. En uygun stratejisinde, popülasyondaki en iyi kromozomlar hiçbir zaman yenilenmemektedir, bundan dolayı çoğalma için en iyi çözüm her zaman elverişlidir. Denge durumu stratejisinde ise, her kuşakta yalnızca birkaç kromozom yenilenmektedir. Genellikle, yeni kromozomlar popülasyona katıldığında en kötü kromozomlar yenilenir [39].

Çözümün başlatılması;

İlk popülasyonun oluşturulması aşamasıdır. Bu aşamada kullanıcının bir nesil için belirlemiş olduğu kadar birey oluşturulur. Bu bireyler çözüm kümesi içerisinde rastgele seçilebileceği gibi başarılı bir takım sezgiseller kullanılarak da üretilebilir.

Uygunluk değerlerinin hesaplanması;

Uygunluk değeri popülasyondaki her bir birey için tek tek hesaplanır. Daha sonra bu hesaplanan değerler değerlendirmeye tabi tutulur. Popülasyondaki bir bireyin uygunluk değeri ne kadar iyi ise en iyi değere daha yakın olduğu anlamına gelmektedir. Genetik algoritmaların amacı; uygunluk değerini en iyi hale getirip en iyi değere yaklaştırmaktır.

Yeni bireylerin üretilmesi;

Popülasyondaki bireylere çaprazlama veya mutasyon işlemleri uygulayarak yeni bireylerin üretilmesi sağlanır. Yeni bireyler üretirken üretilen birey sayısının çok yüksek olması popülasyon yapısını bozabilir. Bu yüzden üretilen birey sayıları dikkatli bir şekilde seçilmelidir.

Çaprazlama

Rastgele seçilen iki bireyin kromozomlarının çaprazlanması yani yer değiştirmesi işlemidir. Çaprazlama işleminde oluşturulan birey (yavru), seçilmiş olan iki bireyin (ebeveyn) özelliklerini taşırlar. Çaprazlamanın amacı; elde var olan bireylerinkinden daha iyi uygunluk değerine sahip yeni bireyler oluşturmaktır. Ayrıca, farklı türdeki bireylerin oluşturulması ve nesillerinin devam etmesinin sağlanması hedeflenmektedir.

Çaprazlama işlemi bir olasılık kapsamında uygulanır. Seçilen bireyler ve kromozomun nereden kesileceği rastgele olarak yapılabilir. Bunun dışında, rastgele olarak seçilen bireylerin kromozom'larının nereden kesilip çaprazlanacağı programı kodlayan tarafından da belirlenebilir. Literatürde farklı yapıda çaprazlama operatörleri önerilmiştir. Bunlardan önemli bazıları;

- Tek noktalı çaprazlama,
- Çift noktalı çaprazlama,
- Çok noktalı çaprazlama,
- Uniform (tekdüze) çaprazlama.

Tek noktalı çaprazlama;

Seçilen iki ebeveyn kromozom belirlenmiş bir noktadan kesilir. Daha sonra ebeveynlerden birine ait olan kromozom parçası diğer ebeveyn'in aynı parçası ile yer değiştirir. Eğer ilk ebeveyn'in ilk parçası seçildiyse ikinci ebeveyn'in de ilk parçası seçilir ve yer değiştirilir. Eğer ikinci parça seçildiyse ikinci parçaların yerleri değiştirilir ilk parçaları aynı kalır. Bu şekilde iki birey oluşturulmuş olur. Tek noktalı çaprazlamada kromozom'un hangi parçasının yer değiştireceği önemli değildir. İlk parça da seçilse ikinci parça da seçilse oluşacak olan çocuk bireyler aynıdır.

Kesim noktasını belirlemede farklı yöntemler kullanılabilir. En çok kullanılan, rastgele olarak kromozom uzunluğu boyutunda bir tam sayı üretilip o noktadan kesmektir. Fakat kromozom'u yarısından veya kullanıcı tarafından belirlenen bir noktadan da kesmek mümkündür.

Aşağıda tek noktalı çaprazlama ile ilgili bir örnek yer almaktadır. “|” işarati kromozom’un nereden kesildiğini göstermektedir. Örnekte rastgele kesim yöntemi kullanılmıştır. Kromozomların ikinci kısımları yer değiştirilerek çocuk bireyler oluşturulmuştur.

Ebeveyn 1	101 10101	Çocuk 1	101 11110
Ebeveyn 2	110 11110	Çocuk 2	110 10101

Elde edilen bireylerin ikisi de yeni nesle aktarılabilir ya da hangi çocuğun uygunluk değeri yüksekse o yeni nesle aktarılabilir.

Çift noktalı çaprazlama:

Tek çaprazlamadan farkı tek kesim yerine iki kesim noktasının olmasıdır. Kesim noktalarının arasında kalan kısım değiştirme işlemine tabi tutulur. Bu işlem sırasında kesim noktaları rastgele olarak seçilir.

Aşağıdaki örnekte görüldüğü üzere iki adet kesim noktası vardır. Çocuk bireyler iki kesim noktası arasında kalan kısımların değiştirilmesiyle elde edilmiştir.

Ebeveyn 1	101 101 01	Çocuk 1	101 111 01
Ebeveyn 2	110 111 10	Çocuk 2	110 101 10

Elde edilen bireylerin ikisi de yeni nesle aktarılabilir ya da hangi çocuğun uygunluk değeri yüksekse o yeni nesle aktarılabilir.

Çok noktalı çaprazlama:

Çok noktalı çaprazlamada n adete kadar kesme işlemi kullanılabilir. n kesme sayısı kromozom uzunluğuna bağlı olarak değişim gösterir. Ayrıca kullanıcının da bu sayıyı belirleme imkânı vardır.

Aşağıdaki örnekte görüldüğü üzere üç adet kesim noktası vardır. Çocuk bireyler bu kesim noktalarına göre elde edilmiştir. Kesim noktaları ($n=3$) şunlardır; $m_1=2$, $m_2=4$ ve $m_3=6$. Şekilde görüldüğü üzere ebeveynlerin 1. kısımları ve 3. kısımları yer değiştirilerek çocuk bireyler elde edilmiştir.

Ebeveyn 1	10 11 01 01	Çocuk 1	11 11 11 01
Ebeveyn 2	11 01 11 10	Çocuk 2	10 01 01 10

Elde edilen bireylerin ikisi de yeni nesle aktarılabilir ya da hangi çocuğun uygunluk değeri yüksekse o yeni nesle aktarılabilir.

Uniform (tekdüze) çaprazlama:

Rastgele olarak belirlenen sayıda genin iki ebeveyn kromozomlarında yer değiştirmesi işlemidir. Kullanıcı tarafından bir olasılık belirlenir. Bu olasılık değiştirilecek olan gen sayısını bulmada kullanılır.

Aşağıda örnekte görüldüğü üzere kromozom uzunluğu 8'dir. Olasılık 0.25 ($p=0.25$) seçilirse değiştirilecek gen sayısı 2 ($8*0,25$) olur. Bu genler rastgele olarak kromozom üzerinden seçilir ve değiştirme işlemi uygulanır.

Ebeveyn 1	10110101	Çocuk 1	11110111
Ebeveyn 2	11011110	Çocuk 2	10011100

Elde edilen bireylerin ikisi de yeni nesle aktarılabilir ya da hangi çocuğun uygunluk değeri yüksekse o yeni nesle aktarılabilir.

Mutasyon

Yapı içinde yer alan bazı iyi kromozomlar çaprazlama ve seçim aşamasında kaybolabilir. Bu durumda yeni bireyin genlerinin rasgele bir değişim ile kaybedilmiş iyi bir kromozom kurtarılabilir. Burada amaç, var olan bir kromozomun genlerinin bir ya da birkaçının yerlerini değiştirerek yeni kromozom oluşturmaktır [33]. Mutasyon oranı olduğunca düşük

tutulmalıdır. Mutasyon oranının yüksek tutulması genel gen yapısının bozulmasına neden olacaktır. Yapılan çalışmalarda önemli bazı problemler için mutasyon oranının 0,01 ile 0,001 aralığında seçilmesinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Mutasyon işlemi tamamen rastgelelik üzerinedir. Kromozom üzerinden rastgele seçimle bir genin değeri değiştirilir. Aşağıda mutasyon ile ilgili bir örnek yer almaktadır.

Ebeveyn 10110101 Çocuk 10111101

Örnekte görüldüğü üzere kromozom'un uzunluğu 8 birimdir. Rastgele seçim ile 5. gen seçilmiştir. 5. gen'in değeri "0" iken mutasyon sonucunda "1" olmuştur. Bu sayede mutasyon ile yeni bir birey oluşturulmuştur. Elde edilen bu birey yeni nesile aktarılır.

Yeni popülasyon seçimi:

Çaprazlama ve mutasyon işleminden sonra popülasyon sayısında büyüme olmuştur. Popülasyonun tekrar aynı boyuta düşürülmesi gerekmektedir. Seçim operatörü adı verilen yöntemler kullanılarak popülasyon boyutları düzenlenir ve yeni popülasyonlar üretilir. Popülasyonun seçilmesinde ve üretilmesinde farklı seçim mekanizmaları kullanılmaktadır. Seçim operatörlerinden bazıları şunlardır;

- Deterministik birey seçme (Elitizm)
- Rulet tekerleği
- Rastgele birey seçimi
- Turnuva seçimi

Deterministik birey seçme (Elitizm)

Kullanıcı veya program kodlayıcısı tarafından belirlenmiş sayıdaki uygunluk fonksiyon değerleri en iyi olan bireyler herhangi bir işleme tabi tutulmadan direk olarak yeni popülasyona aktarılır. Uygunluk değeri kötü olan bireyler bir sonraki nesle aktarılmaz. Elit birey sayısının yüksek tutulması popülasyondaki çeşitliliği azaltır. Diğer bir taraftan, çok yüksek tutulması da iyi bireylerin kromozom yapılarının değişmesine neden olacaktır. Bu

durum da istenen bir durum değildir. Eski neslin popülasyonundaki bireylerden uygunluk değeri yüksek olanların yeni nesle dahil edilmemesi durumunda yeni nesil için oluşturulmuş olan bireyler arasından uygunluk değeri en yüksek olan bireyin bile eski nesildeki bireylerden kötü olma olasılığı vardır.

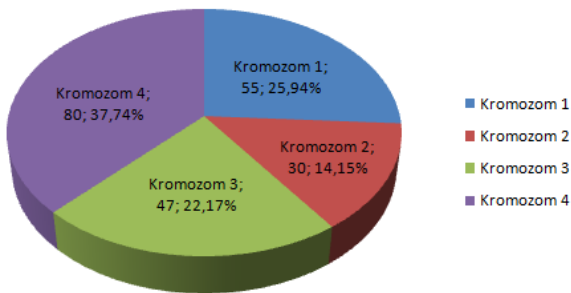
Rulet tekerleği

Bireyin uygunluk değerine göre seçilme şansdır. Bireyin uygunluk değeri ne kadar yüksekse seçilme şansı da o kadar yüksektir. Tüm bireylerin bir tekerlek içinde olduğu farz edilir ve her bir birey değerine göre yüzde alır. Genelde, 1 ile 100 arasında rastgele olarak bir değer üretilir ve bu değer rulet tekerleğinde hangi bireye denk geliyorsa o birey bir sonraki nesle aktarılmak üzere seçilir. Aynı bireyin tekrar seçilmemesi için yani benzerlikleri ortadan kaldırmak için farklı yöntemler uygulanabilir. Mesela, seçilen birey rulet tekerleğinden çıkartılabilir ve her bireyin seçilme yüzdeleri tekrardan hesaplanabilir.

Aşağıda Rulet Tekerleği için bir örnek gösterilmiştir. Çizelge 5.1'de 4 kromozom'un uygunluk değeri ve seçilme şansı görülmektedir. Şekil 5.5'de kromozomların rulet tekerleğindeki dağılımları görülmektedir.

Çizelge 5. 1. Rulet tekerleği örneği

Rulet Tekerleği	Uygunluk Değeri	Kümülatif Toplam	Seçilme Şansı	Seçim Aralığı
Kromozom 1	55	55	25,94%	0-25,94
Kromozom 2	30	85	14,15%	25,95-40,09
Kromozom 3	47	132	22,17%	40,1-62,26
Kromozom 4	80	212	37,74%	62,23-100



Şekil 5. 5. Rulet tekerleği örneği

Çizelge 5.1'e bakıldığında her bir kromozom'un seçilme şansları görülmektedir. Bu değerler uygunluk değerlerine göre hesaplanmıştır. Her bir kromozomun uygunluk değerinin tüm kromozomların toplam uygunluk değerine bölünmesiyle elde edilmiştir. Çizelge 5.1'de görüldüğü üzere en yüksek uygunluk değeri (80) ile Kromozom 4'ündür. Bu yüzden en yüksek seçilme şansı da (%37,74 ile) Kromozom 4'ündür.

Seçim aralığı değerlerini yüzdelerle göre kümülatif toplam olarak düşünebiliriz. Programda 0 ile 100 arasında bir ondalıklı sayı üretilir. Üretilen bu sayı değeri hangi aralıkta ise o kromozom bir sonraki nesle aktarılır. Örneğin programın rastgele ürettiği sayı değeri 54,67 olsun. Bu durumda Kromozom 3 (Seçim aralığı: 40,1-62,26) bir sonraki nesle aktarılır.

Rastgele birey seçimi

Her bir bireyin seçilme şansı aynıdır. Bireylerin uygunluk değerleri seçilme şanslarını etkilemez. Tamamen rastgele bir seçim uygulanır. Seçilen bireyler bir sonraki nesle aktarılır.

Turnuva seçimi

Turnuva seçim yönteminde, toplumdaki her bir birey, yine toplumdan rastgele seçilmiş başka bir bireyle uygunluk fonksiyonu değerlerine göre karşılaştırılmakta ve uygunluk fonksiyonu değeri büyük olan birey yeni toplum için seçilmektedir [37].

Uygulaması kolay ve performansı yüksek bir seçim tekniğidir. Seçilen örnek büyüklüğü ayarlanabilir bir parametredir. Eşleştirme havuzu dolana kadar turnuvalar devam eder [40,41].

6. ÖNERİLEN PROGRAM VE UYGULAMA

Bu çalışmada GA kullanılarak kritik yol/yolları; faaliyetleri, tamamlanma zamanı ve istenilen tamamlanma zamanı için zaman-maliyet analizlerini gerçekleştiren bir program tasarlanmıştır.

Tasarlanan program farklı faaliyet sayısında örneklerle denenmiş ve en iyi çözümlerle karşılaştırılmıştır.

6.1. Önerilen Program

Bu programın amacı; proje planlama ve çizelgelemede kritik yol/yolları, proje tamamlanma zamanı belirleme ve zaman-maliyet analizi işlemlerini yapabilmektir. Genetik algoritma temelli tasarlanan bu program Visual Studio 2010 Professional ortamında C# programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Programın GA temelli tasarlanmasının nedeni; GA'nın bu tür problemlere başarılı bir şekilde uygulanabilmesi ve olumlu sonuçlar vermesidir.

Program tasarlanırken bazı önemli adımlara dikkat edilmiştir. Bu adımlar şunlardır;

- Kritik yolun/yolların bulunması,
- Proje tamamlanma zamanının bulunması,
- Alternatif yolların bulunması,
- Kritik faaliyetlerin bulunması,
- Zaman-maliyet analizinin yapılabilmesi.

Ayrıca genetik algoritma için aşağıda belirtilen özelliklerin seçilmesi uygun görülmüştür;

- Çaprazlama işlemi için tek noktalı çaprazlama,
- Yeni popülasyon seçimi için elitizm.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı program aşağıdaki adımlara göre tasarlanmıştır;

1. Popülasyondaki bireyleri belirle,
2. Popülasyondaki bireylerin uygunluk değerlerini hesapla ve uygunluk değerlerine göre bireyleri büyükten küçüğe sırala,

3. Eğer rastgele üretilen değer çaprazlama için girilen değer aralığında ise rastgele iki birey seç ve tek noktalı çaprazlama uygula. Çaprazlama sonucunda uygunluk değeri en yüksek olan bireyi seç ve popülasyondaki uygunluk değeri en küçük olan bireyle karşılaştır. Eğer çaprazlama sonucu elde edilen bireyin uygunluk değeri karşılaştırılan bireyin uygunluk değerinden küçük ise popülasyona dâhil etme eğer büyük ise karşılaştırılan bireyi popülasyondan çıkar ve çaprazlama sonucu elde edilen bireyi popülasyona dâhil et ve popülasyonu uygunluk değerine göre büyükten küçüğe tekrar sırala,
4. Eğer rastgele üretilen değer mutasyon için girilen değer aralığında ise rastgele bir birey seç. Bu bireyin genlerinden birini rastgele olarak değiştir. Mutasyon sonucunda elde edilen bireyin popülasyondaki uygunluk değeri en küçük olan bireyle karşılaştır. Eğer mutasyon sonucu elde edilen bireyin uygunluk değeri karşılaştırılan bireyin uygunluk değerinden küçük ise popülasyona dâhil etme eğer büyük ise karşılaştırılan bireyi popülasyondan çıkar ve mutasyon sonucu elde edilen bireyi popülasyona dahil et ve popülasyonu uygunluk değerine göre büyükten küçüğe tekrar sırala,
5. Kullanıcının belirleyeceği elit birey sayısı kadar bireyi en yüksek uygunluk değerinden başlayarak bir sonraki nesil'e aktar,
6. Kullanıcının belirlemiş olduğu nesil sayısı kadar üstteki beş adımı tekrarla,
7. Zaman-maliyet analizi için yukarıdaki işlemlerden sonra oluşan bireylerden benzer olanları teke indir,
8. Elde edilen farklı bireyleri zaman-maliyet analizi için uygun formata çevir,
9. Zaman-maliyet analizi çözüm yöntemini uygula.

Program, problemi iki adımda çözmektedir. Bu iki adım aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

İlk olarak, genetik algoritmanın uygulandığı ve kritik yol/yolların bulunduğu adımdır. Programdaki kritik yol ve yollar sekmesinden, her bir faaliyetin öncül ve ardıl düğüm bilgilerine göre kaç günde bitirildiği programa girilir. Veri giriş işlemi tamamlandıktan sonra, genetik algoritma verilerini seçme kısmına geçilir. Bu kısımda, genetik algoritma verileri olan; popülasyon sayısı, nesil sayısı, elit birey sayısı, çaprazlama ve mutasyon oranları programa girilir ve genetik algoritma örneğe uygulanır. Bu işlemden sonra, kritik

yol/yollar, proje tamamlanma zamanı ve zaman-maliyet analizinden önceki toplam maliyet elde edilmiş olur. İlk adımın gerçekleştirildiği arayüz Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.

Kritik Yol ve Yollar Zaman Maliyet Analizi

Düğüm Sayısını Giriniz : 18 Düğüm Oluştur

Öncül Ardıl Faaliyet Süresi

Öncül Düğümü Seçin Ardıl Düğümü Seçin Kaydet Genetik Algoritma Verilerini Seç

Lütfen Genetik Algoritma Verilerini Seçiniz

Nesil Sayısını Giriniz : 10

Popülasyon Sayısını Giriniz : 100

Elit Birey Sayısını Giriniz : 5

Çaprazlama Oranını Giriniz : 2

Mutasyon Oranını Giriniz : 0,01

Genetik Algoritmayı Uygula

	Alan1	Alan2	Alan3	Alan4	Alan5	Alan6	Alan7
▶	0	9	8	5	0	0	0
	0	0	0	0	12	0	0
	0	0	0	0	0	9	0
	0	0	0	0	0	6	11
	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

Örnek Uygulamalar

25 Faaliyetli

50 Faaliyetli

75 Faaliyetli

100 Faaliyetli

Genetik Algoritma ile elde edilen 100 adet yolun düğüm ve Tamamlanma Zamanları bilgileri aşağıdadır.

	1. Düğüm	2. Düğüm	3. Düğüm	4. Düğüm	5. Düğüm	6. Düğüm	7. Düğüm	8. Düğüm	9. Düğüm	Tamamlanma Zamanı
▶	1	2	5	8	10	15	16	18		72
	1	2	5	8	10	15	16	18		72
	1	2	5	8	10	15	16	18		72
	1	2	5	8	10	15	16	18		72

Zaman Maliyet Analizi için Lütfen Zaman Maliyet Analizi sekmesinden işlemlerinizi tamamlayınız.

Şekil 6. 1. Önerilen programın kritik yol/yollar sekmesi

İkinci adıma programdaki zaman-maliyet analizi sekmesinden devam edilir. Bu bölümde, her bir faaliyet için öncül ve ardıl düğüm bilgileri, normal zaman, hızlandırılmış zaman, normal maliyet, hızlandırılmış maliyet, eğim ve her bir faaliyetin ne kadar sıkılaştırılabileceği ile ilgili veriler programa girilir. Bu verilere göre ilk önce, her bir yoldaki faaliyetler belirlenir ve benzer yollar egale edilir. Daha sonra, programın istenilen tamamlanma zamanda bitirilmesi için gerekli olan veri girilir ve bu veriye göre zaman-maliyet analizi uygulanır. Bu işlemlerden sonra, kritik yol/ yollar üzerinde hangi faaliyetlerin indirgeendiği ve istenilen proje tamamlanma zamanı için toplam maliyet değeri elde edilir. İkinci adımın gerçekleştirildiği arayüz Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.

Proje Yönetimi - Zaman Maliyet Analizi

Kritik Yol ve Yollar Zaman Maliyet Analizi

Zaman Maliyet Analizi Verileri Aşağıdaki Tabloda Belirtilmiştir:

Faaliyet	Öncül	Soncul	Tn	Th	Mn	Mh	Eğim	Sıklaştırma Sayısı
F1	1	2	9	6	21	30	3	3
F2	1	3	8	7	15	21	6	1
F3	1	4	5	3	13	27	7	2
F4	2	5	12	8	32	48	4	4
F5	3	6	9	7	25	31	3	2
F6	4	6	6	3	18	24	2	3
F7	4	7	11	8	22	37	5	3
F8	5	8	6	4	14	24	5	2

Lütfen İstenilen Proje Tamamlanma Zamanını Giriniz: İndirge

	1. faaliyet	2. faaliyet	3. faaliyet	4. faaliyet	5. faaliyet	6. faaliyet	7. faaliyet	8. faaliyet	Tamamlanma Zamanı
F1	F4	F8	F13	F16	F22	F24			72
F1	F4	F8	F12	F14	F18	F21	F25	F24	69
F1	F4	F8	F12	F14	F17	F20	F24		65
F3	F7	F10	F14	F18	F21	F25			63
F1	F4	F8	F13	F15	F20	F24			62
F1	F4	F8	F13	F16	F23				60
F3	F7	F10	F14	F17	F20	F24			59
F2	F5	F9	F14	F18	F21	F25			57

Zaman Maliyet Analizi Boş Form

Örnek Uygulamalar

25 Faaliyet (ZMA)

50 Faaliyet (ZMA)

75 Faaliyet (ZMA)

100 Faaliyet (ZMA)

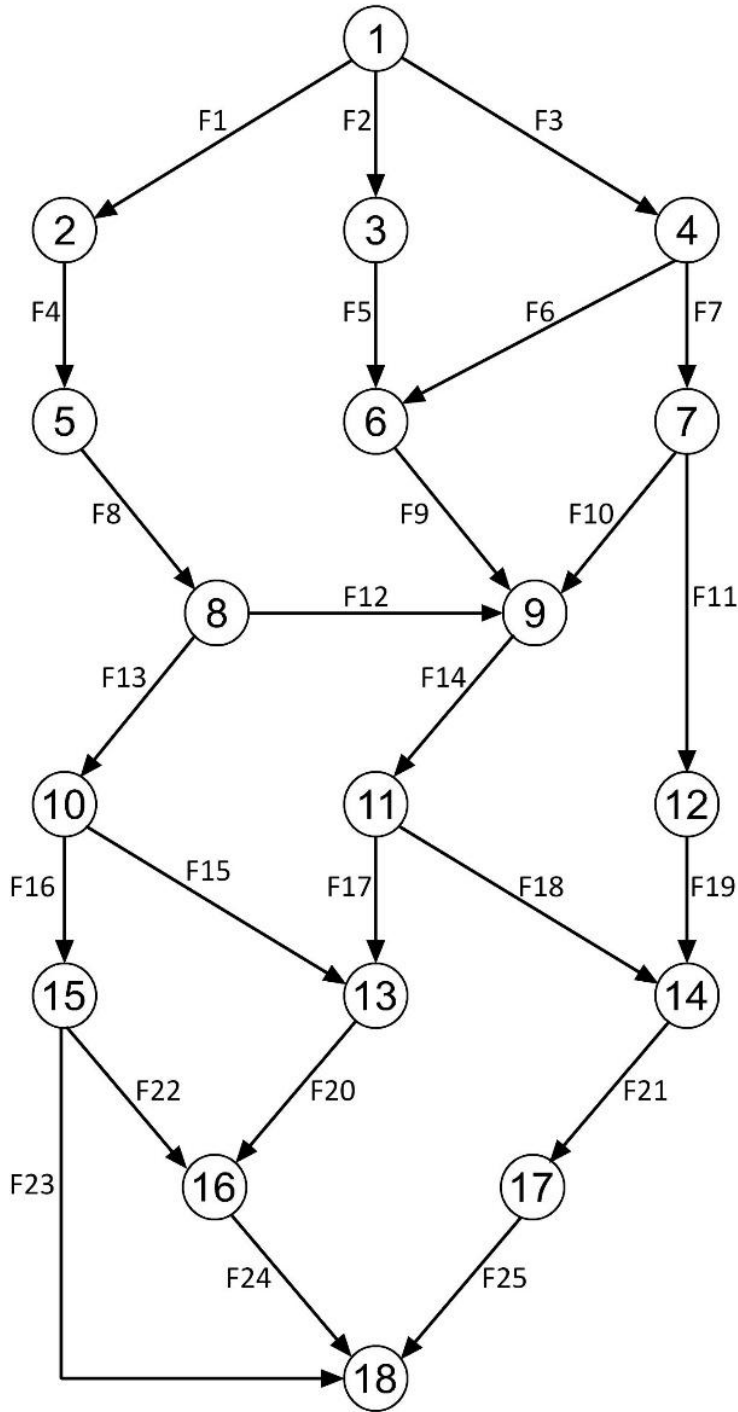
Şekil 6. 2. Önerilen programın zaman-maliyet analizi sekmesi

6.2. 25 Faaliyetli Örnek Uygulama

25 faaliyetli örnek uygulama için Şekil 6.3.'de görülen 18 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Oluşturulan bu şebekedeki faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri Çizelge 6.1.'de görülmektedir.

Çizelge 6. 1. 25 faaliyetli örnek için faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri

Faaliyet	Öncül	Ardıl	Faaliyet	Öncül	Ardıl
F1	1	2	F14	9	11
F2	1	3	F15	10	13
F3	1	4	F16	10	15
F4	2	5	F17	11	13
F5	3	6	F18	11	14
F6	4	6	F19	12	14
F7	4	7	F20	13	16
F8	5	8	F21	14	17
F9	6	9	F22	15	16
F10	7	9	F23	15	18
F11	7	12	F24	16	18
F12	8	9	F25	17	18
F13	8	10			



Şekil 6. 3. 25 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı

Çizelge 6.2’de ise zaman maliyet analizi için kullanılacak olan normal zaman (T_n), hızlandırılmış zaman (T_h), normal maliyet (M_n) ve hızlandırılmış maliyet (M_h) bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 6. 2. 25 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizinde gerekli olan veriler

Faaliyet	T_n	T_h	M_n	M_h
F1	9	6	21	30
F2	8	7	15	21
F3	5	3	13	27
F4	12	8	32	48
F5	9	7	25	31
F6	6	3	18	24
F7	11	8	22	37
F8	6	4	14	24
F9	7	5	15	23
F10	14	8	28	70
F11	5	2	15	21
F12	9	5	17	25
F13	15	11	29	33
F14	8	6	14	20
F15	4	3	12	13
F16	12	9	21	30
F17	5	3	12	22
F18	8	4	14	30
F19	10	7	18	33
F20	11	7	16	28
F21	9	6	19	37
F22	13	8	21	41
F23	6	2	13	21
F24	5	3	10	18
F25	8	3	15	40

Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2.'deki verilerden yararlanılarak, Microsoft Project Professional 2013 programı yardımı ile projenin tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin bilgileri elde edilmiştir.

Microsoft Project Professional 2013 programından elde edilen veriler sonucunda;

- Normal zamanda projenin tamamlanma zamanı 72 gündür.
- Normal zamanda kritik faaliyetler şunlardır; F1, F4, F8, F13, F16, F22 ve F24.
- Projenin en kısa tamamlanma zamanı 49 gündür.

- Projenin en kısa tamamlanma zamanındaki kritik faaliyetler şunlardır; F1, F4, F8, F13, F16, F22 ve F24.

Yukarıdaki bilgilere göre, proje tamamlanma zamanı 72 günden 49 güne kadar indirgenebilir.

İlgili örneğin matematiksel modelinin Lindo 6.1’de çözümü sonucu elde edilen tamamlanma zamanı 72 gündür. Ek-1 de matematiksel model verilmiştir.

Çizelge 6.3.’de popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanı ve bulunan farklı yol sayısının değişimleri görülmektedir. Popülasyon sayısındaki değişimleri gözlemlemek için aşağıdaki veriler sabit tutulmuştur;

- Elit Birey sayısı : Popülasyon sayının %5’i
- Nesil sayısı : 10
- Çaprazlama olasılığı : %2
- Mutasyon olasılığı : % 0,01

Çizelge 6. 3. 25 faaliyetli örnek için popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanının ve bulunan farklı yol sayısının değişimi

	Popülasyon Sayısı			
	25	50	100	200
Tamamlanma Zamanı	72	72	72	72
Bulunan Farklı Yol Sayısı	9	12	12	12

Çizelge 6.3.’de görüldüğü üzere 50 popülasyon üstünde elde edilen sonuçlar aynıdır. Bu yüzden popülasyon sayısının 50 olarak alınması uygundur.

Yukarıdaki veriler kullanılarak yapılan genetik algoritma işlemi sonucunda 12 farklı yol elde edilmiştir. Elde edilen bu yolların kritik faaliyetleri, tamamlanma zamanları ve projenin toplam maliyeti Çizelge 6.4.’de verilmiştir.

Çizelge 6. 4. 25 faaliyetli örnek için elde edilen yollardaki kritik faaliyetler, tamamlanma zamanı ve toplam maliyet

Yollar	Faaliyetler								Tamamlanma Zamanı	Toplam Maliyet
1	F1	F4	F8	F13	F16	F22	F24		72	449 TL
2	F1	F4	F8	F12	F14	F18	F21	F25	69	
3	F1	F4	F8	F12	F14	F17	F20	F24	65	
4	F3	F7	F10	F14	F18	F21	F25		63	
5	F1	F4	F8	F13	F15	F20	F24		62	
6	F1	F4	F8	F13	F16	F23			60	
7	F3	F7	F10	F14	F17	F20	F24		59	
8	F2	F5	F9	F14	F18	F21	F25		57	
9	F2	F5	F9	F14	F17	F20	F24		53	
10	F3	F6	F9	F14	F18	F21	F25		51	
11	F3	F7	F11	F19	F21	F25			48	
12	F3	F6	F9	F14	F17	F20	F24		47	

Doğrusal programlama modeli, MS Project 2013 ve önerilen program ile elde edilen tamamlanma zamanları Çizelge 6.5.'de görülmektedir.

Çizelge 6. 5. Örnek 1 için tamamlanma zamanları

	Doğrusal Programlama Modeli	MS Project 2013	Önerilen Program
Tamamlanma zamanı	72	72	72

Çizelge 6.5.'den görüldüğü gibi, önerilen program, doğrusal programlama modeli ve Microsoft Project Professional 2013 programının tamamlanma zamanları aynıdır. Önerilen program ayrıca olası diğer yolları da bulmaktadır.

İlgili örneğin Ek-2'de sunulan zaman-maliyet analizi matematiksel modelinin Lindo 6.1'den elde edilen çözüm sonuçları Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6. 6. Örnek 1. için Lindo programından elde edilen hızlandırma maliyetleri

	5 gün hızlandırma	10 gün hızlandırma	15 gün hızlandırma
Maliyetler	9 TL	28 TL	64 TL

Çizelge 6.6. incelendiğinde projenin 67 günde tamamlanma maliyetinin 9 TL; 62 günde tamamlanma maliyetinin 28 TL ve 57 günde tamamlanma maliyetinin 64 TL arttığı görülmektedir.

Lindo çözümünden elde edilen verilere göre, istenilen tamamlanma zamanında projenin tamamlanması için hangi faaliyetin ne kadar sıkıştırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir;

5 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F1 = 2 gün
- F13 = 3 gün sıkıştırılmıştır.

10 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F1 = 3 gün
- F4 = 3 gün
- F13 = 4 gün
- F14 = 1 gün sıkıştırılmıştır.

15 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler sıkıştırılmıştır;

- F1 = 3 gün
- F4 = 3 gün
- F13 = 4 gün
- F14 = 2 gün
- F16 = 3 gün
- F18 = 4 gün
- F22 = 2 gün sıkıştırılmıştır.

Önerilen programa göre; projenin 5, 10 ve 15 gün hızlandırılması için ekstra maliyetler Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6. 7. Örnek 1. için önerilen programdan elde edilen hızlandırma maliyetleri

	5 gün hızlandırma	10 gün hızlandırma	15 gün hızlandırma
Maliyetler	11 TL	33 TL	72 TL

Çizelge 6.7. incelendiğinde projenin 67 günde tamamlanma maliyetinin 11 TL; 62 günde tamamlanma maliyetinin 33 TL ve 57 günde tamamlanma maliyetinin 72 TL arttığı görülmektedir.

Önerilen programdan elde edilen verilere göre, istenilen tamamlanma zamanında projenin tamamlanması için hangi faaliyetin ne kadar sıkıştırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir;

5 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F1 = 1 gün
- F12 = 2 gün
- F13 = 4 gün sıkıştırılmıştır.

10 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F1 = 3 gün
- F12 = 4 gün
- F13 = 4 gün
- F14 = 1 gün
- F16 = 3 gün sıkıştırılmıştır.

15 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler sıkıştırılmıştır;

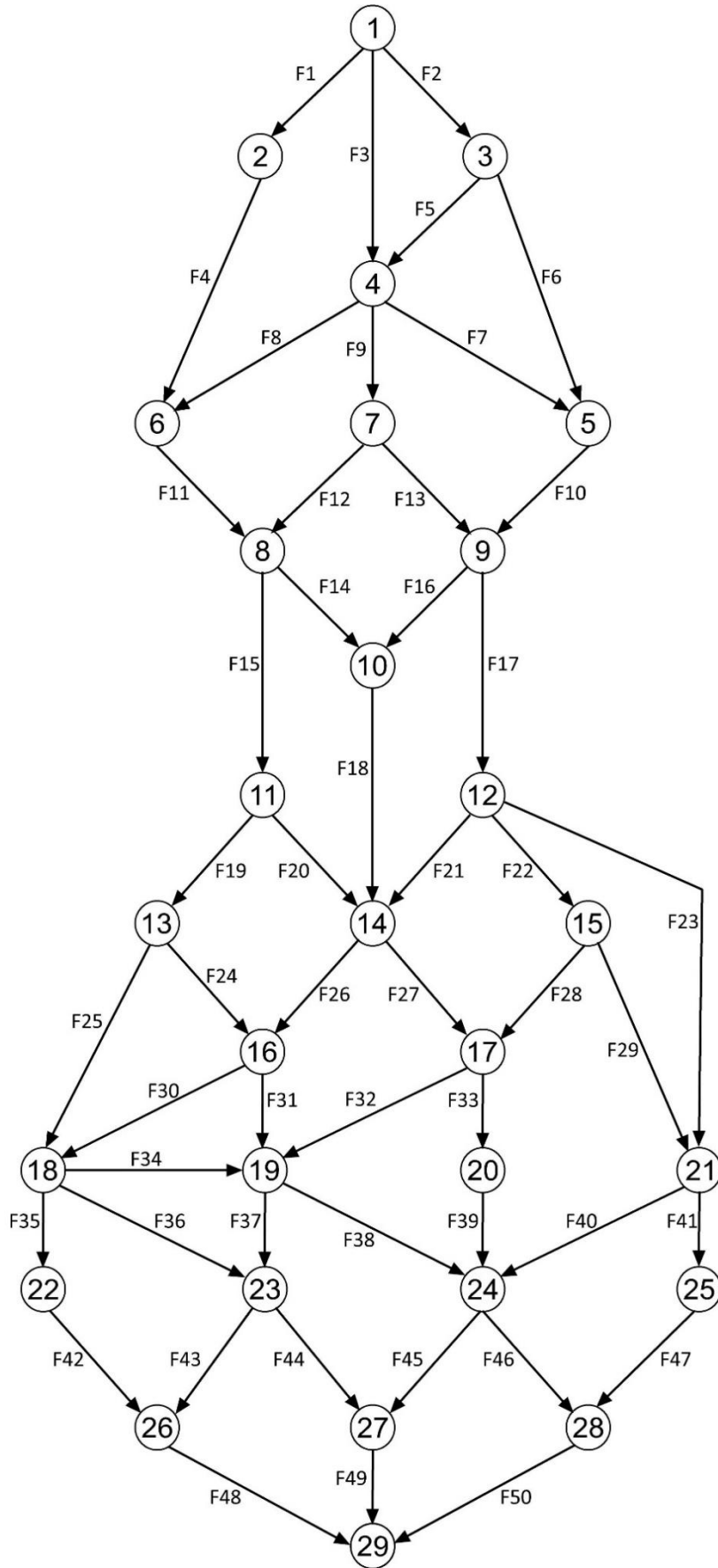
- F1 = 3 gün
- F4 = 4 gün
- F12 = 4 gün
- F13 = 4 gün
- F14 = 2 gün
- F16 = 3 gün
- F18 = 4 gün
- F22 = 1 gün sıkıştırılmıştır.

6.3. 50 Faaliyetli Örnek Uygulama

50 faaliyetli örnek uygulama için Şekil 6.4.'de görülen 29 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Oluşturulan bu şebekedeki faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri Çizelge 6.8.'de görülmektedir.

Çizelge 6. 8. 50 faaliyetli örnek için faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri

Faaliyet	Öncül	Ardıl	Faaliyet	Ardıl	Soncul
F1	1	2	F26	14	16
F2	1	3	F27	14	17
F3	1	4	F28	15	17
F4	2	6	F29	15	21
F5	3	4	F30	16	18
F6	3	5	F31	16	19
F7	4	5	F32	17	19
F8	4	6	F33	17	20
F9	4	7	F34	18	19
F10	5	9	F35	18	22
F11	6	8	F36	18	23
F12	7	8	F37	19	23
F13	7	9	F38	19	24
F14	8	10	F39	20	24
F15	8	11	F40	21	24
F16	9	10	F41	21	25
F17	9	12	F42	22	26
F18	10	14	F43	23	26
F19	11	13	F44	23	27
F20	11	14	F45	24	27
F21	12	14	F46	24	28
F22	12	15	F47	25	28
F23	12	21	F48	26	29
F24	13	16	F49	27	29
F25	13	18	F50	28	29



Şekil 6. 4. 50 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı

Çizelge 6.9'da ise zaman maliyet analizi için kullanılacak olan normal zaman (T_n), hızlandırılmış zaman (T_h), normal maliyet (M_n) ve hızlandırılmış maliyet (M_h) bilgileri yer almaktadır. Çizelge 6.9.'da yer alan bu veriler zaman-maliyet analizi esnasında kullanılacaktır.

Çizelge 6. 9. 50 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizinde gerekli olan veriler

Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh
F1	12	8	36	56	F26	18	12	30	60
F2	15	9	25	43	F27	9	6	15	18
F3	14	7	20	48	F28	14	8	21	57
F4	20	12	45	77	F29	5	3	12	36
F5	18	10	38	78	F30	33	21	68	104
F6	16	9	30	72	F31	24	18	51	81
F7	12	8	21	65	F32	15	7	32	80
F8	9	6	15	39	F33	6	3	10	31
F9	8	5	12	33	F34	18	12	35	47
F10	14	9	22	52	F35	25	13	41	77
F11	17	11	30	72	F36	21	12	32	68
F12	32	21	70	125	F37	7	5	12	28
F13	24	14	40	70	F38	12	8	20	40
F14	20	8	36	96	F39	16	9	30	51
F15	14	8	37	91	F40	14	7	21	63
F16	18	11	30	100	F41	13	7	23	65
F17	15	8	31	87	F42	8	5	15	42
F18	16	9	32	46	F43	12	7	20	70
F19	21	15	28	40	F44	15	8	21	56
F20	24	9	32	77	F45	9	5	15	31
F21	18	12	35	77	F46	11	6	22	42
F22	16	6	30	90	F47	13	8	23	53
F23	14	11	35	59	F48	17	8	31	76
F24	8	5	15	30	F49	15	7	30	78
F25	6	4	14	28	F50	14	8	26	68

Çizelge 6.8. ve Çizelge 6.9.'daki verilerden yararlanılarak, Microsoft Project Professional 2013 programı yardımı ile projenin tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin bilgileri elde edilmiştir.

Microsoft Project Professional 2013 programından elde edilen veriler sonucunda;

- Normal zaman göz önüne alındığında projenin tamamlanma zamanı 217 gündür.
- Normal zaman zaman göz önüne alındığında 2 farklı kritik yol ortaya çıkmaktadır. Bu yollar şunlardır;
 - 1. yolun kritik faaliyetleri; F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F37, F44 ve F49.
 - 2. yolun kritik faaliyetleri; F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F38, F46 ve F50.
- Hızlandırılmış zaman göz önüne alındığında projenin tamamlanma zamanı 127 gündür.
- Hızlandırılmış zaman göz önüne alındığında 4 farklı kritik yol ortaya çıkmaktadır. Bu yollar şunlardır;
 - 1. yolun kritik faaliyetleri; F2, F5, F9, F12, F14, F18, F26, F30, F34, F38, F43 ve F49.
 - 2. yolun kritik faaliyetleri; F2, F5, F9, F12, F14, F20, F26, F30, F34, F38, F43 ve F49.
 - 3. yolun kritik faaliyetleri; F2, F5, F9, F12, F15, F18, F26, F30, F34, F38, F46 ve F50.
 - 4. yolun kritik faaliyetleri; F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F38, F46 ve F50.

Yukarıdaki bilgilere göre, proje tamamlanma zamanı 217 günden 127 güne kadar indirgenebilir.

İlgili örneğin matematiksel modelinin Lindo 6.1’de çözümü sonucu elde edilen tamamlanma zamanı 217 gündür. Ek-3’de matematiksel model verilmiştir.

Çizelge 6.10.’de popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanı ve bulunan farklı yol sayısının değişimleri görülmektedir. Popülasyon sayısındaki değişimleri gözlemlemek için aşağıdaki veriler sabit tutulmuştur;

- Elit Birey sayısı : Popülasyon sayısının %5’i

- Nesil sayısı : 10
- Çaprazlama olasılığı : %2
- Mutasyon olasılığı : % 0,01

Çizelge 6. 10. 50 faaliyetli örnek için popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanının ve bulunan farklı yol sayısının değişimi

	Popülasyon Sayısı												
	250	500	750	1000	1250	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000
Tamamlanma Zamanı (Gün)	214	217	217	217	217	217	217	217	217	217	217	217	217
Bulunan Farklı Yol Sayısı	154	237	282	313	345	378	399	425	431	451	455	464	466

Çizelge 6.10.'da görüldüğü üzere 3500 popülasyondan sonra bulunan farklı yol sayısında belirgin bir değişiklik görülmemektedir. Bu yüzden popülasyon sayısı 3500 olarak kabul edilebilir. 3500 popülasyon optimal sonuca ulaşmayı ya da yakınsamayı sağlamada yeterli görülmektedir.

Doğrusal programlama modeli, MS Project 2013 ve önerilen program ile elde edilen tamamlanma zamanları Çizelge 6.11.'de görülmektedir.

Çizelge 6. 11. Örnek 2 için tamamlanma zamanları

	Doğrusal Programlama Modeli	MS Project 2013	Önerilen Program
Tamamlanma zamanı	217 Gün	217 Gün	217 Gün

Çizelge 6.11.'den görüldüğü gibi, önerilen program, doğrusal programlama modeli ve Microsoft Project Professional 2013 programının tamamlanma zamanları aynıdır. Önerilen program ayrıca olası diğer yolları da bulmaktadır.

İlgili örneğin Ek-4'de sunulan zaman-maliyet analizi matematiksel modelinin Lindo 6.1'den elde edilen çözüm sonuçları Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6. 12. Örnek 2. için Lindo programından elde edilen hızlandırma maliyetleri

	5 gün hızlandırma	10 gün hızlandırma	15 gün hızlandırma
Maliyetler	11 TL	26 TL	41 TL

Çizelge 6.12. incelendiğinde projenin 212 günde tamamlanma maliyetinin 11 TL; 207 günde tamamlanma maliyetinin 26 TL ve 202 günde tamamlanma maliyetinin 41 TL arttığı görülmektedir.

Lindo çözümünden elde edilen verilere göre, istenilen tamamlanma zamanında projenin tamamlanması için hangi faaliyetin ne kadar sıkıştırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir;

5 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F2 = 1 gün
- F34 = 4 gün sıkıştırılmıştır.

10 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F2 = 6 gün
- F34 = 4 gün sıkıştırılmıştır.

15 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler sıkıştırılmıştır;

- F2 = 6 gün
- F20 = 2 gün
- F30 = 3 gün
- F34 = 4 gün sıkıştırılmıştır.

Önerilen programa göre; projenin 5, 10 ve 15 gün hızlandırılması için ekstra maliyetler Çizelge 6.13’de verilmiştir.

Çizelge 6. 13. Örnek 2. için önerilen programdan elde edilen hızlandırma maliyetleri

	5 gün hızlandırma	10 gün hızlandırma	15 gün hızlandırma
Maliyetler	13 TL	28 TL	49 TL

Çizelge 6.13. incelendiğinde projenin 212 günde tamamlanma maliyetinin 13 TL; 207 günde tamamlanma maliyetinin 28 TL ve 202 günde tamamlanma maliyetinin 49 TL arttığı görülmektedir.

Önerilen programdan elde edilen verilere göre, istenilen tamamlanma zamanında projenin tamamlanması için hangi faaliyetin ne kadar sıkıştırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir;

5 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F2 = 1 gün
- F34 = 5 gün sıkıştırılmıştır.

10 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

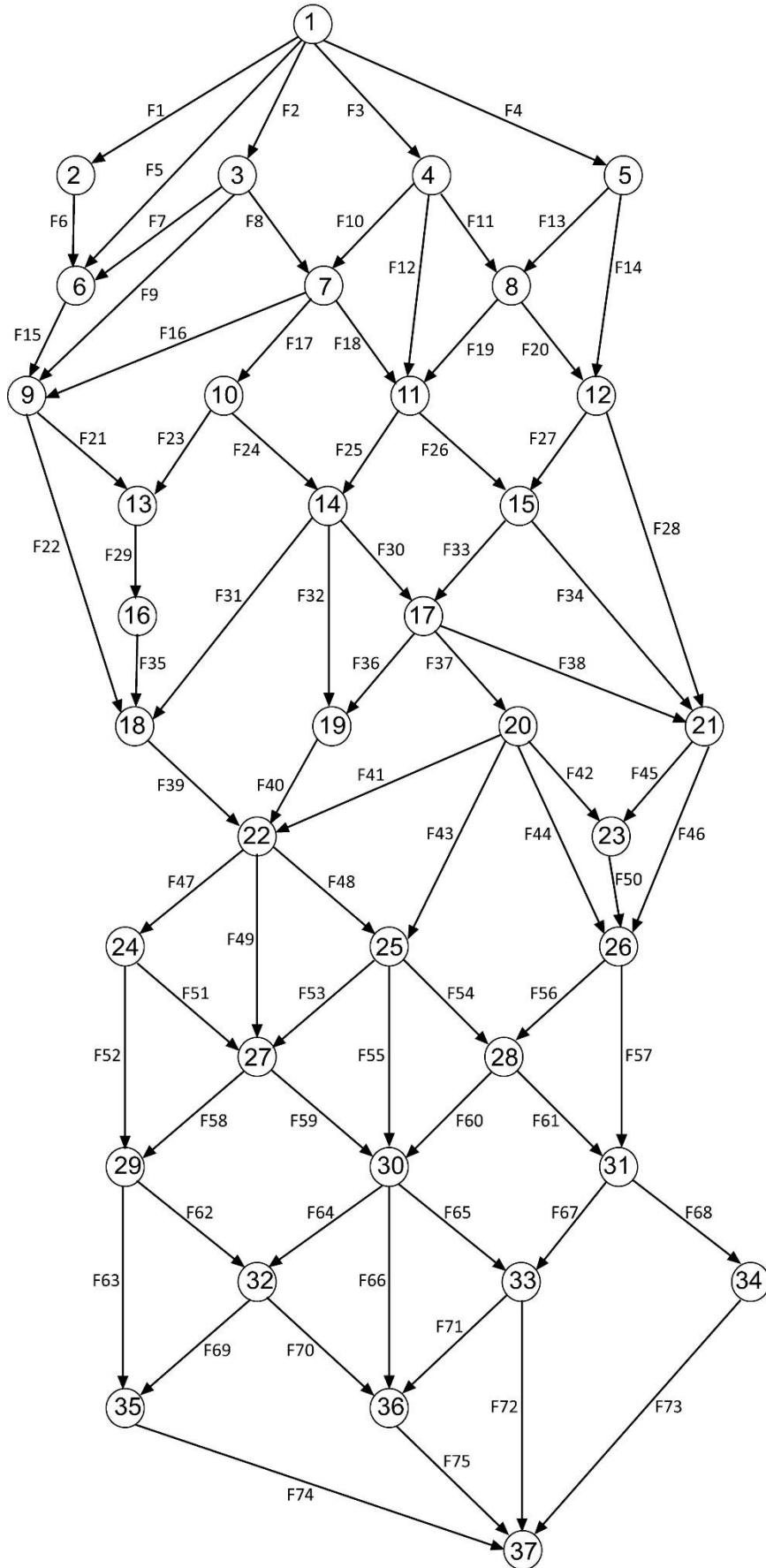
- F2 = 6 gün
- F34 = 5 gün sıkıştırılmıştır.

15 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F2 = 6 gün
- F18 = 3 gün
- F20 = 5 gün
- F34 = 5 gün sıkıştırılmıştır.

6.4. 75 Faaliyetli Örnek Uygulama

75 faaliyetli örnek uygulama için Şekil 6.5.'de görülen 37 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Oluşturulan bu şebekedeki faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri Çizelge 6.14.'de görülmektedir.



Şekil 6. 5. 75 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı

Çizelge 6. 14. 75 faaliyetli örnek için faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri

Faaliyet	Öncül	Ardıl	Faaliyet	Öncül	Ardıl	Faaliyet	Ardıl	Soncul
F1	1	2	F26	11	15	F51	24	27
F2	1	3	F27	12	15	F52	24	29
F3	1	4	F28	12	21	F53	25	27
F4	1	5	F29	13	16	F54	25	28
F5	1	6	F30	14	17	F55	25	30
F6	2	6	F31	14	18	F56	26	28
F7	3	6	F32	14	19	F57	26	31
F8	3	7	F33	15	17	F58	27	29
F9	3	9	F34	15	21	F59	27	30
F10	4	7	F35	16	18	F60	28	30
F11	4	8	F36	17	19	F61	28	31
F12	4	11	F37	17	20	F62	29	32
F13	5	8	F38	17	21	F63	29	35
F14	5	12	F39	18	22	F64	30	32
F15	6	9	F40	19	22	F65	30	33
F16	7	9	F41	20	22	F66	30	36
F17	7	10	F42	20	23	F67	31	33
F18	7	11	F43	20	25	F68	31	34
F19	8	11	F44	20	26	F69	32	35
F20	8	12	F45	21	23	F70	32	36
F21	9	13	F46	21	26	F71	33	36
F22	9	18	F47	22	24	F72	33	37
F23	10	13	F48	22	25	F73	34	37
F24	10	14	F49	22	27	F74	35	37
F25	11	14	F50	23	26	F75	36	37

Çizelge 6.15’de ise zaman maliyet analizi için kullanılacak olan normal zaman (T_n), hızlandırılmış zaman (T_h), normal maliyet (M_n) ve hızlandırılmış maliyet (M_h) bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 6. 15. 75 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizinde gerekli olan veriler

Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh
F1	15	10	320	390	F39	21	12	420	528
F2	21	12	425	515	F40	23	14	455	581
F3	14	8	295	349	F41	17	6	350	526
F4	22	14	378	498	F42	14	12	290	308
F5	18	9	330	456	F43	29	15	625	765
F6	9	5	185	249	F44	24	16	550	582
F7	12	6	202	250	F45	17	12	300	315
F8	26	14	480	588	F46	14	9	250	315
F9	17	9	380	420	F47	8	3	145	215
F10	14	8	250	328	F48	12	6	225	333
F11	24	10	400	540	F49	11	6	200	270
F12	16	14	320	338	F50	21	12	400	571
F13	14	12	265	277	F51	9	4	175	280
F14	21	12	412	538	F52	8	7	150	167
F15	26	14	617	869	F53	16	9	345	443
F16	24	15	525	849	F54	15	13	315	359
F17	18	9	320	428	F55	14	10	280	344
F18	9	4	150	190	F56	21	14	425	551
F19	6	3	118	145	F57	12	9	195	234
F20	11	7	235	247	F58	16	7	360	459
F21	7	2	120	190	F59	23	9	430	542
F22	13	9	285	317	F60	32	25	680	848
F23	14	11	310	328	F61	24	13	415	613
F24	21	17	450	470	F62	16	14	310	342
F25	22	20	465	495	F63	18	11	350	469
F26	14	11	275	335	F64	13	5	225	297
F27	16	9	290	318	F65	9	5	175	219
F28	17	8	350	458	F66	14	8	250	328
F29	10	6	165	193	F67	21	13	395	459
F30	9	5	125	161	F68	16	10	310	382
F31	6	3	92	125	F69	15	8	280	343
F32	19	10	325	451	F70	12	6	225	321
F33	14	8	302	410	F71	18	11	325	451
F34	17	6	330	561	F72	21	14	380	527
F35	13	10	250	295	F73	16	9	310	429
F36	18	9	335	389	F74	18	11	345	478
F37	14	11	275	299	F75	14	9	260	330
F38	16	9	290	367					

Çizelge 6.14. ve Çizelge 6.15.'deki verilerden yararlanılarak, Microsoft Project Professional 2013 programı yardımı ile projenin tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin bilgileri elde edilmiştir

Microsoft Project Professional 2013 programından elde edilen veriler sonucunda;

- Normal zaman göz önüne alındığında projenin tamamlanma zamanı 248 gündür.
- Normal zaman göz önüne alındığında kritik faaliyetler şunlardır; F2, F8, F17, F24, F30, F38, F45, F50, F56, F60, F64, F69 ve F74.
- Hızlandırılmış zaman göz önüne alındığında projenin tamamlanma zamanı 156 gündür.
- Hızlandırılmış zaman göz önüne alındığında kritik faaliyetler şunlardır; F2, F8, F17, F24, F30, F37, F42, F50, F56, F60, F65, F71 ve F74.

Yukarıdaki bilgilere göre, proje tamamlanma zamanı 248 günden 156 güne kadar indirgenebilir.

İlgili örneğin matematiksel modelinin Lindo 6.1’de çözümü sonucu elde edilen tamamlanma zamanı 248 gündür. Ek-5’de matematiksel model verilmiştir.

Çizelge 6.11.’de popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanı ve bulunan farklı yol sayısının değişimleri görülmektedir. Popülasyon sayısındaki değişimleri gözlemlemek için aşağıdaki veriler sabit tutulmuştur;

- Elit Birey sayısı : Popülasyon sayısının %5’i
- Nesil sayısı : 10
- Çaprazlama olasılığı : %2
- Mutasyon olasılığı : % 0,01

Çizelge 6. 16. 75 faaliyetli örnek için popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanının ve bulunan farklı yol sayısının değişimi

	Popülasyon Sayısı								
	5000	7500	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000
Tamamlanma Zamanı	248	248	248	248	248	248	248	248	248
Bulunan Farklı Yol Sayısı	768	1020	1883	2253	2426	2616	2721	2816	2859

Çizelge 6.13.'de görüldüğü üzere 30000 popülasyondan sonra bulunan farklı yol sayısında belirgin bir değişiklik görülmemektedir. Bu yüzden popülasyon sayısı 30000 olarak kabul edilebilir. 30000 popülasyon optimal sonuca ulaşmayı ya da yakınsamayı sağlamada yeterli görülmektedir.

Doğrusal programlama modeli, MS Project 2013 ve önerilen program ile elde edilen tamamlanma zamanları Çizelge 6.17.'de görülmektedir.

Çizelge 6. 17. Örnek 2 için tamamlanma zamanları

	Doğrusal Programlama Modeli	MS Project 2013	Önerilen Program
Tamamlanma zamanı	248 Gün	248 Gün	248 Gün

Çizelge 6.17.'den görüldüğü gibi, önerilen program, doğrusal programlama modeli ve Microsoft Project Professional 2013 programının tamamlanma zamanları aynıdır. Önerilen program ayrıca olası diğer yolları da bulmaktadır.

İlgili örneğin Ek-6'de sunulan zaman-maliyet analizi matematiksel modelinin Lindo 6.1'den elde edilen çözüm sonuçları Çizelge 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6. 18. Örnek 2. için Lindo programından elde edilen hızlandırma maliyetleri

	5 gün hızlandırma	10 gün hızlandırma	15 gün hızlandırma
Maliyetler	15 TL	44 TL	89 TL

Çizelge 6.18. incelendiğinde projenin 243 günde tamamlanma maliyetinin 15 TL; 238 günde tamamlanma maliyetinin 52 TL ve 233 günde tamamlanma maliyetinin 97 TL arttığı görülmektedir.

Lindo çözümünden elde edilen verilere göre, istenilen tamamlanma zamanında projenin tamamlanması için hangi faaliyetin ne kadar sıkıştırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir;

5 gün hızlandırmak için F45 faaliyeti 5 gün sıkıştırılmıştır.

10 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F24 = 4 gün

- F45 = 5
- F69 = 1 gün sıkıştırılmıştır.

15 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F8 = 5 gün
- F24 = 4 gün
- F45 = 5 gün
- F69 = 1 gün sıkıştırılmıştır.

Önerilen programa göre; projenin 5, 10 ve 15 gün hızlandırılması için ekstra maliyetler Çizelge 6.19'da verilmiştir.

Çizelge 6. 19. Örnek 2. için önerilen programdan elde edilen hızlandırma maliyetleri

	5 gün hızlandırma	10 gün hızlandırma	15 gün hızlandırma
Maliyetler	15 TL	44 TL	89 TL

Çizelge 6.19. incelendiğinde projenin 243 günde tamamlanma maliyetinin 15 TL; 238 günde tamamlanma maliyetinin 44 TL ve 233 günde tamamlanma maliyetinin 89 TL arttığı görülmektedir.

Önerilen programdan elde edilen verilere göre, istenilen tamamlanma zamanında projenin tamamlanması için hangi faaliyetin ne kadar sıkıştırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir;

5 gün hızlandırmak için F45 faaliyeti 5 gün sıkıştırılmıştır.

10 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F8 = 1 gün
- F24 = 4 gün
- F45 = 5 gün sıkıştırılmıştır.

15 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F8 = 6 gün
- F24 = 4 gün

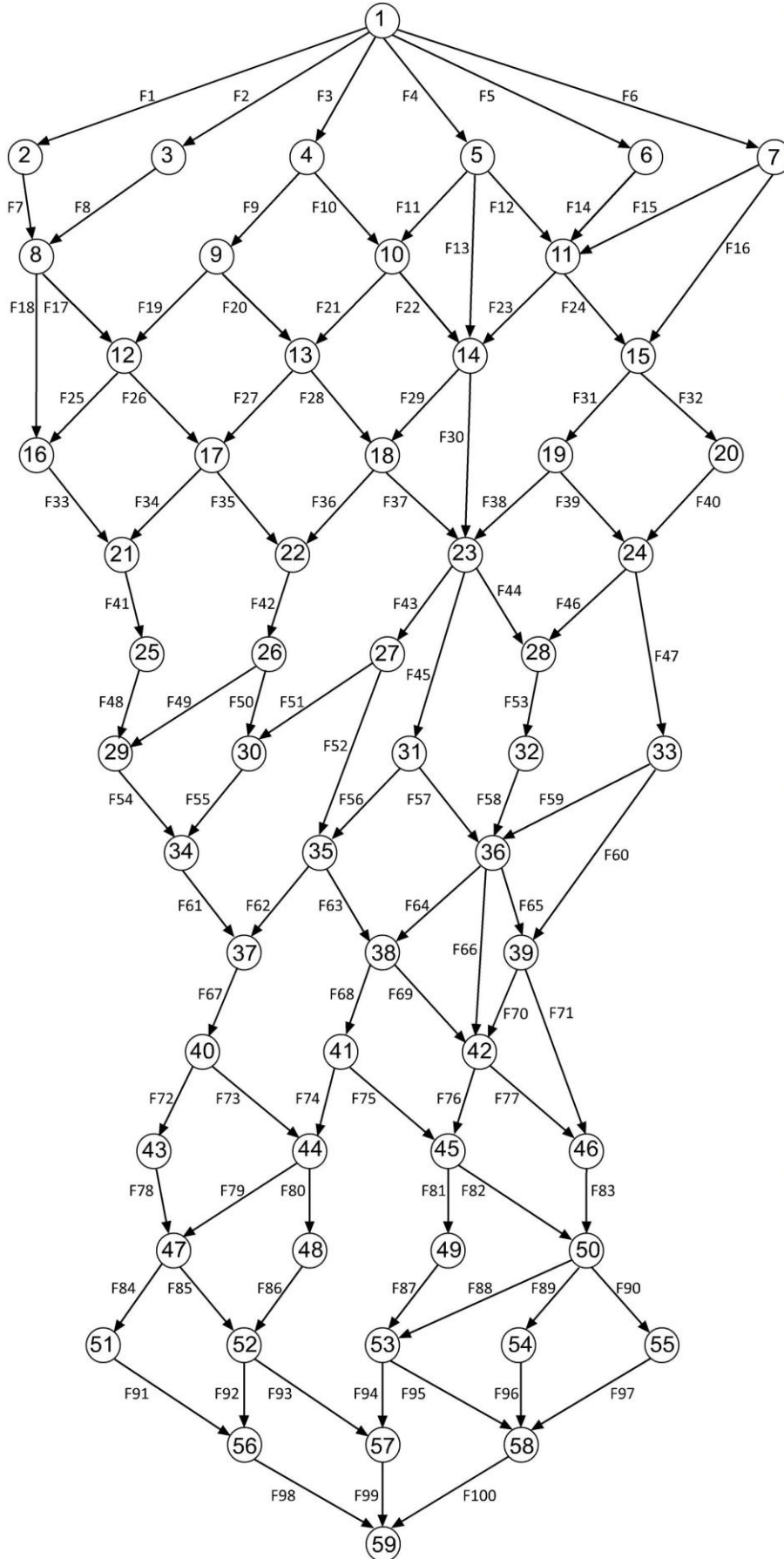
- F45 = 5 gün sıkıştırılmıştır.

6.5. 100 Faaliyetli Örnek Uygulama

100 faaliyetli örnek uygulama için Şekil 6.6.'da görülen 59 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Oluşturulan bu şebekedeki faaliyetlerin öncül ve ardıl düğüm bilgileri Çizelge 6.20.'de görülmektedir.

Çizelge 6. 20. 100 faaliyetli örnek için faaliyetlerin öncül ve soncul düğüm bilgileri

Faaliyet	Öncül	Ardıl	Faaliyet	Öncül	Ardıl	Faaliyet	Öncül	Ardıl	Faaliyet	Öncül	Ardıl
F1	1	2	F26	12	17	F51	27	30	F76	42	45
F2	1	3	F27	13	17	F52	27	35	F77	42	46
F3	1	4	F28	13	18	F53	28	32	F78	43	47
F4	1	5	F29	14	18	F54	29	34	F79	44	47
F5	1	6	F30	14	23	F55	30	34	F80	44	48
F6	1	7	F31	15	19	F56	31	35	F81	45	49
F7	2	8	F32	15	20	F57	31	36	F82	45	50
F8	3	8	F33	16	21	F58	32	36	F83	46	50
F9	4	9	F34	17	21	F59	33	36	F84	47	51
F10	4	10	F35	17	22	F60	33	39	F85	47	52
F11	5	10	F36	18	22	F61	34	37	F86	48	52
F12	5	11	F37	18	23	F62	35	37	F87	49	53
F13	5	14	F38	19	23	F63	35	38	F88	50	53
F14	6	11	F39	19	24	F64	36	38	F89	50	54
F15	7	11	F40	20	24	F65	36	39	F90	50	55
F16	7	15	F41	21	25	F66	36	42	F91	51	56
F17	8	12	F42	22	26	F67	37	40	F92	52	56
F18	8	16	F43	23	27	F68	38	41	F93	52	57
F19	9	12	F44	23	28	F69	38	42	F94	53	57
F20	9	13	F45	23	31	F70	39	42	F95	53	58
F21	10	13	F46	24	28	F71	39	46	F96	54	58
F22	10	14	F47	24	33	F72	40	43	F97	55	58
F23	11	14	F48	25	29	F73	40	44	F98	56	59
F24	11	15	F49	26	29	F74	41	44	F99	57	59
F25	12	16	F50	26	30	F75	41	45	F100	58	59



Şekil 6. 6. 100 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı

Çizelge 6.20. ve Çizelge 6.21'deki verilerden yararlanılarak, Microsoft Project Professional 2013 programı yardımı ile projenin tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin bilgileri elde edilmiştir.

Microsoft Project Professional 2013 programından elde edilen veriler sonucunda;

- Normal zaman göz önüne alındığında projenin tamamlanma zamanı 146 gündür.
- Normal zaman göz önüne alındığında kritik faaliyetler şunlardır; F1, F7, F17, F25, F33, F41, F48, F54, F61, F67, F72, F78, F84, F91 ve F98.
- Hızlandırılmış zaman göz önüne alındığında projenin tamamlanma zamanı 95 gündür.
- Hızlandırılmış zaman göz önüne alındığında kritik faaliyetler şunlardır; F1, F7, F17, F25, F33, F41, F48, F54, F61, F67, F72, F78, F84, F91 ve F98.

Yukarıdaki bilgilere göre, proje tamamlanma zamanı 146 günden 95 güne kadar indirgenebilir.

İlgili örneğin matematiksel modelinin Lindo 6.1'de çözümü sonucu elde edilen tamamlanma zamanı 146 gündür. Ek-7'de matematiksel model verilmiştir.

Çizelge 6.22.'de popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanı ve bulunan farklı yol sayısının değişimleri görülmektedir. Popülasyon sayısındaki değişimleri gözlemlemek için aşağıdaki veriler sabit tutulmuştur;

- Elit Birey sayısı : Popülasyon sayının %5'i
- Nesil sayısı : 10
- Çaprazlama oranı : %2
- Mutasyon oranı : % 0,01

Çizelge 6. 22. 100 faaliyetli örnek için popülasyon sayısına göre tamamlanma zamanının ve bulunan farklı yol sayısının değişimi

	Popülasyon Sayısı						
	25000	30000	40000	50000	60000	75000	100000
Tamamlanma Zamanı	146	146	146	146	146	146	146
Bulunan Farklı Yol Sayısı	2958	3352	3584	3744	3820	3916	4011

Çizelge 6.22.'de görüldüğü üzere 50000 popülasyondan sonra bulunan farklı yol sayısında belirgin bir değişiklik görülmemektedir. Bu yüzden popülasyon sayısı 50000 olarak kabul edilebilir. 50000 popülasyon optimal sonuca ulaşmayı ya da yakınsamayı sağlamada yeterli görülmektedir.

Doğrusal programlama modeli, MS Project 2013 ve önerilen program ile elde edilen tamamlanma zamanları Çizelge 6.23.'de görülmektedir.

Çizelge 6. 23. Örnek 2 için tamamlanma zamanları

	Doğrusal Programlama Modeli	MS Project 2013	Önerilen Program
Tamamlanma zamanı	146 Gün	146 Gün	146 Gün

Çizelge 6.23.'den görüldüğü gibi, önerilen program, doğrusal programlama model ve Microsoft Project Professional 2013 programının tamamlanma zamanları aynıdır. Önerilen program ayrıca olası diğer yolları da bulmaktadır.

İlgili örneğin Ek-8'de sunulan zaman-maliyet analizi matematiksel modelinin Lindo 6.1'den elde edilen çözüm sonuçları Çizelge 6.24'de verilmiştir.

Çizelge 6. 24. Örnek 2. için Lindo programından elde edilen hızlandırma maliyetleri

	5 gün hızlandırma	10 gün hızlandırma	15 gün hızlandırma
Maliyetler	83 TL	171 TL	268 TL

Çizelge 6.18. incelendiğinde projenin 141 günde tamamlanma maliyetinin 83 TL; 136 günde tamamlanma maliyetinin 171 TL ve 131 günde tamamlanma maliyetinin 268 TL arttığı görülmektedir.

Lindo çözümünden elde edilen verilere göre, istenilen tamamlanma zamanında projenin tamamlanması için hangi faaliyetin ne kadar sıkıştırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir;

5 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F25 = 2 gün
- F33 = 3 gün sıkıştırılmıştır.

10 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F7 = 2 gün
- F25 = 2 gün
- F33 = 3 gün
- F67 = 3 gün sıkıştırılmıştır.

15 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F7 = 2 gün
- F25 = 2 gün
- F33 = 3 gün
- F67 = 3 gün
- F78 = 4 gün
- F98 = 1 gün sıkıştırılmıştır.

Önerilen programa göre; projenin 5, 10 ve 15 gün hızlandırılması için ekstra maliyetler Çizelge 6.25’de verilmiştir.

Çizelge 6. 25. Örnek 2. için önerilen programdan elde edilen hızlandırma maliyetleri

	5 gün hızlandırma	10 gün hızlandırma	15 gün hızlandırma
Maliyetler	83 TL	249 TL	375 TL

Çizelge 6.25. incelendiğinde projenin 141 günde tamamlanma maliyetinin 83 TL; 136 günde tamamlanma maliyetinin 249 TL ve 131 günde tamamlanma maliyetinin 375 TL arttığı görülmektedir.

Önerilen programdan elde edilen verilere göre, istenilen tamamlanma zamanında projenin tamamlanması için hangi faaliyetin ne kadar sıkıştırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir;

5 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F7 = 2 gün
- F25 = 2 gün
- F33 = 1 gün sıkıştırılmıştır.

10 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F2 = 1 gün
- F7 = 2 gün
- F25 = 2 gün
- F33 = 6 gün
- F55 = 4 gün sıkıştırılmıştır.

15 gün hızlandırmak için aşağıdaki faaliyetler

- F2 = 1 gün
- F7 = 2 gün
- F25 = 2 gün
- F33 = 6 gün
- F48 = 2 gün
- F51 = 2 gün
- F55 = 4 gün
- F67 = 3 gün sıkıştırılmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Rekabet ortamında bulunan firmalar için projeler kadar projelerin maliyeti, tamamlanma zamanı ve bunlar arasındaki ilişkiyi dengede tutabilmek için zaman-maliyet analizi önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Zaman maliyet analizi küçük boyutlu problemler için matematiksel modeli oluşturularak en iyi şekilde hesaplanabilmektedir. Ancak faaliyet sayısı ve faaliyetler arasındaki ilişkiler arttıkça optimal sonucun bulunmasında zaman ve çözüm açısından zorluklarla karşılaşılabilir. Bu noktada problemlerin çözülmesi için sezgisel algoritmalara gerek duyulmaktadır.

Çalışmada, genetik algoritma kullanılarak şebeke üzerindeki kritik yol/yolları, kritik faaliyetleri ve proje tamamlanma zamanını bulan bir proje planlama ve çizelgeleme programı Visual Studio Professional 2010 ortamında C# programlama dili kullanılarak tasarlanmıştır. Ayrıca tasarlanan bu program sayesinde istenen tamamlanma zamanı için zaman maliyet analizi de yapılabilmektedir.

Tasarlanan programın etkinliği özgün olarak tasarlanmış 25, 50, 75 ve 100 faaliyetli örnek uygulamalarla denenmiştir. Elde edilen sonuçlar, projenin tamamlanma zamanı, kritik yol/yollar ve kritik faaliyetler açısından doğrusal model ve MS Project 2013; istenilen T tamamlanma zamanı için doğrusal model ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar Çizelge 7.1. ve 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7. 1. Tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin doğrusal model, MS Project 2013 ve önerilen program için karşılaştırması

Örnekler	Tamamlanma Zamanı (T.Z.) ve Kritik Faaliyetler (K.F.)								
	Doğrusal Model		MS Project 2013		Önerilen Program				
	T.Z.	K.F.	T.Z.	K.F.	T.Z.	K.F.			
Örnek 1	72	1	F1, F4, F8, F13, F16, F22 ve F24	72	1	F1, F4, F8, F13, F16, F22 ve F24	72	1	F1, F4, F8, F13, F16, F22 ve F24
Örnek 2	217	1	F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F37, F44 ve F49	217	1	F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F37, F44 ve F49	217	1	F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F37, F44 ve F49
		2	F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F38, F46 ve F50		2	F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F38, F46 ve F50		2	F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F38, F46 ve F50
Örnek 3	248	1	F2, F8, F17, F24, F30, F38, F45, F50, F56, F60, F64, F69 ve F74	248	1	F2, F8, F17, F24, F30, F38, F45, F50, F56, F60, F64, F69 ve F74	248	1	F2, F8, F17, F24, F30, F38, F45, F50, F56, F60, F64, F69 ve F74
Örnek 4	146	1	F1, F7, F17, F25, F33, F41, F48, F54, F61, F67, F72, F78, F84, F91 ve F98	146	1	F1, F7, F17, F25, F33, F41, F48, F54, F61, F67, F72, F78, F84, F91 ve F98	146	1	F1, F7, F17, F25, F33, F41, F48, F54, F61, F67, F72, F78, F84, F91 ve F98

Çizelge 7.1. incelendiğinde tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin tüm çözüm yöntemlerinde aynı çıktığı görülmektedir.

Çizelge 7. 2. Her örnek için istenilen tamamlanma zamanında projeyi bitirmek için hızlandırma maliyetleri

Örnekler	Hızlandırma Maliyetleri					
	Doğrusal Model			Önerilen Program		
	5 gün hız.	10 gün hız.	15 gün hız.	5 gün hız.	10 gün hız.	15 gün hız.
Örnek 1	9	28	64	11	33	72
Örnek 2	11	26	41	13	28	49
Örnek 3	15	44	89	15	44	89
Örnek 4	83	171	268	83	249	375

Çizelge 7.2. incelendiğinde hızlandırma maliyetlerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu farklılığın nedeni doğrusal model optimal sonucu verirken önerilen programın optimal veya optimal sonuca yakın çözüm vermesinden kaynaklanmaktadır. Matematiksel modelde sıkıştırma yapıldıkça kritik yol sayısı artması durumunda alternatif kritik yollardaki tüm faaliyetlerin eğimlerine bakılarak en iyisi seçilmektedir. Önerilen programda ise alternatif

kritik yollardan birisi alınarak sıkıştırılmaya devam edilmektedir. Bu durumda maliyetin farklı çıkmasına neden olmaktadır. Sezgisel algoritmanın matematiksel modelden sapma değeri aşağıdaki formül ile hesaplanarak çizelge 7.3.'de verilmektedir;

$$Sapma = \frac{Zs - Zm}{Zm} * 100 \quad (7.1)$$

Çizelge 7. 3. Zaman-maliyet analizi değerlerinin sapması

Örnekler	Sapma		
	5 gün hızlandırma	10 gün hızlandırma	15 gün hızlandırma
Örnek 1	0,22	0,17	0,125
Örnek 2	0,18	0,07	0,19
Örnek 3	0	0	0
Örnek 4	0	0,45	0,39

Çizelge 7.3. incelendiğinde sapmaların farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Bu durum örneklerdeki kritik yol sayısından kaynaklanmaktadır.

Önerilen program genetik algoritma temellidir. Genetik algoritma, popülasyon tabanlı bir algoritma olduğu için nesil sayısı ve popülasyon sayısı algoritma için büyük önem taşır. Bu nedenle bu iki değişkenin seçimi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Eğer bu iki değişken çok yüksek seçilirse algoritmanın çalışma süresi uzayacaktır. Bunun anlamı, yolların elde edilme süresinde, kullanıcı sonucu elde etmek için daha fazla bekleyecektir. Eğer bu değerler düşük seçilirse de bulunacak yol sayısı optimal sonuca ulaşmak veya yakınsamak için yeterli olmayabilir. Bekleme süresini azaltmak ve optimal değeri bulmak veya yaklaşmak için nesil sayısı ve popülasyon sayısı uygun değerlerde tutulmalıdır. Bu yüzden, örneklerde kullanılan nesil ve popülasyon sayısı değerleri belirli deneme ve yanılma uygulamaları yapılarak seçilmiştir.

Çizelge 7. 4. Örneklerde kullanılan genetik algoritma bileşenlerinin değerleri

	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4
Popülasyon Sayısı	50	3500	30000	50000
Nesil Sayısı	10	10	10	10
Elit Birey Sayısı	3	175	1500	2500
Çaprazlama Oranı	2	2	2	2
Mutasyon Oranı	0,01	0,01	0,01	0,01

Çizelge 7.4. incelendiğinde popülasyon ve elit birey sayısının değişiklik gösterdiği görülmektedir. Elit birey sayısının, literatür araştırmalarında popülasyon sayısının %5'i kadar olması önerilmektedir. Çalışmada farklı popülasyon sayılarının yüzde %1'i ve %5'i alınarak farklı denemeler yapılmış ve %5'in uygun olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada popülasyon sayısı başlangıç ve bitiş arasındaki yolların bulunmasında önem teşkil etmektedir. Popülasyon sayısının düşük olması zaman-maliyet analizinin en iyi değerden uzaklaşılmasına neden olur. Bu nedenle özellikle büyük boyutlu şebekelerde bu değerin yüksek tutulması gerekmektedir. Çalışmada her bir örnek için popülasyon sayısını belirlemek için denemeler yapılmıştır ve bu denemeler çizelgelerde sunulmuştur. Şebekenin karmaşıklığına göre popülasyon sayısının deneme yanılma yöntemi ile belirlenmesi önerilmektedir.

Zaman-maliyet analizinde kullanılan doğrusal model ile önerilen algoritmanın sıkıştırma maliyetlerinin farklı olmasının nedeni önerilen algoritmada kritik yollardan biri seşilerek işlem yapılmasıdır. Optimal sonucu yakalamak için önerilen algoritmada kritik yollardaki faaliyetlerin sıkıştırma durumlarının tümü incelenerek indirgenecek olan faaliyete karar vermek üzere algoritma iyileştirilebilir. Ayrıca, zaman-maliyet analizi farklı sezgisel algoritmalarla veya algoritmaların melezlenmesiyle daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Project Management Institute, (2009), *Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Klavuzu (PMBok Kılavuzu)*, İstanbul, ANSI/PMI 99-001-2008, PMI, 4. Baskı.,
2. İnternet : Proje ve Proje Yöneticisi. Proje Yönetimi Derneği. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.pyd.org.tr%2Ficerik-sozluk%23.U_26f_1_uSp&date=2014-08-27 Son Erişim Tarihi: 27.08.2014.
3. İnternet : Türk Dil Kurumu. Proje nedir?. Türk Dil Kurumu. URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tdk.gov.tr%2Findex.php%3Foption%3Dcom_gts%26arama%3Dgts%26guid%3DTDK.GTS.53f73625041467.78220039&date=2014-08-22. Son Erişim Tarihi: 22.08.2014.
4. Türkiye Bilişim Derneği, (1999), *Bilişim Projeleri Yönetimi El Kitabı*, Ankara, Türkiye Bilişim Derneği Yayınları.
5. Gitmez, Y., (1999), *Proje Yönetiminde Yönetim Fonksiyonları ve Bir Uygulama*, Eskişehir, Anadolu Üniversitesi, 88.
6. Kerzner, H., (2009), *Project Management A System Approach to Planning, Scheduling and Controlling*, New Jersey: John Wiley.
7. Peşkircioğlu, N., (1989), *Proje Yönetimi ve Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Uygulama Özellikleri*, Ankara: PMP Yayınları, 4.
8. Çimen, S., (1994), *Projelerde Başarıyı Belirleyen Faktörler ve Kamu Kuruluşlarında Bu Faktörlere Yaklaşımın Belirlenmesi*, DPT Uzmanlık Tezleri, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
9. Kerzner, H., (2003), *Project Management*, New Jersey: John Wiley&Sons, 8.Baskı.

10. Ulukan, Z., (1992), *Proje Yönetiminde Kantitatif Yöntemlerin Uygulanması*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8.
11. Westland, J., (2006), *Project Management Life Cycle*, London: Kogan Page Ltd..
12. Kobu, B., (1999), *Üretim Yönetimi*, İstanbul: İİE Araştırma ve Yardım Vakfı, 447.
13. Usta, A., (2012), Kamusal Kalkınmada Proje Yönetimine Yönelik Modelsel Bir Yaklaşım, *Verimlilik Dergisi*, 3, 115-139.
14. Demirbağ, H., (2008), *Proje Hazırlama ve Yönetme Rehberi*, Ankara: T.C. Başbakanlık Diyanet İşleri Başkanlığı Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 59.
15. Çelik, M. H., Kanıt, R., Erdiller, G., Erdamar, M., (1995), Ankara İli Delice İlçesi Köprüsünün Cpm Metodu ile Mühendislik Kriterlerinin Belirlenmesi, *Journal of Engineering Sciences*, 1, 95-103.
16. Gorman, T., (1998), *Complete Idiot's Guide to MBA Basics*, Indianapolis: Alphabooks, 101.
17. Pennypacker, J., (2002), *Managing Multiple Projects*, New York: Marcel Dekker Incorporated, 15.
18. Gencer, C. (2014, 20 Ağustos). Prof. Dr. Cevriye GENCER Proje Yönetimi Lisanüstü Ders Notları. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ankara.
19. İnternet: İnşaat Bölümü Yapı Dersleri Arşivi. Kritik Yol Yöntemi. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fders.insaatbolumu.com%2Fyapi-yonetimi%2Fcpm-kritik-yol-yontemi-critical-path-method%2Fall%2F1%2F&date=2014-08-22>. Son Erişim Tarihi: 22.08.2014.

20. Özdemir, G., (2006), *Kısıtlı Kaynaklarla Proje Çizelgeleme Problemlerinde Kullanılan Genetik Algoritma Metotları ve Bunların Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 6.
21. Levin, R. I., Kirkpatrick, C. A., (1973), *PERT ve CPM İle Planlama ve Denetim*, Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi İdari Bilimler Fakültesi, 2. Baskı.
22. Temiz Kutlu, N., (2001), Proje Planlama Teknikleri ve Pert Tekniğinin İnşaat Sektöründe Uygulanması Üzerine Bir Çalışma, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 3.
23. Rowe, K., (1975), *Management Techniques For Civil Engineering Construction*, London: Applied Science Publishers Ltd..
24. Schleip, W, Schleip, R., (1972), *Planning and Control in Management: The German RPS System*, England: Peter Peregrinus Ltd..
25. Sarıca, İ., (2006), *CPM ve PERT Teknikleriyle Proje Planlama ve Bir İşletmede Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa, 76-77.
26. Akcayol, M. (2012, 20 Kasım). Prof. Dr. M. Ali AKCAYOL Zeki Optimizasyon Teknikleri Lisanüstü Ders Notları. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ankara.
27. Efe, Ö., Kaynak, O, (2000), *Yapay Sinir Ağları Ve Uygulamaları*, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.
28. Dağ, Z. T., (2012), *Avuç İçi Terlemesi İle Kandaki Glikoz Ve Hba1c Parametreleri Arasındaki İlişkinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 35.
29. Reed, R. D., Marks R. J., (1999), *Neural Smithing: Supervised Learning*, Massachusetts: The MIT Press.

30. Emir, Ş., (2013), *Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri Yöntemlerinin Sınıflandırma Performanslarının Karşılaştırılması: Borsa Endeks Yönünün Tahmini Üzerine Bir Uygulama*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 49,72.
31. İnternet: YSA Modeli. FANNTOOL. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffanntool.blogspot.com.tr%2Fp%2Fysa-nedir.html&date=2014-08-22>. Son Erişim Tarihi: 22.08.2014.
32. Cura, T., (2008), *Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları*, İstanbul: Papatya Yayıncılık.
33. Engin, T., (2013), *Genetik Algoritma İle Toplu Ulaşım Sistemi Hareket Çizelgesi Optimizasyonu: Çanakkale Örneği*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 15, 16, 25.
34. Uçaner, M. E., Özdemir O. N., (2002), Genetik algoritmalar ile içme suyu şebekelerinde ek klorlama optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), 160.
35. Şen, Z., (2004), *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları, 2. Baskı.
36. Karlı, N., (2010), *Akıllı Ulaşım Sistemleri İçin Yapay Bağışıklık Sistemleri ve Genetik Algoritma İle Yeni Stokastik En Kısa Yol Algoritmalarının Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 45.
37. Şen, G., (2010), *Sivulaşma Riskinin Belirlenmesinde Genetik Algoritma Yaklaşımı*, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 20-22.
38. Tabak, Ö., (2008), *Genetik Algoritma ile Kapasiteli Servis Güzergâhı Belirlenmesi ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 7.

39. Emel, G. G., Taşkın, Ç., (2002), *Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları*, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21(1), 129-152.
40. Önder, E., (2011), *Araç Rotalama Problemlerinin Parçacık Sürü ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 116.
41. Goldberg, D. E., Deb, K., (1991) A Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms, In: Rawlins, G.J.E, *Foundations of Genetic Algorithms*, San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers, 78.

EKLER

EK-1. 25 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

```
MIN X18-X1
ST
X2 - X1 >= 9
X3 - X1 >= 8
X4 - X1 >= 5
X5 - X2 >= 12
X6 - X3 >= 9
X6 - X4 >= 6
X7 - X4 >= 11
X8 - X5 >= 6
X9 - X6 >= 7
X9 - X7 >= 14
X12 - X7 >= 5
X9 - X8 >= 9
X10 - X8 >= 15
X11 - X9 >= 8
X13 - X10 >= 4
X15 - X10 >= 12
X13 - X11 >= 5
X14 - X11 >= 8
X14 - X12 >= 10
X16 - X13 >= 11
X17 - X14 >= 9
X16 - X15 >= 13
X18 - X15 >= 6
X18 - X16 >= 5
X18 - X17 >= 8
X1 = 0
Xj >= 0 (j = 2 to 18)
END
```

EK-2. 25 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$\text{MIN } 3F1 + 6F2 + 7F3 + 4F4 + 3F5 + 2F6 + 5F7 + 5F8 + 4F9 + 7F10 + 2F11 + 2F12 + \\ F13 + 3F14 + F15 + 3F16 + 5F17 + 4F18 + 5F19 + 3F20 + 6F21 + 4F22 + 2F23 + \\ 4F24 + 5F25$$

ST

$$X2 + F1 - X1 \geq 9$$

$$X3 + F2 - X1 \geq 8$$

$$X4 + F3 - X1 \geq 5$$

$$X5 + F4 - X2 \geq 12$$

$$X6 + F5 - X3 \geq 9$$

$$X6 + F6 - X4 \geq 6$$

$$X7 + F7 - X4 \geq 11$$

$$X8 + F8 - X5 \geq 6$$

$$X9 + F9 - X6 \geq 7$$

$$X9 + F10 - X7 \geq 14$$

$$X12 + F11 - X7 \geq 5$$

$$X9 + F12 - X8 \geq 9$$

$$X10 + F13 - X8 \geq 15$$

$$X11 + F14 - X9 \geq 8$$

$$X13 + F15 - X10 \geq 4$$

$$X15 + F16 - X10 \geq 12$$

$$X13 + F17 - X11 \geq 5$$

$$X14 + F18 - X11 \geq 8$$

$$X14 + F19 - X12 \geq 10$$

$$X16 + F20 - X13 \geq 11$$

$$X17 + F21 - X14 \geq 9$$

$$X16 + F22 - X15 \geq 13$$

$$X18 + F23 - X15 \geq 6$$

$$X18 + F24 - X16 \geq 5$$

$$X18 + F25 - X17 \geq 8$$

$$X_j \geq 0 \quad (j = 1 \text{ to } 17)$$

$$X18 = i \quad (i = 67, 62 \text{ ve } 57)$$

EK-2. (devam) 25 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

! Faaliyetlerin sıkıştırılabilme değerleri (T_n-M_n);

F1 <= 3
F2 <= 1
F3 <= 2
F4 <= 4
F5 <= 2
F6 <= 3
F7 <= 3
F8 <= 2
F9 <= 2
F10 <= 6
F11 <= 3
F12 <= 4
F13 <= 4
F14 <= 2
F15 <= 1
F16 <= 3
F17 <= 2
F18 <= 4
F19 <= 3
F20 <= 4
F21 <= 3
F22 <= 5
F23 <= 4
F24 <= 2
F25 <= 5

! Faaliyetlerin sıfırdan büyük olma kısıtı;

$F_i \geq 0$ (i = 1 to 25)

END

EK-3. 50 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

MIN X29 - X1

ST

X2 - X1 \geq 12

X3 - X1 \geq 15

X4 - X1 \geq 14

X6 - X2 \geq 20

X4 - X3 \geq 18

X5 - X3 \geq 16

X5 - X4 \geq 12

X6 - X4 \geq 9

X7 - X4 \geq 8

X9 - X5 \geq 14

X8 - X6 \geq 17

X8 - X7 \geq 32

X9 - X7 \geq 24

X10 - X8 \geq 20

X11 - X8 \geq 14

X10 - X9 \geq 18

X12 - X9 \geq 15

X14 - X10 \geq 16

X13 - X11 \geq 21

X14 - X11 \geq 24

X14 - X12 \geq 18

X15 - X12 \geq 16

X21 - X12 \geq 14

X16 - X13 \geq 8

X18 - X13 \geq 6

X16 - X14 \geq 18

X17 - X14 \geq 9

X17 - X15 \geq 14

X21 - X15 \geq 5

X18 - X16 \geq 33

EK-3. (devam) 50 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

$$X_{19} - X_{16} \geq 24$$

$$X_{19} - X_{17} \geq 15$$

$$X_{20} - X_{17} \geq 6$$

$$X_{19} - X_{18} \geq 18$$

$$X_{22} - X_{18} \geq 25$$

$$X_{23} - X_{18} \geq 21$$

$$X_{23} - X_{19} \geq 7$$

$$X_{24} - X_{19} \geq 12$$

$$X_{24} - X_{20} \geq 16$$

$$X_{24} - X_{21} \geq 14$$

$$X_{25} - X_{21} \geq 13$$

$$X_{26} - X_{22} \geq 8$$

$$X_{26} - X_{23} \geq 12$$

$$X_{27} - X_{23} \geq 15$$

$$X_{27} - X_{24} \geq 9$$

$$X_{28} - X_{24} \geq 11$$

$$X_{28} - X_{25} \geq 13$$

$$X_{29} - X_{26} \geq 17$$

$$X_{29} - X_{27} \geq 15$$

$$X_{29} - X_{28} \geq 14$$

$$X_1 = 0$$

$$X_j \geq 0 \quad (j = 2 \text{ to } 29)$$

EK-4. 50 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$\begin{aligned} \text{MIN } & 5F1 + 3F2 + 4F3 + 4F4 + 5F5 + 6F6 + 11F7 + 8F8 + 7F9 + 6F10 + 7F11 + 5F12 + \\ & 3F13 + 5F14 + 9F15 + 10F16 + 8F17 + 2F18 + 2F19 + 3F20 + 7F21 + 6F22 + 8F23 \\ & + 5F24 + 7F25 + 5F26 + F27 + 6F28 + 12F29 + 3F30 + 5F31 + 6F32 + 7F33 + 2F34 \\ & + 3F35 + 4F36 + 8F37 + 5F38 + 3F39 + 6F40 + 7F41 + 9F42 + 10F43 + 5F44 + 4F45 \\ & + 4F46 + 6F47 + 5F48 + 6F49 + 7F50 \end{aligned}$$

ST

$$X2 + F1 - X1 \geq 12$$

$$X3 + F2 - X1 \geq 15$$

$$X4 + F3 - X1 \geq 14$$

$$X6 + F4 - X2 \geq 20$$

$$X4 + F5 - X3 \geq 18$$

$$X5 + F6 - X3 \geq 16$$

$$X5 + F7 - X4 \geq 12$$

$$X6 + F8 - X4 \geq 9$$

$$X7 + F9 - X4 \geq 8$$

$$X9 + F10 - X5 \geq 14$$

$$X8 + F11 - X6 \geq 17$$

$$X8 + F12 - X7 \geq 32$$

$$X9 + F13 - X7 \geq 24$$

$$X10 + F14 - X8 \geq 20$$

$$X11 + F15 - X8 \geq 14$$

$$X10 + F16 - X9 \geq 18$$

$$X12 + F17 - X9 \geq 15$$

$$X14 + F18 - X10 \geq 16$$

$$X13 + F19 - X11 \geq 21$$

$$X14 + F20 - X11 \geq 24$$

$$X14 + F21 - X12 \geq 18$$

$$X15 + F22 - X12 \geq 16$$

$$X21 + F23 - X12 \geq 14$$

$$X16 + F24 - X13 \geq 8$$

$$X18 + F25 - X13 \geq 6$$

EK-4. (devam) 50 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$X16 + F26 - X14 \geq 18$$

$$X17 + F27 - X14 \geq 9$$

$$X17 + F28 - X15 \geq 14$$

$$X21 + F29 - X15 \geq 5$$

$$X18 + F30 - X16 \geq 33$$

$$X19 + F31 - X16 \geq 24$$

$$X19 + F32 - X17 \geq 15$$

$$X20 + F33 - X17 \geq 6$$

$$X19 + F34 - X18 \geq 18$$

$$X22 + F35 - X18 \geq 25$$

$$X23 + F36 - X18 \geq 21$$

$$X23 + F37 - X19 \geq 7$$

$$X24 + F38 - X19 \geq 12$$

$$X24 + F39 - X20 \geq 16$$

$$X24 + F40 - X21 \geq 14$$

$$X25 + F41 - X21 \geq 13$$

$$X26 + F42 - X22 \geq 8$$

$$X26 + F43 - X23 \geq 12$$

$$X27 + F44 - X23 \geq 15$$

$$X27 + F45 - X24 \geq 9$$

$$X28 + F46 - X24 \geq 11$$

$$X28 + F47 - X25 \geq 13$$

$$X29 + F48 - X26 \geq 17$$

$$X29 + F49 - X27 \geq 15$$

$$X29 + F50 - X28 \geq 14$$

$$X_j \geq 0 \quad (j = 1 \text{ to } 28)$$

$$X29 = i \quad (i = 212, 207 \text{ ve } 202)$$

! Faaliyetlerin sıkıştırılabilme değerleri ($T_n - M_n$);

$$F1 \leq 4$$

$$F2 \leq 6$$

EK-4. (devam) 50 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$F3 \leq 7$$

$$F4 \leq 8$$

$$F5 \leq 8$$

$$F6 \leq 7$$

$$F7 \leq 4$$

$$F8 \leq 3$$

$$F9 \leq 3$$

$$F10 \leq 5$$

$$F11 \leq 6$$

$$F12 \leq 11$$

$$F13 \leq 10$$

$$F14 \leq 12$$

$$F15 \leq 6$$

$$F16 \leq 7$$

$$F17 \leq 7$$

$$F18 \leq 7$$

$$F19 \leq 6$$

$$F20 \leq 15$$

$$F21 \leq 6$$

$$F22 \leq 10$$

$$F23 \leq 3$$

$$F24 \leq 3$$

$$F25 \leq 2$$

$$F26 \leq 6$$

$$F27 \leq 3$$

$$F28 \leq 6$$

$$F29 \leq 2$$

$$F30 \leq 12$$

$$F31 \leq 6$$

$$F32 \leq 8$$

$$F33 \leq 3$$

EK-4. (devam) 50 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

F34 <= 6

F35 <= 12

F36 <= 9

F37 <= 2

F38 <= 4

F39 <= 7

F40 <= 7

F41 <= 6

F42 <= 3

F43 <= 5

F44 <= 7

F45 <= 4

F46 <= 5

F47 <= 5

F48 <= 9

F49 <= 8

F50 <= 6

! Faaliyetlerin sıfırdan büyük olma kısıtı;

$F_i \geq 0$ (i = 1 to 50)

END

EK-5. 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

Min $X_{37} - X_1$

ST

$X_2 - X_1 \geq 15$

$X_3 - X_1 \geq 21$

$X_4 - X_1 \geq 14$

$X_5 - X_1 \geq 22$

$X_6 - X_1 \geq 18$

$X_6 - X_2 \geq 9$

$X_6 - X_3 \geq 12$

$X_7 - X_3 \geq 26$

$X_9 - X_3 \geq 17$

$X_7 - X_4 \geq 14$

$X_8 - X_4 \geq 24$

$X_{11} - X_4 \geq 16$

$X_8 - X_5 \geq 14$

$X_{12} - X_5 \geq 21$

$X_9 - X_6 \geq 26$

$X_9 - X_7 \geq 24$

$X_{10} - X_7 \geq 18$

$X_{11} - X_7 \geq 9$

$X_{11} - X_8 \geq 6$

$X_{12} - X_8 \geq 11$

$X_{13} - X_9 \geq 7$

$X_{18} - X_9 \geq 13$

$X_{13} - X_{10} \geq 14$

$X_{14} - X_{10} \geq 21$

$X_{14} - X_{11} \geq 22$

$X_{15} - X_{11} \geq 14$

$X_{15} - X_{12} \geq 16$

$X_{21} - X_{12} \geq 17$

$X_{16} - X_{13} \geq 10$

EK-5. (devam) 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

$$X17 - X14 \geq 9$$

$$X18 - X14 \geq 6$$

$$X19 - X14 \geq 19$$

$$X17 - X15 \geq 14$$

$$X21 - X15 \geq 17$$

$$X18 - X16 \geq 13$$

$$X19 - X17 \geq 18$$

$$X20 - X17 \geq 14$$

$$X21 - X17 \geq 16$$

$$X22 - X18 \geq 21$$

$$X22 - X19 \geq 23$$

$$X22 - X20 \geq 17$$

$$X23 - X20 \geq 14$$

$$X25 - X20 \geq 29$$

$$X26 - X20 \geq 24$$

$$X23 - X21 \geq 17$$

$$X26 - X21 \geq 14$$

$$X24 - X22 \geq 8$$

$$X25 - X22 \geq 12$$

$$X27 - X22 \geq 11$$

$$X26 - X23 \geq 21$$

$$X27 - X24 \geq 9$$

$$X29 - X24 \geq 8$$

$$X27 - X25 \geq 16$$

$$X28 - X25 \geq 15$$

$$X30 - X25 \geq 14$$

$$X28 - X26 \geq 21$$

$$X31 - X26 \geq 12$$

$$X29 - X27 \geq 16$$

$$X30 - X27 \geq 23$$

$$X30 - X28 \geq 32$$

EK-5. (devam) 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

$$X_{31} - X_{28} \geq 24$$

$$X_{32} - X_{29} \geq 16$$

$$X_{35} - X_{29} \geq 18$$

$$X_{32} - X_{30} \geq 13$$

$$X_{33} - X_{30} \geq 9$$

$$X_{36} - X_{30} \geq 14$$

$$X_{33} - X_{31} \geq 21$$

$$X_{34} - X_{31} \geq 16$$

$$X_{35} - X_{32} \geq 15$$

$$X_{36} - X_{32} \geq 12$$

$$X_{36} - X_{33} \geq 18$$

$$X_{37} - X_{33} \geq 21$$

$$X_{37} - X_{34} \geq 16$$

$$X_{37} - X_{35} \geq 18$$

$$X_{37} - X_{36} \geq 14$$

$$X_1 = 0$$

$$X_j \geq 0 \quad (j = 2 \text{ to } 37)$$

EK-6. 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$\begin{aligned} \text{MIN } & 14F1 + 10F2 + 9F3 + 15F4 + 14F5 + 16F6 + 8F7 + 9F8 + 5F9 + 13F10 + 10F11 + \\ & 9F12 + 6F13 + 14F14 + 21F15 + 36F16 + 12F17 + 8F18 + 9F19 + 3F20 + 14F21 + \\ & 8F22 + 6F23 + 5F24 + 15F25 + 20F26 + 4F27 + 12F28 + 7F29 + 9F30 + 11F31 + \\ & 14F32 + 18F33 + 21F34 + 15F35 + 6F36 + 8F37 + 11F38 + 12F39 + 14F40 + 16F41 \\ & + 9F42 + 10F43 + 4F44 + 3F45 + 13F46 + 14F47 + 18F48 + 14F49 + 19F50 + 21F51 \\ & + 17F52 + 14F53 + 22F54 + 16F55 + 18F56 + 13F57 + 11F58 + 8F59 + 24F60 + \\ & 18F61 + 16F62 + 17F63 + 9F64 + 11F65 + 13F66 + 8F67 + 12F68 + 9F69 + 16F70 + \\ & 18F71 + 21F72 + 17F73 + 19F74 + 14F75 \end{aligned}$$

ST

$$X2 + F1 - X1 \geq 15$$

$$X3 + F2 - X1 \geq 21$$

$$X4 + F3 - X1 \geq 14$$

$$X5 + F4 - X1 \geq 22$$

$$X6 + F5 - X1 \geq 18$$

$$X6 + F6 - X2 \geq 9$$

$$X6 + F7 - X3 \geq 12$$

$$X7 + F8 - X3 \geq 26$$

$$X9 + F9 - X3 \geq 17$$

$$X7 + F10 - X4 \geq 14$$

$$X8 + F11 - X4 \geq 24$$

$$X11 + F12 - X4 \geq 16$$

$$X8 + F13 - X5 \geq 14$$

$$X12 + F14 - X5 \geq 21$$

$$X9 + F15 - X6 \geq 26$$

$$X9 + F16 - X7 \geq 24$$

$$X10 + F17 - X7 \geq 18$$

$$X11 + F18 - X7 \geq 9$$

$$X11 + F19 - X8 \geq 6$$

$$X12 + F20 - X8 \geq 11$$

$$X13 + F21 - X9 \geq 7$$

EK-6. (devam) 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$X18 + F22 - X9 \geq 13$$

$$X13 + F23 - X10 \geq 14$$

$$X14 + F24 - X10 \geq 21$$

$$X14 + F25 - X11 \geq 22$$

$$X15 + F26 - X11 \geq 14$$

$$X15 + F27 - X12 \geq 16$$

$$X21 + F28 - X12 \geq 17$$

$$X16 + F29 - X13 \geq 10$$

$$X17 + F30 - X14 \geq 9$$

$$X18 + F31 - X14 \geq 6$$

$$X19 + F32 - X14 \geq 19$$

$$X17 + F33 - X15 \geq 14$$

$$X21 + F34 - X15 \geq 17$$

$$X18 + F35 - X16 \geq 13$$

$$X19 + F36 - X17 \geq 18$$

$$X20 + F37 - X17 \geq 14$$

$$X21 + F38 - X17 \geq 16$$

$$X22 + F39 - X18 \geq 21$$

$$X22 + F40 - X19 \geq 23$$

$$X22 + F41 - X20 \geq 17$$

$$X23 + F42 - X20 \geq 14$$

$$X25 + F43 - X20 \geq 29$$

$$X26 + F44 - X20 \geq 24$$

$$X23 + F45 - X21 \geq 17$$

$$X26 + F46 - X21 \geq 14$$

$$X24 + F47 - X22 \geq 8$$

$$X25 + F48 - X22 \geq 12$$

$$X27 + F49 - X22 \geq 11$$

$$X26 + F50 - X23 \geq 21$$

$$X27 + F51 - X24 \geq 9$$

$$X29 + F52 - X24 \geq 8$$

EK-6. (devam) 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$X27 + F53 - X25 \geq 16$$

$$X28 + F54 - X25 \geq 15$$

$$X30 + F55 - X25 \geq 14$$

$$X28 + F56 - X26 \geq 21$$

$$X31 + F57 - X26 \geq 12$$

$$X29 + F58 - X27 \geq 16$$

$$X30 + F59 - X27 \geq 23$$

$$X30 + F60 - X28 \geq 32$$

$$X31 + F61 - X28 \geq 24$$

$$X32 + F62 - X29 \geq 16$$

$$X35 + F63 - X29 \geq 18$$

$$X32 + F64 - X30 \geq 13$$

$$X33 + F65 - X30 \geq 9$$

$$X36 + F66 - X30 \geq 14$$

$$X33 + F67 - X31 \geq 21$$

$$X34 + F68 - X31 \geq 16$$

$$X35 + F69 - X32 \geq 15$$

$$X36 + F70 - X32 \geq 12$$

$$X36 + F71 - X33 \geq 18$$

$$X37 + F72 - X33 \geq 21$$

$$X37 + F73 - X34 \geq 16$$

$$X37 + F74 - X35 \geq 18$$

$$X37 + F75 - X36 \geq 14$$

$$X_j \geq 0 \quad (j = 1 \text{ to } 36)$$

$$X37 = i \quad (i = 243, 238 \text{ ve } 233)$$

! Faaliyetlerin sıkıştırılabilme değerleri ($T_n - M_n$);

$$F1 \leq 5$$

$$F2 \leq 9$$

$$F3 \leq 6$$

$$F4 \leq 8$$

EK-6. (devam) 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

F5 <= 9
F6 <= 4
F7 <= 6
F8 <= 12
F9 <= 8
F10 <= 6
F11 <= 14
F12 <= 2
F13 <= 2
F14 <= 9
F15 <= 12
F16 <= 9
F17 <= 9
F18 <= 5
F19 <= 3
F20 <= 4
F21 <= 5
F22 <= 4
F23 <= 3
F24 <= 4
F25 <= 2
F26 <= 3
F27 <= 7
F28 <= 9
F29 <= 4
F30 <= 4
F31 <= 3
F32 <= 9
F33 <= 6
F34 <= 11
F35 <= 3

EK-6. (devam) 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$F36 \leq 9$$

$$F37 \leq 3$$

$$F38 \leq 7$$

$$F39 \leq 9$$

$$F40 \leq 9$$

$$F41 \leq 11$$

$$F42 \leq 2$$

$$F43 \leq 14$$

$$F44 \leq 8$$

$$F45 \leq 5$$

$$F46 \leq 5$$

$$F47 \leq 5$$

$$F48 \leq 6$$

$$F49 \leq 5$$

$$F50 \leq 9$$

$$F51 \leq 5$$

$$F52 \leq 1$$

$$F53 \leq 7$$

$$F54 \leq 2$$

$$F55 \leq 4$$

$$F56 \leq 7$$

$$F57 \leq 3$$

$$F58 \leq 9$$

$$F59 \leq 14$$

$$F60 \leq 7$$

$$F61 \leq 11$$

$$F62 \leq 2$$

$$F63 \leq 7$$

$$F64 \leq 8$$

$$F65 \leq 4$$

$$F66 \leq 6$$

EK-6. (devam) 75 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

F67 \leq 8

F68 \leq 6

F69 \leq 7

F70 \leq 6

F71 \leq 7

F72 \leq 7

F73 \leq 7

F74 \leq 7

F75 \leq 5

! Faaliyetlerin sıfırdan büyük olma kısıtı;

$F_i \geq 0$ (i = 1 to 75)

END

EK-7. 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

Min $X_{59} - X_1$

ST

$X_2 - X_1 \geq 9$

$X_3 - X_1 \geq 5$

$X_4 - X_1 \geq 6$

$X_5 - X_1 \geq 8$

$X_6 - X_1 \geq 5$

$X_7 - X_1 \geq 3$

$X_8 - X_2 \geq 6$

$X_8 - X_3 \geq 8$

$X_9 - X_4 \geq 7$

$X_{10} - X_4 \geq 4$

$X_{10} - X_5 \geq 11$

$X_{11} - X_5 \geq 8$

$X_{14} - X_5 \geq 3$

$X_{11} - X_6 \geq 6$

$X_{11} - X_7 \geq 8$

$X_{15} - X_7 \geq 14$

$X_{12} - X_8 \geq 15$

$X_{16} - X_8 \geq 9$

$X_{12} - X_9 \geq 12$

$X_{13} - X_9 \geq 8$

$X_{13} - X_{10} \geq 7$

$X_{14} - X_{10} \geq 9$

$X_{14} - X_{11} \geq 11$

$X_{15} - X_{11} \geq 12$

$X_{16} - X_{12} \geq 14$

$X_{17} - X_{12} \geq 8$

$X_{17} - X_{13} \geq 6$

$X_{18} - X_{13} \geq 3$

$X_{18} - X_{14} \geq 5$

EK-7. (devam) 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

$$X23 - X14 \geq 4$$

$$X19 - X15 \geq 8$$

$$X20 - X15 \geq 7$$

$$X21 - X16 \geq 12$$

$$X21 - X17 \geq 9$$

$$X22 - X17 \geq 4$$

$$X22 - X18 \geq 6$$

$$X23 - X18 \geq 8$$

$$X23 - X19 \geq 7$$

$$X24 - X19 \geq 3$$

$$X24 - X20 \geq 5$$

$$X25 - X21 \geq 13$$

$$X26 - X22 \geq 8$$

$$X27 - X23 \geq 6$$

$$X28 - X23 \geq 7$$

$$X31 - X23 \geq 9$$

$$X28 - X24 \geq 5$$

$$X33 - X24 \geq 4$$

$$X29 - X25 \geq 6$$

$$X29 - X26 \geq 8$$

$$X30 - X26 \geq 9$$

$$X30 - X27 \geq 14$$

$$X35 - X27 \geq 11$$

$$X32 - X28 \geq 7$$

$$X34 - X29 \geq 6$$

$$X34 - X30 \geq 11$$

$$X35 - X31 \geq 4$$

$$X36 - X31 \geq 9$$

$$X36 - X32 \geq 7$$

$$X36 - X33 \geq 11$$

$$X39 - X33 \geq 10$$

EK-7. (devam) 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

$$X37 - X34 \geq 6$$

$$X37 - X35 \geq 3$$

$$X38 - X35 \geq 9$$

$$X38 - X36 \geq 7$$

$$X39 - X36 \geq 5$$

$$X42 - X36 \geq 5$$

$$X40 - X37 \geq 6$$

$$X41 - X38 \geq 4$$

$$X42 - X38 \geq 9$$

$$X42 - X39 \geq 7$$

$$X46 - X39 \geq 8$$

$$X43 - X40 \geq 12$$

$$X44 - X40 \geq 9$$

$$X44 - X41 \geq 6$$

$$X45 - X41 \geq 8$$

$$X45 - X42 \geq 9$$

$$X46 - X42 \geq 11$$

$$X47 - X43 \geq 13$$

$$X47 - X44 \geq 7$$

$$X48 - X44 \geq 6$$

$$X49 - X45 \geq 5$$

$$X50 - X45 \geq 2$$

$$X50 - X46 \geq 5$$

$$X51 - X47 \geq 8$$

$$X52 - X47 \geq 10$$

$$X52 - X48 \geq 15$$

$$X53 - X49 \geq 13$$

$$X53 - X50 \geq 11$$

$$X54 - X50 \geq 7$$

$$X55 - X50 \geq 6$$

$$X56 - X51 \geq 9$$

EK-7. (devam) 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile proje tamamlanma zamanının bulunması

$$X56 - X52 \geq 4$$

$$X57 - X52 \geq 5$$

$$X57 - X53 \geq 7$$

$$X58 - X53 \geq 6$$

$$X58 - X54 \geq 5$$

$$X58 - X55 \geq 8$$

$$X59 - X56 \geq 11$$

$$X59 - X57 \geq 9$$

$$X59 - X58 \geq 4$$

$$X1 = 0$$

$$X_j \geq 0 \text{ (j = 2 to 59)}$$

EK-8. 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$\begin{aligned}
 \text{MIN } & 19F1 + 17F2 + 18F3 + 21F4 + 29F5 + 19F6 + 17F7 + 28F8 + 30F9 + 16F10 + 23F11 \\
 & + 20F12 + 15F13 + 16F14 + 30F15 + 23F16 + 28F17 + 28F18 + 23F19 + 30F20 + \\
 & 24F21 + 18F22 + 26F23 + 24F24 + 16F25 + 22F26 + 28F27 + 20F28 + 27F29 + 30F30 \\
 & + 29F31 + 24F32 + 17F33 + 17F34 + 25F35 + 29F36 + 28F37 + 16F38 + 27F39 + \\
 & 20F40 + 22F41 + 18F42 + 22F43 + 28F44 + 17F45 + 26F46 + 17F47 + 18F48 + 26F49 \\
 & + 16F50 + 18F51 + 27F52 + 30F53 + 22F54 + 16F55 + 26F56 + 30F57 + 30F58 + \\
 & 16F59 + 19F60 + 27F61 + 16F62 + 22F63 + 15F64 + 15F65 + 20F66 + 18F67 + 23F68 \\
 & + 19F69 + 24F70 + 26F71 + 23F72 + 30F73 + 22F74 + 22F75 + 21F76 + 17F77 + \\
 & 19F78 + 24F79 + 17F80 + 22F81 + 25F82 + 28F83 + 22F84 + 27F85 + 29F86 + 28F87 \\
 & + 21F88 + 24F89 + 24F90 + 30F91 + 16F92 + 22F93 + 27F94 + 24F95 + 26F96 + \\
 & 22F97 + 21F98 + 26F99 + 30F100
 \end{aligned}$$

ST

$$X2 + F1 - X1 \geq 9$$

$$X3 + F2 - X1 \geq 5$$

$$X4 + F3 - X1 \geq 6$$

$$X5 + F4 - X1 \geq 8$$

$$X6 + F5 - X1 \geq 5$$

$$X7 + F6 - X1 \geq 3$$

$$X8 + F7 - X2 \geq 6$$

$$X8 + F8 - X3 \geq 8$$

$$X9 + F9 - X4 \geq 7$$

$$X10 + F10 - X4 \geq 4$$

$$X10 + F11 - X5 \geq 11$$

$$X11 + F12 - X5 \geq 8$$

$$X14 + F13 - X5 \geq 3$$

$$X11 + F14 - X6 \geq 6$$

$$X11 + F15 - X7 \geq 8$$

$$X15 + F16 - X7 \geq 14$$

$$X12 + F17 - X8 \geq 15$$

EK-8. (devam) 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$X16 + F18 - X8 \geq 9$$

$$X12 + F19 - X9 \geq 12$$

$$X13 + F20 - X9 \geq 8$$

$$X13 + F21 - X10 \geq 7$$

$$X14 + F22 - X10 \geq 9$$

$$X14 + F23 - X11 \geq 11$$

$$X15 + F24 - X11 \geq 12$$

$$X16 + F25 - X12 \geq 14$$

$$X17 + F26 - X12 \geq 8$$

$$X17 + F27 - X13 \geq 6$$

$$X18 + F28 - X13 \geq 3$$

$$X18 + F29 - X14 \geq 5$$

$$X23 + F30 - X14 \geq 4$$

$$X19 + F31 - X15 \geq 8$$

$$X20 + F32 - X15 \geq 7$$

$$X21 + F33 - X16 \geq 12$$

$$X21 + F34 - X17 \geq 9$$

$$X22 + F35 - X17 \geq 4$$

$$X22 + F36 - X18 \geq 6$$

$$X23 + F37 - X18 \geq 8$$

$$X23 + F38 - X19 \geq 7$$

$$X24 + F39 - X19 \geq 3$$

$$X24 + F40 - X20 \geq 5$$

$$X25 + F41 - X21 \geq 13$$

$$X26 + F42 - X22 \geq 8$$

$$X27 + F43 - X23 \geq 6$$

$$X28 + F44 - X23 \geq 7$$

$$X31 + F45 - X23 \geq 9$$

$$X28 + F46 - X24 \geq 5$$

$$X33 + F47 - X24 \geq 4$$

$$X29 + F48 - X25 \geq 6$$

EK-8. (devam) faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$X29 + F49 - X26 \geq 8$$

$$X30 + F50 - X26 \geq 9$$

$$X30 + F51 - X27 \geq 14$$

$$X35 + F52 - X27 \geq 11$$

$$X32 + F53 - X28 \geq 7$$

$$X34 + F54 - X29 \geq 6$$

$$X34 + F55 - X30 \geq 11$$

$$X35 + F56 - X31 \geq 4$$

$$X36 + F57 - X31 \geq 9$$

$$X36 + F58 - X32 \geq 7$$

$$X36 + F59 - X33 \geq 11$$

$$X39 + F60 - X33 \geq 10$$

$$X37 + F61 - X34 \geq 6$$

$$X37 + F62 - X35 \geq 3$$

$$X38 + F63 - X35 \geq 9$$

$$X38 + F64 - X36 \geq 7$$

$$X39 + F65 - X36 \geq 5$$

$$X42 + F66 - X36 \geq 5$$

$$X40 + F67 - X37 \geq 6$$

$$X41 + F68 - X38 \geq 4$$

$$X42 + F69 - X38 \geq 9$$

$$X42 + F70 - X39 \geq 7$$

$$X46 + F71 - X39 \geq 8$$

$$X43 + F72 - X40 \geq 12$$

$$X44 + F73 - X40 \geq 9$$

$$X44 + F74 - X41 \geq 6$$

$$X45 + F75 - X41 \geq 8$$

$$X45 + F76 - X42 \geq 9$$

$$X46 + F77 - X42 \geq 11$$

$$X47 + F78 - X43 \geq 13$$

$$X47 + F79 - X44 \geq 7$$

EK-8. (devam) 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$X48 + F80 - X44 \geq 6$$

$$X49 + F81 - X45 \geq 5$$

$$X50 + F82 - X45 \geq 2$$

$$X50 + F83 - X46 \geq 5$$

$$X51 + F84 - X47 \geq 8$$

$$X52 + F85 - X47 \geq 10$$

$$X52 + F86 - X48 \geq 15$$

$$X53 + F87 - X49 \geq 13$$

$$X53 + F88 - X50 \geq 11$$

$$X54 + F89 - X50 \geq 7$$

$$X55 + F90 - X50 \geq 6$$

$$X56 + F91 - X51 \geq 9$$

$$X56 + F92 - X52 \geq 4$$

$$X57 + F93 - X52 \geq 5$$

$$X57 + F94 - X53 \geq 7$$

$$X58 + F95 - X53 \geq 6$$

$$X58 + F96 - X54 \geq 5$$

$$X58 + F97 - X55 \geq 8$$

$$X59 + F98 - X56 \geq 11$$

$$X59 + F99 - X57 \geq 9$$

$$X59 + F100 - X58 \geq 4$$

$$X_j \geq 0 \quad (j = 1 \text{ to } 36)$$

$$X59 = i \quad (i = 141, 136 \text{ ve } 131)$$

! Faaliyetlerin sıkıştırılabilme değerleri ($T_n - M_n$);

$$F1 \leq 4$$

$$F2 \leq 2$$

$$F3 \leq 2$$

$$F4 \leq 2$$

$$F5 \leq 3$$

$$F6 \leq 1$$

EK-8. (devam) faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

$$F7 \leq 2$$

$$F8 \leq 5$$

$$F9 \leq 4$$

$$F10 \leq 2$$

$$F11 \leq 2$$

$$F12 \leq 2$$

$$F13 \leq 1$$

$$F14 \leq 3$$

$$F15 \leq 3$$

$$F16 \leq 6$$

$$F17 \leq 5$$

$$F18 \leq 3$$

$$F19 \leq 5$$

$$F20 \leq 2$$

$$F21 \leq 3$$

$$F22 \leq 4$$

$$F23 \leq 4$$

$$F24 \leq 4$$

$$F25 \leq 2$$

$$F26 \leq 2$$

$$F27 \leq 1$$

$$F28 \leq 1$$

$$F29 \leq 1$$

$$F30 \leq 2$$

$$F31 \leq 4$$

$$F32 \leq 1$$

$$F33 \leq 6$$

$$F34 \leq 3$$

$$F35 \leq 2$$

$$F36 \leq 4$$

$$F37 \leq 6$$

EK-8. (devam) faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

F38 \leq 2

F39 \leq 1

F40 \leq 2

F41 \leq 4

F42 \leq 1

F43 \leq 1

F44 \leq 3

F45 \leq 4

F46 \leq 2

F47 \leq 1

F48 \leq 2

F49 \leq 4

F50 \leq 5

F51 \leq 6

F52 \leq 5

F53 \leq 2

F54 \leq 2

F55 \leq 4

F56 \leq 1

F57 \leq 2

F58 \leq 5

F59 \leq 5

F60 \leq 2

F61 \leq 3

F62 \leq 1

F63 \leq 2

F64 \leq 3

F65 \leq 2

F66 \leq 3

F67 \leq 3

F68 \leq 2

EK-8. (devam) 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

F69 <= 4

F70 <= 3

F71 <= 5

F72 <= 4

F73 <= 4

F74 <= 1

F75 <= 1

F76 <= 5

F77 <= 5

F78 <= 4

F79 <= 2

F80 <= 2

F81 <= 2

F82 <= 1

F83 <= 2

F84 <= 2

F85 <= 5

F86 <= 3

F87 <= 4

F88 <= 4

F89 <= 2

F90 <= 2

F91 <= 4

F92 <= 2

F93 <= 2

F94 <= 3

F95 <= 2

F96 <= 1

F97 <= 2

F98 <= 4

F99 <= 3

EK-8. (devam) 100 faaliyetli örnek için Lindo programı ile istenilen proje tamamlanma zamanı için ekstra faaliyet giderlerinin hesaplanması

F100 <= 2

! Faaliyetlerin sıfırdan büyük olma kısıtı;

$F_i \geq 0$ (i = 1 to 100)

END

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZKÖSE, Hakan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 28.06.1983, Bartın
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (543) 503 88 85
 e-mail : hakanozkose@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / YBS	Devam ediyor
Yüksek lisans	Bartın Üniversitesi / Makine Müh.	2012
Lisans	Marmara Üniversitesi / Bil. Kont. Tek.	2008
Lise	Bartın Endüstri Meslek Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2011	Bartın Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2012-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

A- Makale:

- Özköse, H., Bağdatlı, S. M., (2010), The Comparison of Hamilton Method with Rayleigh's and Rayleigh-Ritz Method for The Natural Frequencies of Three-Supported

Beam, *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 4(3), 279-287, 2010.

2. Özköse, H., Arı, S., Çakır, Ö., (2013), Uzaktan Eğitim Süreci için SWOT Analizi, *Middle Eastern & African Journal of Education Research*, 5(1), 41-55.

B- Bildiri:

1. Arı, E. S., Calp, M. H., Doğan, A., Özköse, H., (2013), *Eğitim Programı Düzeylerine Göre Uzaktan Eğitim Algısı : Gazi Üniversitesi Örneği*, International Conference on Innovation and Challenges in Education 2013, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
2. Özköse, H., Arı, E. S., Çakır, Ö., (2013) *Uzaktan Eğitim Süreci için SWOT Analizi*, International Conference on Innovation and Challenges in Education 2013, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
3. Özköse, H., Arı, E. S., (2014), *Öğrenme Yönetim Sistemi Seçimi için Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi*, International Conference on New Horizons in Education, Paris.
4. Doğan, A., Calp, M. H. , Arı, E. S., Özköse, H., (2014), *İnsan Bilgisayar Etkileşimi Kapsamında Beyin Bilgisayar Arayüzleri Üzerine Bir İnceleme: Özellikleri ve Çalışma Prensipleri*, Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, İstanbul, (Accepted).

C- Poster:

1. Özköse, H., Arı, E. S., Calp, M. H. , Doğan A., (2014), *Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Uzaktan Eğitim Öğrencilerinin E-Ticaret Algısı*, Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, İstanbul, (Accepted).
2. Arı, E. S., Özköse, H., Doğan, A., Calp, M. H., (2014), *İstanbul Borsası'nda İşlem Gören Firmaların 2013 Yılı Finansal Performanslarının Kümeleme Analizi İle Değerlendirilmesi*, Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, İstanbul, (Accepted).

Hobiler

Yüzme, Müzik, Futbol ve diğer spor dalları