

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ZENGİN PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

ARDA TÜRKGENCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2014

ZENGİN PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

A REACH PROJECT SCHEDULING PROBLEM

ARDA TÜRKGENCİ

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ENDÜSTRİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2014

“ZENGİN PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 24/01/2014 tarihinde, ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Fatma PAKDİL

Üye (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜLŞEN

Üye (İkinci Danışman)

Öğr. Gör. Dr. Hüseyin GÜDEN

Üye

Yrd. Doç. Dr. Yusuf Tansel İÇ

Üye

Öğr. Gör. Dr. Tusan DERYA

ONAY

..../01/2014

Prof. Dr. Emin AKATA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŐEKKÜR

Bu uzun çalışma dönemim boyunca tezimin nerdeyse tamamını beraber çalıŐtıđım, uzakta veya yakında hem teorik ve teknik bilgisi ile hem de manevi desteği ile her daim yanımda olan Dr. Hüseyin Gden'e, tezimin kalan kısmında bitirebilmem için rehberliğini ve yardımlarını eksik etmeyen Yrd. Doç. Dr. Mehmet Gülşen'e, sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

ÖZ

ZENGİN PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Arda TÜRKGENCİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Proje Çizelgeleme Problemleri günlük hayatta birçok proje bazlı üretim firmasının üzerinde çalıştığı öncüllük ilişkilerini ve bazı kısıtları göz önünde bulundurarak en kısa zamanda proje işlerinin tamamlanması veya minimum maliyet ile işlerin yapılması gibi hedefleri olan bir çizelgeleme problemidir. Bu çalışmada proje bazlı olarak üretim yapan bir firmada projelerin çizelgelenmesine ait bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Problem işlerin birden fazla modda yapılabildiği, kaynak kısıtlı, çok projeli, zaman – maliyet etkileşimini göz önünde bulunduran, minimum maliyetle işlerin yapılmasını amaçlayan bir çizelgeleme problemidir. Öncelikle problemin çözümü için bir doğrusal karar modeli geliştirilmiştir. Ancak proje sayısının artması ve dolayısı ile çizelgelenen projelerdeki iş sayısının artması, problemin boyutlarını üstel olarak arttırmaktadır. Bu nedenle büyük boyutlu problemlerin çözümü için sezgisel olarak davranan parçalı bir doğrusal karar modeli önerilmiştir. Sonuçlarda bu yöntemin çözüm süresi ve çözüm kalitesi açısından değerlendirmeleri yapılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Proje bazlı üretim sistemleri, kaynak kısıtlı çizelgeleme problemleri, zaman – maliyet ödünleşmesi, öncüllük ilişkileri, çok modlu sistemler, çok projeli çizelgeleme, matematiksel programlama ve parçalı çözüm yöntemleri.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜLŞEN, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

A REACH PROJECT SCHEDULING PROBLEM

Arda TÜRKGENCİ

Başkent University Institute of Science and Engineering

Department of Industrial Engineering

Project scheduling is a very common problem in engineering and many companies with project based manufacturing environment have to deal with project scheduling issues on a daily basis. The goal in a project scheduling problem is to minimize the cost or the project completion time with the given precedence rules and other constraints. In this study we propose a project scheduling approach for a manufacturing company that has to manage several projects simultaneously. The scheduling problem is a multi-project, multi-mode, resource constrained problem with time-cost tradeoff decision. The objective in the problem is to minimize the aggregate cost of current and planned projects. We first developed a linear model to solve the problem. However, the total number of jobs increases with increasing number of projects, and with increasing complexity the overall problem grows exponentially. To solve the problem in a reasonable time we developed a heuristic approach which based on decomposition of the problem. Quality and time issues of the proposed model are discussed in detail.

KEY WORDS: Project based manufacturing systems, resource constrained scheduling problems, time-cost tradeoff, preemptivity, multi mode systems, multiproject scheduling, mathematical programming and decomposition.

Advisor: Assistant Professor Mehmet GÜLŞEN, Başkent University, Industrial Engineering Department.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
ÇİZELGELER LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	11
3. ZENGİN PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN DOĞRUSAL KARAR MODELİ	19
3.1 Firmaya Ait Genel Bilgi	19
3.1.1 Firmada üretilen makinalar	20
3.1.2 Üretim için gerekli kaynaklar	21
3.1.3 Farklı modlarda işlerin yapılabilirliği	21
3.1.4 İşlerin bölünebilirlik ve bölünemezlik durumu	21
3.2 Problemin Tanımı	26
3.3 Zengin Proje Çizelgeleme Probleminin Karar Modeli	27
4. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	33
4.1 En Erken Başlama Zamanlarının Bulunması	33
4.2 En Geç Başlama Zamanlarının Bulunmasına Ait Parçalı Doğrusal Karar Modeli	36
4.3 En Geç Başlama Zamanlarının Bulunmasının Algoritması	37
4.4 Zengin Proje Çizelgeleme Probleminin Parçalı Bir Doğrusal Karar Modeli Olarak Geliştirilmesi	38
5. VERİ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMELER	42
5.1 Çözüm Formatı İle İlgili Genel Bilgi	42
5.2 İkişerli Proje Kümelerine Ait Denemelerin Sonuçları	47
5.2.1 En geç başlama zamanlarına üst sınır verilmesi durumunda zengin proje çizelgeleme probleminin çözüm sonuçları	47
5.2.2 En geç başlama zamanlarının bulunmasına ait parçalı modelden elde edilen veriler ile zengin proje çizelgeleme probleminin parçalı modeline ait çözüm sonuçları	48
5.2.3 Çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi	48
5.3 Beşerli Proje Kümelerine Ait Denemelerin Sonuçları	50
5.3.1 En geç başlama zamanlarına üst sınır verilmesi durumunda zengin proje çizelgeleme probleminin çözüm sonuçları	50
5.3.2 En geç başlama zamanlarının bulunmasına ait parçalı modelden elde edilen veriler ile zengin proje çizelgeleme probleminin parçalı modeline ait çözüm sonuçları	50
5.3.3 Çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi	51
5.4 Sekizerli Proje Kümelerine Ait Deneme Sonuçları	52

5.4.1	En geç başlama zamanlarına üst sınır verilmesi durumunda zengin proje çizelgeleme probleminin çözüm sonuçları	52
5.4.2	En geç başlama zamanlarının bulunmasına ait parçalı modelden elde edilen veriler ile zengin proje çizelgeleme probleminin parçalı modeline ait çözüm sonuçları	53
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	54
7.	KAYNAKÇA	57
8.	EK AÇIKLAMALAR	60
8.1	En Geç Başlama Zamanlarının Bulunmasına Ait Karar Modeli	60
EKLER LİSTESİ		65

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Öncüllük İlişkileri	3
Şekil 3.1 Örnek Makinalar ve Tesis	20
Şekil 3.2 AJC 90 Öncüllük İlişkileri	23
Şekil 4.1 Örnek Probleme Ait Öncüllük İlişkileri	34
Şekil 4.2 Örnek Problemin Çözüm Sonuçları	35
Şekil 5.1 Çözüme Ait Verilerin Akışı	44
Şekil 5.2 Parçalanmış Modellere Ait Çözüm Süreci	46

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Firma Ürünlerine Ait Bilgiler	20
Çizelge 3.2 AJC90 Makinasının İşlerine Ait Veriler	25
Çizelge 4.1 Örnek Probleme Ait Veriler	34
Çizelge 5.1 Projelere Ait Toplam Makina ve İş Sayısı	42
Çizelge 5.2 Çözüm Sonuçlarına Ait Tablo Formatı.....	45
Çizelge 5.3 En Geç Başlama Zamanı Değerlerine Üst Sınır Değeri Verildiğinde İkişerli Proje Kümeleri İçin Elde Edilen Çözüm Sonuçları.....	47
Çizelge 5.4 İkişerli Proje Kümelerine Ait Ortalama Çözüm Sonuçları.....	49
Çizelge 5.5 Beşerli Proje Kümelerine Ait Ortalama Çözüm Sonuçları.....	51
Çizelge 5.6 Sekiz Projeli Bir Proje Kümesinin Çözüm Sonuçları	53
Çizelge 6.1 İş Sayısı - Çözüm Süresi İlişkisi.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

KKPÇP	Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi
ÇMPÇP	Çok modlu proje çizelgeleme problemi
CPM	Kritik yol yöntemi
PERT	Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği
ÇMKK	Çok modlu kaynak kısıtlı
KZMÖP	Kesikli zaman – maliyet ödünleşmeli problem
AON	Faaliyet Ağ Diyagramları
EGBZBAPM	En geç balama zamanlarının bulunmasına ait parçalı model
ZPÇP	Zengin proje çizelgeleme problemi
ZPÇPÇAPM	Zengin proje çizelgeleme probleminin çözümüne ait parçalı model

1. GİRİŞ

Proje kavramı; yalnızca bir defaya mahsus olarak yapılan, başlangıç ve bitiş zamanı belirli olan, çeşitli insan ve insan dışı kıt kaynakların olduğu bir ortamda, müşterilerin isteklerini karşılamak üzere, sonunda müşteriye teslim edilecek bir ürün çıkarmak için belirli organizasyonların yürüttüğü çalışmalardır.

Bir projenin başlatılıp sona erdirilmesi başlı başına ciddi bir iştir. Projeler büyük sözleşmelere imza atılan çok kapsamlı ve büyük boyutlu çalışmalardır. Bu nedenle projeye başlarken, projenin iş çevresini doğru anlamak, gerekli denetim ve kontrollerle projeyi başlatmak en önemli adımlardır. Projenin başlangıcından sonuna kadar her adım gözlemlenmeli ve takip edilmelidir. En ufak bir eksiklik veya dikkatsizlik, öngörülemeyen durumlar, proje üzerinde ciddi boyutta maliyetlere ve kayıplara yol açabilir.

Yönetimin verimli ve etkin bir çalışma ortaya koyabilmesi için proje yönetim sürecindeki 5 adım doğru uygulanmak zorundadır. Bu adımlar: planlama ve tasarım, örgütlenme, yürütme, koordinasyon ve kontroldür. Özellikle planlama ve tasarım, doğru kararların alınmasında, gelecekteki fırsat ve tehlikelerin göz önüne serilmesinde büyük rol oynamaktadır.

Projenin ilk adımında, projeyi asıl başlatacak olan proje tasarımları yapılır. Projeler çok büyük boyutlu çalışmalardır ve tasarım aşamasında yapılan çalışmalar sürekli olarak kontrol altında olan, esneklik payları bulunan, üzerinde çok titiz davranılan çalışmalar olmalıdır. Eğer tasarım aşamasında kontroller ihmal edilir, tasarımın uygunluğunu destekleyen sonuçlar alınmazsa, ileride maddi manevi çok ciddi problemler ve kayıplar ortaya çıkabilir. Bir proje hazırlanırken en temel adım tasarım aşamasında atılır. Temel adımı sağlam atmamak sürdürülebilirliği sağlar.

Proje içerisindeki gerekli faaliyetlerin sıralı, mantıksal bir çerçeveye konması, proje için gerekli düzenin kurulması, proje sürecinde alınan kararların yürütülmesi için mutlaka bir planlama yapılmalıdır. Planlamanın yapılması, projenin kontrolünün sağlanmasına yardımcı olur. Planlama yapılmadan önce, planlama için çeşitli

bilgilere ihtiyaç vardır. Bu bilgiler: Proje faaliyet alanı nedir? Faaliyetlerin birbiri ile ilişkileri nelerdir? Bu faaliyetlerde ne tür kaynaklara ihtiyaç vardır? Proje ve faaliyetlerin maliyet unsurları nelerdir? Proje bütçesi nedir? Gibi sorulara ait cevaplardır. Bu sorulara ait cevaplar bir araya toplandığında, proje etkin bir şekilde planlanabilir. Planlama yapılırken aynı zamanda örgütlenme işlemi de projenin amacına bağlı olarak ortaya çıkar. Bu süreçte amaçlara yönelik dinamik bir yapı oluşturulur.

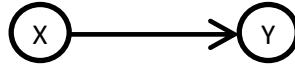
Proje doğrultusunda örgütlenme aşamasında en önemli faktör iletişimdir. Yetki ve sorumlulukların, ortak bilincin iyi benimsenmesi açısından iletişim önemsenmelidir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen plan doğrultusunda ve örgütlenme sağlandıktan sonra uygulama kısmına geçilir ve proje fiziksel olarak hayata geçirilir. Bu süreçte verilen plan doğrultusunda planda istenen aktiviteler yerine getirilir ve takip edilir.

Takip işi ve koordinasyon belirli bir proje ekibine atanır ve bu ekip proje ile ilgili olarak yetkilendirilir. Projeyi baştan sona takip ederek gerekli yönetsel kararları alırlar. Bu takip sonucunda ortaya çıkan durumlar, planlanan durum ile karşılaştırılarak kontroller yapılır. Eğer düzeltici faaliyetler, önlem alınması gereken durumlar ortaya çıkmışsa, bu durumlar kaydedilir ve sonraki projelerde uygulamaya geçilir. Gelecekte yapılacak faaliyetler ile ilgili kararlar hakkında önlemler alınır. Ayrıca bu kontroller sayesinde, projenin yürütülmesinde sorun yaratabilecek kritik veya yarı kritik faaliyetler üzerinde yoğunlaşmak mümkün olur [6;2].

Projelerin yürütülmesinde, planlamayı da temel alan çeşitli proje yönetim teknikleri mevcuttur. Tarihte ilk olarak, işleri basit bir şekilde görsel bir çizelgeye döken kişi Henry L. Gantt'dır. Bu şemalar her faaliyetin işlem süresini ve faaliyetlerin ilişkilerini gösteren basit ve kolay anlaşılabilir işlevsel şemalardır. Faaliyet, bir projeyi teşkil eden, tamamlanması için zaman ve kaynak (iş gücü, hammadde, donanım vb.) kullanımı gerektiren işler veya görevler bütünü olarak ifade edilir. Her işin kendine ait bir işlem süresi vardır ve öncüllük ilişkilerinin de sağlandığı durumda faaliyetlere ait işlem sürelerinin toplamı, proje süresini belirlemede kullanılır. Bugün yaygın bir biçimde kullanılmakta olan CPM (Kritik yol yöntemi) ve

PERT (Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği) tekniklerinin ana çıkış noktası Gantt şemalarıdır. Bu modeller, büyük problemlere uygulanmaları görece olarak kolay olduğundan, kabul görmüş ve geliştirilmiştir.

PERT/CPM planlaması şebeke çizelgesi üzerine kuruludur. Kullanılan çizelgede, düğümler ile işlemler ifade edilir. Bu işlemler arasındaki oklar ise, işlemler arasındaki öncüllük ilişkilerini göstermek için kullanılır. Öncüllük ilişkisi, örneğin X işlemi Y işleminin öncülü ise, X işleminin Y işleminden önce mutlaka tanımlanması gerektiğini gösterir. Bir başka deyişle X işlemi bitmeden Y işlemi başlayamaz demektir. Bir serimde bu ilişki Şekil 1.1'deki gibi gösterilir. Bu çizelgeler, her faaliyetin işlem süresi bilindiği durumda proje süresini tahmin etmek, ortaya çıkabilecek planlama ve programlama zorluklarını belirlemek ve projenin eşgüdümlemesini iyileştirmek için kullanılır [18;20].



Şekil 1.1 Öncüllük İlişkileri

Faaliyetlerin ne zaman başlayıp ne zaman sonlanacağı, faaliyetlerin hangi sırada gerçekleştirileceği öncüllük ilişkilerinden yararlanarak elde edilir. Bir zaman dilimi içerisinde, hangi faaliyet ne zaman başlamalı, hangi sırada yapılmalı gibi sorulara öncüllük ilişkileri cevap verir. AON (Activity on Node, Faaliyet Ağ Diyagramları) işlerin sıralanması için oluşturulan, öncüllük ilişkileri diyagramı olarak da bilinen bir ağ yapısıdır. Burada işler düğümleri gösterir ve bu düğümler, öncüllükleri gösteren oklar ile başka düğümlere bağlanmıştır [14].

Bir yandan teknolojik kısıtlamalardan dolayı öncüllük ilişkileri var olduğu gibi, diğer yandan öncüllük ilişkisi yönetsel kararların sonucu olarak da ortaya çıkabilir. Bir faaliyet başlamadan önce öncüllerinin tamamının bitmesi gerekir. Genellikle bir faaliyet bütün öncülleri bittikten sonra istisnai bir durum olmadığı sürece başlatılır. Örneğin bazı eş zamanlı tasarım faaliyetlerinde proje süresini kısaltmak amacı ile istenen durum bazı faaliyetlerin paralel yürütülmesidir. Bir işlem sonucunda malzeme gerekli zamanda sonraki işleme girmez ise veya bozulabilecek bir malzeme elde edilirse, malzemenin hazır olduktan belirli bir süre içinde üretilmesi istenebilir. Bu değişik durumları modelleyebilmek için genelleştirilmiş öncüllük

ilişkileri (generalized precedence relations) tanımlanmıştır. Bunlar; Başlangıç-Bitiş (SF), Başlangıç –Başlangıç (SS), Bitiş Bitiş (FF) ve Bitiş –Başlangıç (FS) tipi öncüllük ilişkileridir.

Bütün bu öncüllük ilişkileri için geçerli olmak üzere, en az bekleme süresi (minimal time lag) ve en çok bekleme süresi (maximal time lag) tanımlanmıştır. Örneğin, bir faaliyetin başlaması için diğer bir faaliyetin en azından belirli bir süre önce başlamış olması isteniyorsa, bu bir FS ilişkisidir ve en az bekleme süresi ile modellenir. Bir faaliyetin başlaması için diğer faaliyetin başlamasından sonra belirli bir süreden fazla bir sürenin geçmemiş olması gerekiyorsa, bu bir SS ilişkisidir ve en çok bekleme süresi ile modellenir [19;2;28].

Bu tip proje yönetim tekniklerinin ortaya çıkması ve projenin yönetimi ile ilgili problemlerin ortaya çıkması bir projenin çizelgenmesini zorunlu kılmaktadır. “Talbot, [26]” makalesinde çizelgelemeyi her işin ne zaman başlayıp ne zaman biteceği durumunu değerlendirip zaman ve kaynak seçeneklerini de dikkate alarak nasıl her işin zamanında biteceğinin planlanacağı şeklinde tanımlamıştır. Proje çizelgesi hazırlanırken, hangi zaman diliminde, hangi kaynaklara, ne kadar gerek duyulacağı gibi sorulara cevap aranır.

Çizelgeleme yönetiminin en önemli unsurlarından birisi olan kaynaklar faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde kullanılırlar. Kaynaklar olmadan üretim mümkün değildir. Kaynaklar istenilen şekilde sınıflandırılabilir ancak; literatürde zaman bazında 3 farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Yenilenebilir (renewable), yenilenemez (nonrenewable) ve çift yönden kısıtlı (doubly constrained) kaynaklar. Yenilenebilir kaynaklar, bir zaman periyodunda sınırlı miktarda bulunurlar ve kullanıldıkça tükenmeyen kaynaklardır. Belirli bir iş üzerinde kullanıldıktan sonra, iş sona erdiğinde tekrar kullanılabilir durumda olurlar. Örneğin iş makinaları, işgücü, malzeme, enerji vb. Tersine, yenilenemez kaynaklar kullanılırken tüketilen, projenin süresi boyunca kullanılabilen ancak toplam kullanılabilirlik miktarı sınırlı olan kaynaklardır. Örneğin, yarı mamuller bir proje içinde her zaman kesin olarak bir miktar bulundurulur; ancak bu sınırlı bir miktardadır. Bir kaynağın hem bir zaman birimi içinde kullanım miktarı hem de proje süresi boyunca toplam tüketimi üzerinde kısıt olması durumunda bu kaynak çift yönden kısıtlı kaynak olarak

nitelendirilir. Para çift yönden kısıtlı kaynaklar için en güzel örnektir. Para, proje süresi boyunca ve projenin zaman dilimleri boyunca kısıtlı miktardadır. Birim zaman içindeki harcama kısıtlı olabildiği gibi proje süresince toplam harcama miktarı da kısıtlı olabilir [23].

Kısmi yenilenebilir kaynaklar modellemelerde belirli zaman periyotlarında farklı farklı kaynak kullanımlarının üst sınırını belirleme olanağı vermektedir. Dolayısıyla bir vardiya düzeni problemin gösterimine dâhil edilebilir [21].

Diğer bir kaynak kullanımı durumu ise faaliyet aşamasında birbirlerinin alternatifi olan kaynakların kullanımlarının talebidir. Başka bir kullanım ise bölünebilirlik ile alakalıdır. Adet olarak ifade edilen, yani bölünebilen kaynaklara, örneğin beş adet iş makinası gibi, ayrık (discrete) kaynaklar denir. Tersine, örneğin elektrik enerjisi gibi bölünemeyen kaynaklara da sürekli (continuous) kaynaklar denir [27].

Sonuç olarak çizelgeleme yönetiminde en önemli unsurlar üretim, kaynak, zaman ve maliyettir. Bu unsurların doğru bir şekilde yönetiliyor olması yönetilen yerde planlama, organizasyon, koordinasyon ve ekip çalışmasının sisteme uygun bir şekilde yapıldığının bir göstergesidir. Yönetim tarafından alınan kararların etkin kararlar olabilmesi için çizelgeleme yönetiminin doğru ve kontrol altında yapılması gerekir. Belirli birtakım amaçlara ulaşmak için başta insan olmak üzere, parasal kaynakları, araç-gereçleri, hammaddeleri ve zaman faktörünü birbiriyle uyumlu ve etkin kullanmaya olanak verecek kararlar alma ve bunları uygulama süreçlerinin toplamına yönetim denir. Çizelgeleme işlemlerinin, yönetimi oluşturan faktörleri değerlendirdiğimizde, yönetim kararlarına ve projenin ana yapısına direk olarak etki eden önemli süreçler olduğu ortaya çıkmaktadır [6].

Proje tekrar özetlenecek olursa, aşağıdaki maddeleri içeren herhangi bir görev veya işlerdir:

- Belirli özellikleri olan amaçları tamamlama,
- Belirli başlangıç ve bitiş zamanı olma,
- Yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar tüketme,
- Çok fonksiyonlu olma [11].

Kısıtlı olan yenilenebilir, yenilenemez veya çift yönden kısıtlı kaynakları dikkate alan, öncüllük ilişkilerini dikkate alan, proje başlangıç ve bitiş zamanlarını da değerlendirerek işlevini en iyi yerine getirecek şekilde çizelgelenen problemlere Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP) denir. Problemin tanımlanmasındaki esas varsayımları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- i. Faaliyet süreleri deterministiktir.
- ii. Birim zamandaki kaynak kullanımı, bir faaliyet için sabit bir süredir.
- iii. Bir faaliyete atanan kaynak, faaliyet süresince o faaliyet tarafından kullanılır.
- iv. Başlatılan kesilmeden bitirilmelidir.
- v. Faaliyetler iptal edilemez. Proje serimindeki her faaliyet gerçekleştirilmek zorundadır [27].

KKPÇP'nde birçok farklı amaç söz konusu olabilmektedir. Bu amaçlardan en yaygın olanları: bir projenin tamamlanma süresinin toplamının enküçüklenmesi, proje maliyetlerinin enküçüklenmesi ve kaynak kullanımının enküçüklenmesidir.

Literatürde, KKPÇP'i temel alınıp varsayımların bazıları değiştirilerek veya kaldırılarak veya başka varsayımlar katılarak çok daha farklı problemlerin çözümleri araştırılmıştır. Örneğin "Talbot, [26]" yaptığı çalışmada, birden fazla kaynak kısıtlı ve işlerin birden fazla yöntem (mod) ile yapılabildiği bir çalışma üzerinde uğraşmıştır. Belli bir bütçenin olduğu durumda proje süresini minimize eden bir yaklaşım geliştirmiştir. Bir başka ilginç çalışma ise, "Zapata et al [29]" yaptıkları çalışmada sürekli zaman yapısını ve sürekli bölünebilen işleri ele alan birden fazla projenin olduğu çok modlu proje çizelgeleme problemi üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmaların özellikleri ile ilgili daha detaylı bilgiler bu bölümün ilerleyen kısımlarında ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Birden fazla proje üzerinde aynı anda çalışılan, işler olabilir. Bir otomotiv firmasını düşünecek olursak elindeki aynı ve kısıtlı kaynak miktarı ile farklı projelerin farklı işleri üzerinde eşzamanlı olarak çalışıyor olabilir. Burada KKPÇP'ne çok projeli (multiproject) durumun katıldığı ifade edilmiştir. Birden çok proje çizelgelenirken, iki farklı yaklaşım üzerinde durulur:

- i) Her proje kendi başına ele alınarak çizelgelenir (her projenin kendisine ait başlangıç ve bitiş düğümü vardır)
- ii) Tüm projelerin işleri toplanarak bir proje gibi bütünleştirilir (tüm projelere ait toplamda bir başlangıç ve bir bitiş düğümü vardır) [27].

Bir proje üzerinde çalışırken, bölünebilir ve bölünemez işler var olabilir. Bazı işlerin bölünebildiği, bir başka deyişle bir iş yapılırken o anda yarım bırakılarak araya farklı işlerin girip, daha sonra yarım kalan işin tamamlanabildiği çalışmalar mevcuttur. Bölünemez işlerde ise iş başladığı andan itibaren tamamlanana kadar arada farklı hiçbir iş yapılmaz. Bu tip KKPÇP'leri işlerin bölünebilir/bölünemezlik özelliğinin katıldığı çalışmalardır. Ayrıca yapılan işlerin faaliyet sürelerinin kesikli zaman dilimi dışında, sürekli bir zaman diliminde düşünüldüğü çalışmalarla da karşılaşılmaktadır.

Faaliyetler gerçekleşirken her bir faaliyetin gerçekleşme süresi ile bu süre içerisinde kullanılan kaynaklar arasında ödünleşmeler yaratabilecek ilişkiler söz konusudur. Birim zamanda kullanılan kaynak oranı yüksek ise maliyet yükselir ve faaliyet sürelerinin azalması beklenir. Bu durum dikkate alındığında ortaya maliyet – süre ödünleşmesi durumu (time – cost tradeoff) ortaya çıkmıştır. Örneğin bir atölyede bazı işler daha çok maliyete katlanılarak daha fazla kaynak ile daha kısa sürede yapılırken bu durum tüm projenin başlangıç ve bitiş zamanı arasındaki süreyi kısaltabiliyorsa, burada zaman – maliyet ödünleşmesi söz konusudur.

Bir veya birden fazla iş, farklı miktardaki kaynaklarla veya aynı kaynak havuzundaki farklı çeşitlerdeki kaynaklarla yapılabilir, bu işleri birden fazla moda yapabileceğimiz anlamına gelmektedir. Bu tip problemlere, çok modlu (multi mode) proje çizelgeleme problemi (ÇMPÇP) denir. Burada mod, iş zamanını ve kaynak gereksinimini temsil eder. Bir işin her farklı modu için, farklı zaman – maliyet ödünleşmeleri, farklı zaman - kaynak ödünleşmeleri olabilir. Proje çizelgeleme problemlerinde, sabit bir süre içerisinde kaynakların farklı biçimde kullanılması ile ortaya çıkan çizelgeleme problemi ise, kaynak – kaynak ödünleşmesi durumudur. Burada bir faaliyetin süresi sabittir; ancak değişik kaynakların farklı kombinasyonlar ile kullanılabilmesi durumu söz konusudur [27].

Proje programlamada kullanılan Gantt şeması, CPM ve PERT gibi geleneksel araçlar, kaynakların sınırsız olduklarını varsayarlar ve sadece tek projeye uygulanabilirler [3]. Ancak gerçek hayat problemlerini çözerken bu yöntemler gün geçtikçe gerçek hayat problemlerini çözmede yetersiz kalmaya başlamıştır. Kıt kaynakların günümüzde kısıtlı olması ve bir sistemde ortaya çıkarılan birden fazla projenin olması, kullanılan bu temel yöntemlerin karşısında daha zorlayıcı problemler olmuştur. Bu nedenle KKPÇP için daha sonradan çok daha farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu tip durumlar için farklı dal sınır yöntemleri, AON yöntemi, genelleştirilmiş öncüllük ilişkileri yöntemi ve benzeri birçok yöntemler ile çözüme gidilmiş, çeşitli doğrusal karar modelleri geliştirilmiş ve farklı sezgisel yöntemler sunulmuştur.

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi literatürde “NP-zor” bir problem olarak tanımlanmaktadır. Proje süresinin enküçüklendiği bir KKPÇP’nde bu problemin “NP – zor” bir problem olduğu kanıtlanmıştır [4]. Buna göre proje faaliyet sayısı arttıkça problemin çözüm süresi üstel olarak artmakta ve problemin makul süreler içerisinde optimal olarak çözülmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, literatürde KKPÇP’nin çözümü için sezgisel yöntemler ve dal sınır yöntemleri üzerinde çok durulmuştur.

Literatürde gerekli incelemeler yapılmış ve bu tezde, proje bazlı çalışan bir kırma eleme makinaları üreten fabrikada işlerin çizelgelenmesi için çok projeli, çok modlu, kaynak kısıtlı, zaman – maliyet etkileşimini de değerlendiren bir zengin proje çizelgeleme problemi üzerinde çalışılmıştır. Çalışma yapılan firmada kısıtlı kaynaklar ile birden fazla projenin yetiştirilmesi gerekmektedir. Projelerde yapılan işler farklı modlarda yapılabilir. Buradaki tartışma konusu minimum maliyet ile işlerin nasıl yapılabilirdir. Bu problemin çözümü için 0-1 tamsayılı bir doğrusal karar modeli önerilmiştir. Bir yandan projeler çizelgelenirken bir yandan da firmanın kârı düşünüldüğü için, karar modelinin içerisinde zaman - maliyet etkileşimi göz önünde bulundurulmuştur. Tüm bu özellikleri bir arada toplayarak yapılan çalışmalar literatürde sayılı miktardadır ve problem bu özellikleri taşımasından dolayı zengin proje çizelgeleme problemi (ZPÇP) olarak adlandırılmıştır. Literatürde bu güne kadarki yapılan çalışmalarda, bölünebilir işlerle ilgili çizelgelenmelerde eğer bir bölünebilir iş bir modda başlamış ise bitene

kadar o modda devam etmektedir. Bu tezdeki geliştirilen karar modelinde daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak bölünebilir bir işin farklı modlarda yapılmasına izin verilmiştir. ZPÇP'ne ait karar modeli geliştirildikten sonra, çözüm yöntemi olarak problemin boyutlarını küçültmek için ilk önce en erken başlama zamanlarının bulunması ile ilgili CPM yönteminden yararlanılmış, daha sonra da yapılan işlerin en geç başlama zamanlarının bulunabilmesi için farklı, özgün bir 0-1 tamsayılı karar modeli geliştirilmiştir. Firmada daha önce böyle bir çalışma yapılmadığı için işlerin en geç başlama zamanlarına ait hiçbir veri yoktur. Daha sonra ZPÇP'ne ait büyük boyutlu problemlerin çözülebilmesi amacı ile ZPÇP'nin modeli üzerinde modelin parçalı bir şekilde çözülmesine olanak veren güçlendirici kısıtlar eklenerek sezgisel davranan bir parçalı doğrusal karar modeli önerilmiştir. Tüm karar modelleri Microsoft Visual Studio Programı'nda C++ kodu ile kodlanmıştır. Bu yöntem literatürde daha önce çalışılan parçalama yöntemlerinden esinlenerek ortaya atılmış, daha önce bu çalışma için önerilmeyen özgün bir yöntemdir.

İkinci bölümde eldeki probleme ait bilgi ve hedefler göz önünde bulundurularak yapılan literatür araştırmasının özeti verilmiştir.

Üçüncü bölümde çalışmanın yapıldığı firmaya ait genel bilgiler ve firmanın proje çizelgeleme problemi için ne gibi özelliklere sahip olduğu anlatılmaktadır. Bu değerlendirmeler yapıldıktan sonra, problemin tanımı verilmiş ve daha sonra bu problemin çözümü için bir doğrusal karar modeli önerilmiştir.

Dördüncü bölümde ZPÇP'nin doğrusal karar modeli çözülrken karşılaşılan problemler ve bu problemlerin üstesinden gelebilmek için ne gibi çözüm yöntemleri önerildiği açıklanmıştır. ZPÇP'i problem çözülebilir hale getirildiğinde, bu probleme ait büyük boyutlu problemlerin de çözülebilmesi için ZPÇP'nin karar modelinin nasıl sezgisel olarak çalışan bir parçalı doğrusal karar modeli haline dönüştürüldüğü de açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, probleme ait yapılacak denemelerin tasarımları, bu tasarımların çözümlerinin analizi ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

Altıncı bölümde çözümlere ait genel sonuçlar açıklanmış ve tüm değerlendirmeler yapılarak öneriler getirilmiştir.

Yedinci bölümde çalışma yapılırken taranana literatürdeki kaynaklar verilmiş, son bölümde ise ek açıklamalar sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde çalışmanın yapıldığı proje bazlı olarak çalışan, taş kırma ve eleme makinaları üreten fabrikanın özellikleri göz önünde bulundurularak literatür taranmıştır. Burada hedef bu firmadaki çizelgeleme problemine iyi bir çözüm getirebilmektir.

“Nudtasomboon and Randhawa [17]” makalelerinde, proje çizelgelemenin en önemli özellikleri olan işlerin bölünmesini, yenilenebilir, yenilenemez ve çift yönden kısıtlı kaynakları, zaman-kaynak ödüneşmesini ve birden fazla amaç fonksiyonunun olmasını içerisinde dâhil eden bir 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Çözüm algoritmaları 3 ayrı amaç fonksiyonu için ayrı ayrı geliştirilmiştir. Bu amaçlar: zamanın enküçüklenmesi, maliyetin enküçüklenmesi ve kaynak seviyelendirmesidir (resource leveling). Bu çözüm algoritmalarının dışında ayrıca iş bölünmesini, zaman, maliyet ve kaynak seviyelendirme amaçlarını da içerisine alan bir amaç programlama modeli geliştirmişlerdir. İş zamanlarının tahminleri, kaynakların bir fonksiyonu şeklindedir. Bu da işlerin farklı modlarda yapılabileceği şeklinde açıklanabilir. Her modda farklı kaynak kombinasyonları vardır ve işler farklı modlarda yapıldığında işlerin farklı bitiş zamanları olabilir. Kaynak tüketimi deterministik ve kesikli şekilde varsayılmaktadır. Proje içerisinde, bölünebilir ve bölünemez işlerin olduğu durumlar mümkündür. Bölünebilir işler bölündükten sonra aynı modla devam etmek şartı sağlandığı sürece başka bir zamanda tekrar kaldığı yerden devam edilebilir. Bölünemez işler başladıkları andan itibaren bitene kadar işlem görür. Ara işler öncüllük ilişkileri ve kaynak kısıtları ile kontrol edilmektedir. Yapılan çalışmadaki algoritmalar C programında kodlanmış ve literatürden alınan bazı test problemleri üzerinde denenmiştir. Tek amaçlı problemler için çalışılan algoritmaların, daha önce “Talbot [26]’ un” çalıştığı algoritmaya göre daha hızlı çözdüğü görülmüştür.

“Demeulemeester et al [5]” yaptıkları çalışmada, proje ağlarında kesikli zaman – maliyet ödüneşmesine yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. İşlerin düğümleri temsil ettiği CPM tazındaki bir ağda, her işin zamanının kesikli olduğu ve bir kaynağa

(örneğin: para) bağlı artmayan bir fonksiyonun iş zamanına atandığı durumu çalışmışlardır. Amaç, olabilir proje zamanları içerisinde, zaman – maliyet ödünleşmesinin nasıl değiştiğini gözlemlemektir. Geliştirilen yaklaşım, iş öncelik kısıtlarını ve projenin son teslim tarihi kısıtlarını dikkate alarak kullanılan tüm kaynakların enküçülenmesini sağlayan iteratif bir optimal çözüm sağlamıştır. Dal sınır tekniği kullanılarak optimal çözüme ulaşılmıştır. Bu çalışma yapılmadan önce literatür tarandığında, önceki zaman - maliyet ödünleşmesinin çalışıldığı makalelerde kaynakların sınırsız sayıda olduğu ve kaynak kısıtlarının dikkate alınmadığı görülmüştür. Ayrıca maliyetlerin bir iş zamanının fonksiyonu olarak değil direk olarak iş maliyeti şeklinde alındığı anlaşılmıştır. Bunun dışında 3 olabilir amaç fonksiyonu üzerinde çalışılmıştır. Bunlar: 1- Tek ve yenilenemez bir kaynak kısıtlının olduğu durumda, projeyi en kısa sürede tamamlama. 2- Proje zamanının kısıtlı olduğu durumda, toplam kaynak kullanımının en aza indirilmesi. 3- Proje zamanını ve kullanılan kaynak miktarını aynı anda minimize etme ve bu sayede zaman – maliyet ödünleşmesine çözüm getirme. 3. tipteki problemde amaç fonksiyonuna yeni bir optimal çözüm getiren bu çalışmanın çözüm algoritması C++ kodunda kodlanmış ve literatürdeki örnek test problemleri üzerinde denenmiştir. Örnek problemlerde, iş sayıları arttığında çözüm süresinin arttığı ve optimal çözümden uzaklaştığı görülmüştür.

“Sprecher and Drexler [25]” makalelerinde çok modlu kaynak kısıtlı çizelgeleme problemine, dal sınır yöntemi ile farklı bir algoritma geliştirmişlerdir. Daha önce yapılan çalışmalarda, CPM ve MPM (Metra Potential Method) yöntemlerinin limitsiz kaynak kullanımı varsayımı altında çalıştığı görülmüştür. Ama gerçek hayattaki kaynaklar limitlidir ve bir iş farklı kaynak miktarı veya farklı kaynaklarla yapılabilir. Bu da bir işin farklı modlarla yapılabileceğini göstermektedir. Dahası bir proje, işleme giren işlerin artırılmasıyla beraber daha hızlı bitebilir ve bu da bize zaman – kaynak ödünleşmesini getirir. Ayrıca bazı kaynakların artırılması, bazı kaynakların da azaltılması durumu da zaman – kaynak ödünleşmelerine yol açar. Çalışmanın yapısı öncelikle AON hazırlanarak şekillenmiştir. Burada serimde düğümler ve ayrıtlar, işleri ve öncüllük ilişkilerini göstermektedir. Bu ilişkilere dayanarak, projelerin en erken ve en geç bitiş zamanları hesaplatılmış ve bunlar alt ve üst sınırları oluşturmuştur. Temel sayımlama şemalarından yola çıkarak Petterson’ un geliştirdiği arama ağacında yapılan indirgemeler ile algoritmanın

performansı geliştirilmiştir. Daha sonra bir dal sınır algoritması ile yakınsamalar hızlandırılmıştır. Bu geliştirilen algoritma ile tanımlama özelliği kolaylaştırılmış, uygulama basitleştirilmiş, genelleştirilme kolaylaşmış, bazı performans ölçütleri için iyi bir çözüm performansı (minimum kaynak tüketimi, geciken tüm işlerin minimum süresi, ağırlıklandırılmış gecikmelerin süresi vb.) elde edilmiştir. Ayrıca daha önce çözümlenebilen (optimal çözümü bulunabilen) örneklerin neredeyse problem boyutu iki katı kadar büyüklükte olan problemlere çözümler getirilebilmiştir. Literatürden alınan yaklaşık 10000 tane problem örneği çözdürülmüştür. Çalışmada çözülen problemler gerçek hayattaki problemlerden uzak olsa bile gerçek hayat problemlerinin de tasarlanan çözüm yöntemi ile çözülebileceği açık bir şekilde çalışmada gösterilmiştir [25].

“Reyk and Harroelen [19]” makalelerinde işlerin genelleştirilmiş öncüllük ilişkilerinin olduğu, yenilenebilir, yenilenemez ve çift yönden kısıtlı kaynakların limitli miktarda olduğu ve bir projenin birden fazla mod ile ilerleyebileceğini içerisine alan genelleştirilmiş öncüllük ilişkilerini dikkate alan, çok modlu, kaynak kısıtlı çizelgeme problemi çalışması yapmışlardır. Birden fazla mod olması durumu, kaynak kullanımının etkisini arttıran, zaman - kaynak ödüneşmesi, zaman – maliyet ödüneşmesi ve kaynak – kaynak ödüneşmesi, durumlarının etkisini arttırmıştır. Yapılan çalışmada, zamana bağlı gerekli kaynak miktarı ve varlığı, proje hazırlanma zamanları, proje teslim zamanları, işin bitiş zamanını aşma durumlarını dikkate alan, gerçek hayatta karşılaşılabilecek durumlar incelenmiştir. Öncüllük ilişkileri ve işler bir serim formatına dönüştürülmüştür. Başlangıç zamanları, bitiş zamanları, öncüllükler, modlar, kısıtlar modele eklenmiştir. Genelleştirilmiş öncüllük ilişkileri 4 tipe ayrılmıştır: FF (Bitiş – Bitiş), SS (Başlangıç – Başlangıç), FS (Bitiş – Başlangıç) ve SF (Başlangıç - Bitiş). Çalışma ile ilgili iki alt problemin (mod atama problemi ve genelleştirilmiş öncüllük ilişkilerini dikkate alan KKPÇP) NP – zor problemler olması dolayısı bu çalışma da NP – zor problem kategorisine girmiş ve çözüm için bir tabu arama algoritması geliştirilmiştir. Bu tabu arama algoritması literatürden alınan 1350 farklı örnekte çalıştırılmış ve daha önceki çalışılan tüm sezgisel yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

“Wuliang and Chengen [28]” yaptıkları çalışmada, kaynak kısıtını ve kesikli zaman – maliyet ödünleşmesini içeren proje çizelgeleme problemini çalışmışlar, ÇMKK problemini – KZMÖP (Çok Modlu Kaynak Kısıtlı - Kesikli Zaman - Maliyet Ödünleşmeli Problem) ile birleştirmişlerdir. Bir çok modlu KKPÇP önermişler ve genel kesikli zaman – maliyet ödünleşmeli çizelgeleme problemine, yenilenebilir kaynaklar katmışlardır. Bu dönemden önceki literatüre bakıldığında, KZMÖP’lerin çözümleri için, dinamik programlama, sayımlama algoritmaları, dal sınır algoritmaları ve sezgisel yaklaşımlar ile çözüme gidilmiştir. Kesin çözümler verebilecek yaklaşımların hiçbirinde büyük boyutlu problemler için çözüme erişilememiş ancak; 2000’li yıllarda geliştirilen bir sezgisel yaklaşım ile genel KZMÖP’i optimum çizelgeleme planına yakın bir sonuç verebilen hale gelmiştir [15]. Çok modlu hale dönüştürülen bu çizelgeleme problemi için bir genetik algoritma geliştirilerek çözüme gidilmiş ve kesin çözüme giden algoritmalar ile bu genetik algoritmanın çözümleri karşılaştırılmıştır.

Çoğu kesikli zaman – maliyet ödünleşmeli çizelgeleme problemi ile ilgili makalede, yenilenebilir kaynakların gerçek hayatta daha önemli olmasına rağmen yenilenemez kaynaklar üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada, daha önce çalışılan genel KZMÖP ile çok modlu KKPÇP’nin birleşimi sağlanmıştır. Çalışmanın içeriğinde: Yenilenebilir kaynaklar sınırlı sayıdadır ve iş süreçlerinde yenilenebilir kaynak kısıtı vardır.

Genelde, dolaylı ve dolaylı olmayan maliyetler hesaba katılır ve bu hesapta projede normal mesai saatlerinde çalışılan kısmı dolaylı maliyet, fazla mesai saatlerinde çalışılan kısmı ise direk maliyet olarak düşünülür. Projede dolaylı maliyet yenilenebilir, direk maliyetler ise yenilenemez kaynaklar olarak baz alınır. ÇMKK – KZMÖP’de direk ve dolaylı maliyetler yalnızca yenilenebilir kaynaklar üzerinden, direk maliyetler birim zamandaki maliyet olarak hesaplanarak, düşünülmüştür.

Her iş sadece seçilen mod ile değil seçilen yol ile de yürütülebilmektedir ancak eğer iş bir mod ile başladıysa, o mod ile tamamlanmalıdır (Örneğin A işi çok acil ise, daha çok dolaylı olmayan maliyet ile yani fazla mesailer ile daha kısa sürede tamamlanabilir). Bu durumlar değerlendirilerek bu çalışma tasarlanmıştır [28].

“Talbot [26]” makalesinde her işin süresinin kendisine atanmış bir kaynağın fonksiyonu olduğunu dikkate alan, iş bölünmelerine izin vermeyen KKPÇP için çözüm yaklaşımları getirmiştir. Bu çözümleri içerisine alan bazı amaç fonksiyonları: proje süresinin minimizasyonu, proje maliyetinin minimizasyonu ve limitli miktarda olan bir kaynağın tüketiminin minimizasyonu şeklindedir. Yapılan çalışmada bir iş, başka bir iş tarafından bölünemez durumu ve kullanılan kaynaklar günlük hayatta kesikli bir şekilde tüketilen kaynakların durumu değerlendirilmiştir. Bu makaleyi bu makaleden önce yayınlanmış diğer makalelerden farklı kesen kısım, dönem ve proje bazlı kaynak (yenilenebilir, yenilenemez ve çift yönden kısıtlı kaynaklar) çeşitliliği kullanılarak, bir işin birden fazla şekilde yapılması olanağını düşünülmesidir. Bu çalışmada birçok amaç fonksiyonu ortaya çıksa da literatürde, proje yönetiminde, en çok etkili olan proje bitiş zamanını enküçükleyen çizelgeleme ve tüm proje maliyetini enküçükleyen çizelgeleme yöntemi üzerinde durulmuştur ve daha sonra zaman-maliyet ödünleşmesine bakılmıştır. Öncelikle zaman minimizasyonu için, AON serimleri kullanılarak bir formülasyon geliştirilmiştir. Burada öncül olan işlere, bu işlerden daha sonra gelecek olan işlere göre daha yüksek düğüm numaraları atanarak bir serim oluşturulur. Bu serimlerde, kaynak kullanımı ve zaman dikkate alınarak bir iş birden fazla şekilde yapılabilir. Serimdeki her bir yol farklı bir mod olabilir. Geliştirilen backtracking algoritması ile hazırlanan bir çizelge içerisine yeni bir iş girdiğinde, optimum sonucu bulmak için tekrar bir çizelgeleme sunması sağlanmıştır. Sonuç olarak 0-1 tamsayılı karar modeli önerilip, bu model literatürdeki bazı test problemleri üzerinde denenmiştir. Test problemleri çözdürüldüğünde maliyet etkili olarak, küçük problemler için optimal sonuçlar, büyük problemler için ise iyi sezgisel sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu makaledeki çözüm, bu makaleden daha yeni tarihli makalelerde de bahsettiği gibi, bölünemez projelerin bitiş zamanlarının minimizasyonu ve birden fazla kaynak kısıtlı, kesikli zaman – maliyet ödünleşmeli çizelgeleme problemi için tek çözüm algoritmasıdır.

“Kim et al [13]” yaptıkları çalışmada, birbiri ile çok fazla çakışan işlerin olduğu durumda, her bir işin potansiyel kalite kaybı maliyetini gösteren bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. “Khang and Myint, [12]” daha önce bir çimento fabrikasında yaptıkları çalışmada zaman – maliyet – kalite ödünleşmesini bir doğrusal programlama modeli ile çalıştırıp şu iki olguyu ortaya

atmışlardır: Çakışma durumunda tüm projenin kalitesinden fedakârlık edilemez ve her işin kendisine özel bir kalitesi vardır. Ayrıca toplam projenin kalitesi, projenin hedeflerine ulaşmış olsa bile proje içerisindeki herhangi bir iş proje gereklerini sağlamıyorsa (çakışmalardan dolayı) fazladan maliyete katlanılarak yenilemeler veya modifikasyonlar yapılabilir [12]. Bu çalışmada da artan çakışmaların olması durumlarında yeniden işlemlerin ve modifikasyonların olabileceği ve bu tip durumlardaki potansiyel kalite kaybını da dikkate alan bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Sonuçta geliştirilen bu yaklaşımda, her ne kadar bir iş bittikten sonraki proje maliyetini olumsuz yönde etkileyen beklenmedik durumlar tamamen engellenemese bile direk maliyetler potansiyel kalite kaybının içerisine dahil olduğu için beklenmedik durumlara karşı maliyetlerin aşırı derecede olmasının engellenebileceği gösterilmiştir.

“Heilmann [10]” makalesinde farklı işler arasındaki minimum (bir işten sonraki iş en kısa hangi sürede başlar) ve maksimum (2. iş birinci işten sonra başlayacaksa en geç ne zamana biter) zaman gecikmelerini verilebileceği, çok modlu KKPÇP üzerinde çalışmıştır. Bu problemde amaç fonksiyonu olarak her işin kısıtlarının sağlanması ve maliyetini minimum yapan başlangıç zamanının ve modun bulunmasıdır. Çözüm yaklaşımı olarak modların ve başlangıç zamanlarının eş zamanlı olduğu bir karar verme şeklidir. Bu makalede ilk kez çok modlu KKPÇP ile maksimum ve minimum gecikmeler bir arada çalışılmıştır. Daha önce çalışılan literatürdeki problemler üzerinde çalışılmış ve küçük boyutu problemler için çalışılan dal sınır yaklaşımının oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak sonuçlar iyi gözükse de büyük problemler için sezgisel yöntemlerin kullanılmasının daha anlamlı olacağı açık bir şekilde görülmüştür.

“Kyriakidis et al [14]” makalelerinde, yenilenebilir ve yenilenemez kaynakları içeren, çok modlu ve deterministik KKPÇP için yeni karma tamsayılı bir doğrusal karar modeli geliştirmiştir. Model yaklaşımı süreç çizelgeleme problemlerinde kullanılan sürekli zaman modellerini temel almış bir ağ tasarımı yöntemidir. Öncelikle yeni bir kaynak görev ağı tasarımı RTN (resource task network) önerilmiş, daha sonra bu model öncüllük ilişkilerini ve farklı kısıtları içeren matematiksel bir modele dönüştürülmüştür. Öncelik diyagram metodu olarak da bilinen kaynak görev ağı tasarımı, iş sıralama için bir ağ tasarımıdır. İş sıralama

diyagramlarında, kutular işleri (yani düğümleri) kutular arasındaki oklar ise işlerin birbirine olan bağımlılığını göstermektedir. Daha sonra bu model, işlerin tamamlanma zamanı minimizasyonu ile ilgili olarak bazı örnek test problemleri üzerinde denenmiştir. Daha önceki makalelere göre çoğu 60 aktiviteli problem ve birçok 90-120 aktiviteli PSPLIB (Project Scheduling Problem Library) problemini çözmek için bu güne kadar yapılan çalışmaların kapasitesi yetmemektedir. Özetle bu makalede süreç çizelgeleme probleminde kullanılan tekniklerden faydalanılarak bir kaynak kısıtlı proje çizelgeleme yöntemi önerilmiştir. İlk ve hedef envanter değerleri, gerekli kaynakların özellikleri ve öncüllük ilişkileri ve sonuçlar açısından proje ve süreç çizelgeleme yönteminin aynı alanda oldukları görülmüş ve çözümsel yaklaşımlarının birbirlerine uyarlanabileceği anlaşılmıştır.

“Ahn et al [7]” makalelerinde, zaman - maliyet ödünleşmesinin modlar ile değiştiği, seçilen modda süre azaltılmasının uygulandığı, öncüllüklerin göz ardı edildiği kaynak kısıtlı çizelgeleme problemine ait sezgisel bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Bu problem, zaman - maliyet ödünleşmesinin ve KKPÇP'nin doğal bir birleşimidir. Problemin amacı, maliyeti minimize ederken, her işin başlangıç ve bitiş zamanını ve modunu tahmin etmektir. Toplam projenin maliyeti, tüm işlerin maliyetinin toplamı ve cezalardan oluşmaktadır. Bu problemin çözümünde bir çoklu geçiş (multi pass) algoritması uygulanmıştır. Bilgisayarda, 100 test problemi için bu sezgisel yöntem çözdürülmüş ve verimliliği açıklanmıştır. İş zamanı veya maliyeti, bu çalışmada kaynak gereksinimin ve yapılan sıkıştırmanın (direk işçilik maliyetini arttırarak iş zamanını azaltma) bir fonksiyonu olarak düşünülmüştür. Bu işler, birden fazla modda yapılabilmektedir. Ayrıca her farklı modda daha fazla çalışma yapılarak, çalışılan gün sayısı azaltılabilir (direk işçilik maliyeti artar). Bu problem makalede, çok modlu, sıkıştırılabilir kaynak kısıtlı çizelgeleme problemi olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu çalışmadaki sezgisel çözüm yönteminin sonuçlarının, “Sprecher, [24] in” 1994 yılında yayımladığı makaledeki çözüme göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

“Sen and Sherali [22]” büyük boyutlu problemlerin çözümü için, parçalama (decomposition) yönteminin çok etkili bir sezgisel yöntem olduğunu göstermişlerdir. Genellikle stokastik problemler için daha etkin bir yöntem olduğunu; ancak tamsayı programlama modelleri için de bu yaklaşımın

kullanılabileceğini söylemişleridir. Bu makalede geliştirilen parçalama yönteminin en önemli avantajı karma tamsayılı stokastik karar modelleri olarak geliştirilen büyük boyutlu problemlerin küçük boyutlu karma tamsayılı modellere parçalanarak çözülebilmesidir.

“Franck et al [8]” çalışmalarında büyük problemleri çözebilmek için çeşitli sezgisel yöntemler geliştirmeyi benimsemişlerdir. Öncüllük ilişkileri metodu, parçalı dal sınır tekniği, tabu arama, genetik algoritma v.b. Bu sezgisel yöntemlerin çözümleri karşılaştırılarak belirli bir kabul edilebilirlik derecesinde 1000 işe kadarki olan projeler çözdürülebilmıştır. Parçalama (decomposition) yöntemi ilk olarak “Neumann and Zhan, [16]” tarafından ortaya atılmıştır. Bu parçalama teoremi şu şekilde açıklanmıştır: Eğer N ağında olan her küçük C ağının uygun ve optimum bir çözümü varsa, büyük N ağının da uygun ve optimum bir çözümü vardır. Bu teorem üzerinden bir parçalı dal sınır yöntemi uygulanarak sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

3. ZENGİN PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN DOĞRUSAL KARAR MODELİ

Bu bölümde, ilk olarak ZPÇP fikrinin oluştuğu firma hakkında bilgi verilmektedir. Daha sonra bu firmadaki ana problemin tanımı detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Son olarak geliştirilen karar modelinin notasyonları, kısıtları ve amaç fonksiyonu verilmiştir. Problemin çözümü için geliştirilen karar modeline benzer modeller literatürde incelenmiş ve özgün bir karar modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

3.1 Firmaya Ait Genel Bilgi

Problem üzerinde çalışma yapılan firma 2003 yılında küçük bir atölye olarak Ankara'da kurulmuştur. Kısa zamanda büyüyerek, faaliyet gösterdiği atölye sayısını 11'e çıkartmış ve 2008 yılında atölye halinden çıkıp fabrikaya ortamına taşınmıştır. Giderek gelişim gösteren firma 2011 yılında ikinci fabrikasını kurmuştur. Toplam 7.800 m² kapalı, 10.400 m² açık alanda hizmet vermektedir.

Firma taş ocaklarındaki tesislerde çalışanlar için, taş kırma ve eleme makinaları üreten, proje bazlı çalışan bir firmadır. Tüm projelere ait makinaların ve konveyörlerin üretimi ve üretimden sonra tesis alanına tüm sistemin kurulumu firmanın kendisi tarafından yapılmaktadır.

Proje bazlı üretim sistemleri, her proje için farklı iş akış şemasında sahip olan, alanında uzman ve teknik anlamda yetenekli işgörenleri olan, stok seviyeleri değişkenlik gösterebilen, parti büyüklüğünün küçük miktarlarda olduğu her birim için üretim zamanının değişken olduğu yapılardır [9].

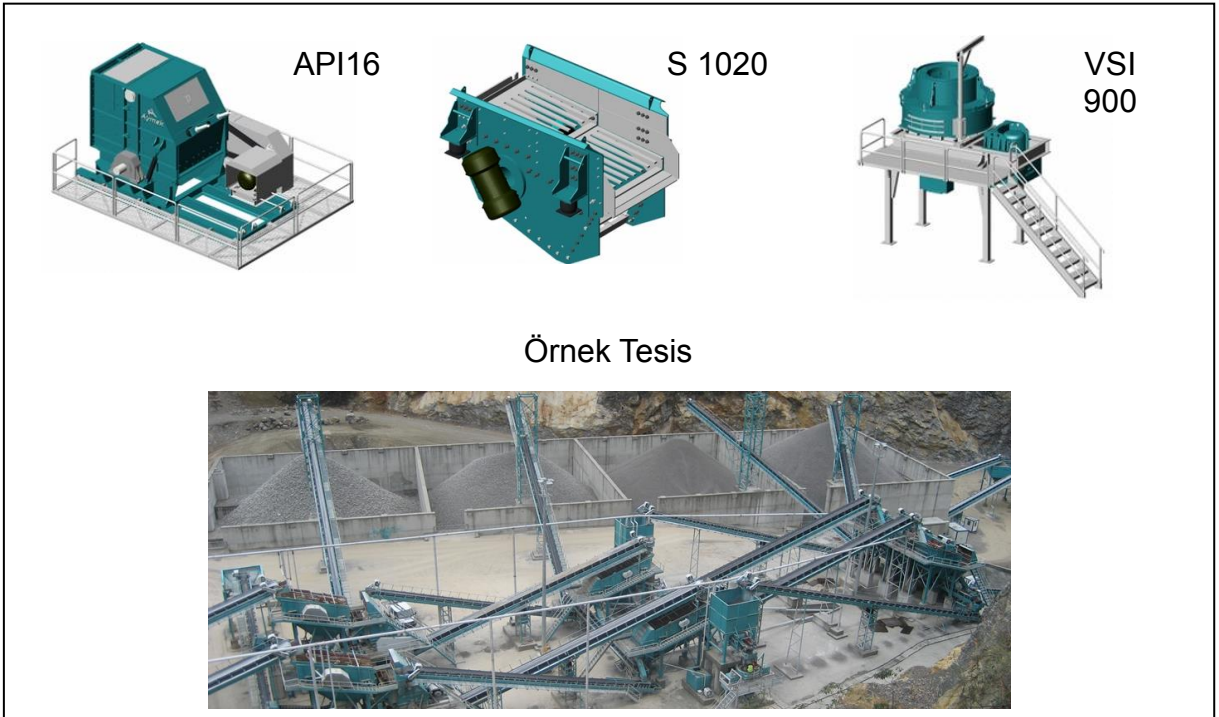
Firmada 14 farklı makina üretimi gerçekleştirilmektedir. Müşterilerin isteklerine göre, bu 14 farklı makinanın çeşitli kombinasyonlarının, bant konveyörlerin ve diğer gerekli malzemelerin de üretimi ile bir proje tasarlanarak müşterilere sunulmaktadır. Firma içerisinde aynı anda 5 ila 7 proje üretim aşamasında yer alabilmektedir.

3.1.1 Firmada üretilen makinalar

Firmada üretilen ürünlere ait bilgiler Çizelge 3.1’de ürünler ile ilgili örnekler ise Şekil 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Firma Ürünlerine Ait Bilgiler

Makina Tipi	Makina Markası-1	Makina Markası-2	Makina Markası-3	Makina Markası-4	Makina Markası-5
Çeneli Kırıcılar	AJC 90	AJC 110	-	-	-
Darbeli Kırıcılar	API 14	API 16	ASI 1210	ASI 1212	ASI 1215
Dik Milli Kırıcı	VSI 900	-	-	-	-
Tersiyer Kırıcı	ATK 120	-	-	-	-
Elekler	ELEK 2260	ELEK 2460	S 1020	-	-
Besleyiciler	VB 1140 -1150	VB 8517	-	-	-



Şekil 3.1 Örnek Makinalar ve Tesis

3.1.2 Üretim için gerekli kaynaklar

Firmada üretim için gerekli kaynaklar aşağıdaki gibidir:

- 1- Kesme Tezgâhı,
- 2- Delik Delme Tezgâhı,
- 3- Bükme Tezgâhı,
- 4- Kaynak Makinası,
- 5- Boya Makinası,
- 6- İşgören ve
- 7- Vinç.

3.1.3 Farklı modlarda işlerin yapılabilirliği

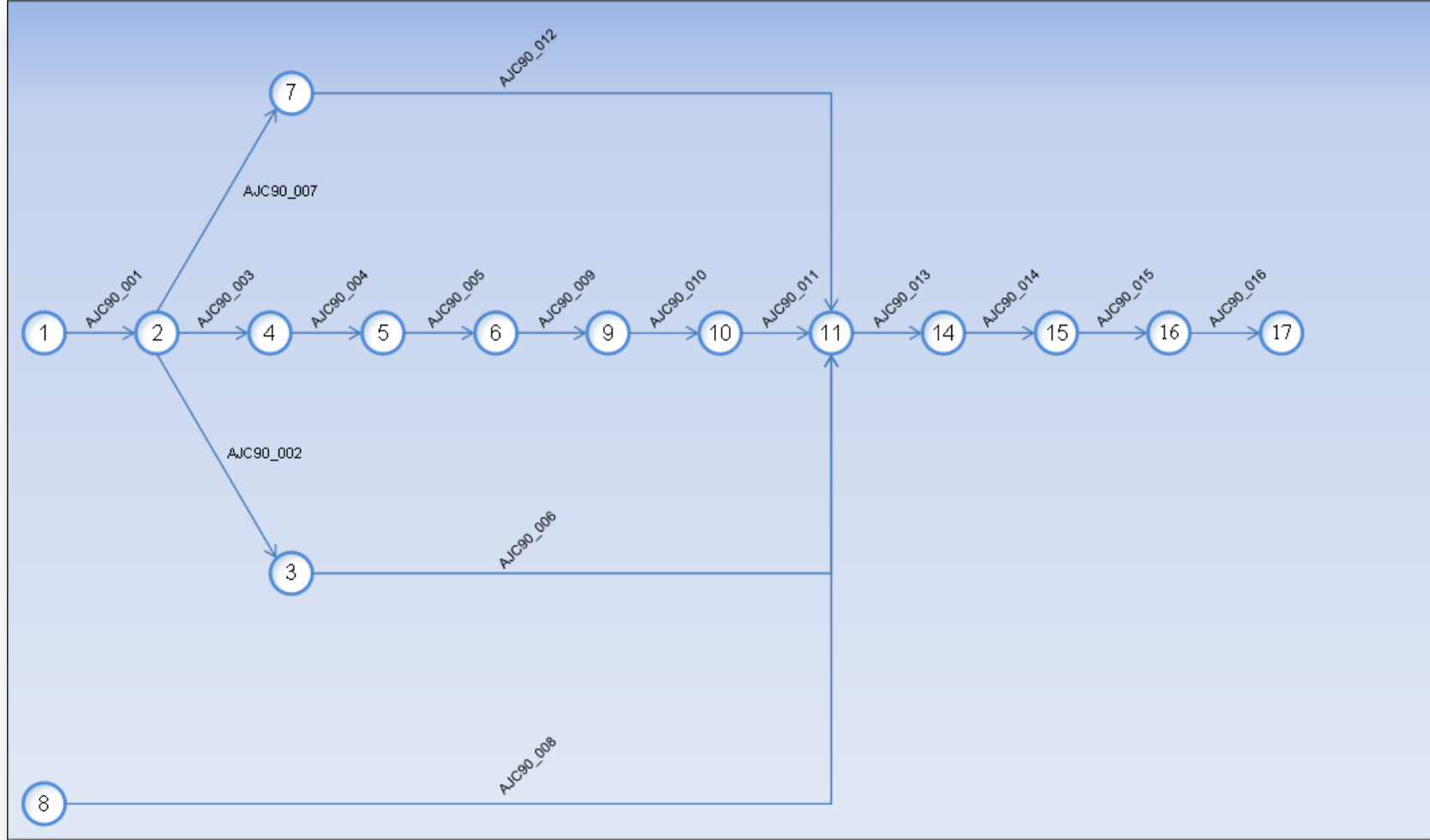
Üretim aşamasında bir iş birden fazla modda yapılabilmektedir. Farklı modların olması bir işin, farklı kaynak sayıları ile farklı maliyetlerde ve farklı sürelerde yapılabilirliğe sahip olması demektir. Örneğin, delik delme tezgâhında üretimi yapılacak olan bir makinaya ait gövde saclarının üzerine delik delme işlemi, 1 işçi ve bir tezgâh ile 2 gün sürerken bunun maliyeti 1 para birimidir. Aynı iş 1.25 para birimi maliyete katlanılarak, 2 işçi ve 2 delik delme tezgâhı kullanılarak 1 gün içerisinde tamamlanabilir. Burada daha fazla kaynak kullanılarak ve daha fazla maliyete katlanılarak işin daha hızlı, daha kısa bir sürede yapılabilme durumu vardır. Yapılan işlerde, projenin yetiştirme süresine göre veya katlanılacak olan maliyete göre farklı modlar tercih sebebi olabilmektedir.

3.1.4 İşlerin bölünebilirlik ve bölünemezlik durumu

Firmada yapılan bazı işler bölünebilir bazı işler bölünemez şeklindedir. Bölünemez işler genellikle taşeron firmaya yaptırılan, satın alma işleri veya işe ara verildiği zaman ekstra maliyetlere (örneğin makina hazırlık zamanının maliyeti) katlanması gereken durumların olduğu işlerdir. Bölünebilir işler ise bölündüğü zaman maliyet açısından çok etkisi olmayan, farklı dönemlerde (günlerde) yapılabilen işlerdir.

3.1.5 Öncüllük ilişkileri ve çizelgeleme problemi için eldeki veriler

Firmada üretim gerçekleşirken, projelere ait makinalardaki işlerin öncüllük ilişkileri dikkate alınarak işler sıra ile yapılmalıdır. Her bir makinanın yapımındaki işler için öncüllük ilişkileri ayrı ayrı çıkartılmıştır. Örnek olarak AJC 90 makinasına ait öncüllük ilişkileri verilmiştir AJC90_001 - AJC90_016 kodları yapılan işleri temsil etmektedir. (Bkz: Şekil 3.2).Tüm makinalara ait öncüllük ilişkileri ekte verilmiştir. (Bkz: EK 1- EK 14)



Şekil 3.2 AJC 90 Öncüllük İlişkileri

Problemin çözümü için gerekli veriler toplanmış, her bir makina için o makinaya ait veriler bir tablo üzerinde hazırlanmıştır. Örnek olarak üretilecek olan AJC90 makinasının işlerine ait verilerin tablosu verilmiştir (Bkz: Çizelge 3.2). Tüm makinalara ait veriler de ekte verilmiştir (Bkz: EK 15 - EK 28). Sevkiyat süresi ve maliyeti projenin yapıldığı yere göre değiştiği için bu bölümün parametresi tablolar üzerinde SEVKİYAT olarak tanımlanmıştır.

Bu çizelgede kod numarası olarak gösterilen sütun her bir işe ait verilen numaraları göstermektedir. Bölünebilirlik sütununa eğer iş bölünebilir ise 1 bölünebilir bir iş değilse 0 atanmıştır. 1. mod bölümüne ait ilk sütunda işin kaç günde yapıldığı, ikinci ve üçüncü sütunda iş için hangi kaynaklara gereksinim olduğu dördüncü sütunda ise o işin maliyeti (para birimi olarak) verilmiştir. Burada para birimi olarak kastedilen gerçek maliyetin farklı bir birime çevrilmiş halidir. Firmanın gerçek maliyetleri gizli bir bilgi olduğu için bu şekilde uygulanmıştır. 2. Moda ait sütunlarda da 1. moda ait olan bölümdeki gibi aynı veriler farklı rakamsal değerler ile gözlenmektedir. Birinci mod ile ikinci mod arasındaki fark; birinci moddaki işler daha az kaynak kullanılarak daha uzun sürede daha az maliyete katlanılarak yapılan işlerdir. İkinci moddaki işler ise daha fazla kaynak kullanılarak daha kısa sürede daha fazla maliyete katlanılarak yapılan işlerdir. Eğer işler tek modlu ise direk olarak birinci mod geçerlidir. Satın alma, taşıeron firmaya iş yaptırma gibi işlerde modlar tektir ve bu işler firma içerisinde yapılmadığı için kaynak kullanımı yoktur.

Çizelge 3.2 AJC90 Makinasının İşlerine Ait Veriler

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	AJC90_001	0	10			4				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	AJC90_002	0	5	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	0.6	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	1
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	AJC90_003	0	7	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1	3	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	1.5
DELİK DELME İŞLEMİ	AJC90_004	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.5	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	0.75
BÜKÜM İŞLEMİ	AJC90_005	1	1	1 İşgören	1 tezgah	0.75				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	AJC90_006	0	17			10.71				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	AJC90_007	0	7			2				
SATINALMA MALZEMERLERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	AJC90_008	0	20			35				
GÖVDENİN ÇATILMASI	AJC90_009	1	12	2 İşgören	1 Kaynak makinası	4				
GÖVDENİN KAYNAMASI	AJC90_010	1	3	2 İşgören	2 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN BOYANMASI	AJC90_011	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.4	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.8
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	AJC90_012	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	AJC90_013	1	2	2 İşgören		1	1	3 İşgören		1.5
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	AJC90_014	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	AJC90_015	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	AJC90_016	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

3.2 Problemin Tanımı

Yapılan çalışmalar ve elde edilen bu veriler doğrultusunda çok projeli, çok modlu, kaynak kısıtlı, zaman – maliyet etkileşimini göz önünde bulunduran bir proje çizelgeleme problemi üzerinde çalışılmıştır. Firma içerisinde birden fazla projeye ait farklı işler aynı zamanlarda yapılabilmektedir. Birden fazla projenin üretimi eşzamanlı olarak sürebilmektedir. Burada amaç; minimum maliyet ile bu işlerin çizelgelenmesini sağlamaktır. Bu çizelgeleme yapılırken, öncüllük ilişkileri, kısıtlı kaynaklar ve zaman – maliyet etkileşimi göz önünde bulundurulmalıdır. Zaman maliyet etkileşimi değerlendirilirken ilk önce firmanın bir gün boyunca çalışmasının maliyeti hesaplanmıştır. Firmanın bir gün boyunca çalışmasının maliyeti 5 para birimidir. Bu değer firmanın finansal tablolarından hesaplanan direk olarak elde edilmiş, bilinen bir veridir. Çizelgeleme probleminin amaç fonksiyonu üzerinde çalışılırken bu değer önem kazanmaktadır. Firmanın çizelgelenen işleri 1 gün öteleyebilmesi demek 5 para birimi maliyete katlanmaması demektir. Bir başka deyişle işler firmanın çalışma süresini 1 gün azaltacak (öteleyebilecek) şekilde çizelgelenenirse, buradaki 5 para birimi firmanın yan getirisi olacaktır. Daha önce yapılan işlerin bazılarının çok modlu olduğunu ve bu çok modlu olan işlerin bazılarının 2. modda daha fazla kaynak kullanarak, daha kısa sürede ve daha fazla maliyete katlanılarak, bazılarının da 1. modda daha az kaynak kullanılarak daha uzun sürede ve daha az maliyete katlanılarak yapılabildiğine değinmiştik. Eğer işler 2. modda yapılırsa ve bu modda yapılan iş tüm projelerin yapılması için gereken süreyi 1 gün kısaltabiliyorsa 2. modda çalışma şu durumda tercih edilebilir. 2. modda işlerin yapılmasının maliyeti ile işleri 1 gün kısaltılmasının kârı (5 para birimi) arasındaki fark, işlerin 1. modda yapılması durumundaki maliyetten daha az olmalıdır. Eğer durum bu şekilde olursa amaç fonksiyonu daha küçük bir değer alacaktır. Örnek verecek olursak firma işlerin 1. modda yapılması için 6 para birimi maliyete ve 2. modda yapılması için 9 para birimi maliyete katlanıyor olsun. Eğer işler 2. modda yapılırsa ve tüm işlerin tamamlanma süresi 1 gün azalırsa firma buradan 5 para birimi değerinde bir getiriye sahip olacaktır. Aslında 2. modda yapılan 9 para birimi değerindeki iş $9 - 5 = 4$ para birimi değerindedir ve 1. modda yapılmasının maliyetinden (6 para birimi) daha azdır. Bu durumda işlerin 2. modda yapılması tercih edilir. Buradaki zaman – maliyet etkileşimi modelde

parametrik olarak düşünölmüştür; ancak bu durum firmada kullanılan kaynakların kapasitesinin yeterli olabildiği müddetçe geçerlidir. Bölüm 3.1.2'de açıklanan kaynakların kapasitesinin yeterli olması durumunda, 2. mod tercih edilebilecektir.

Tüm işlerin en erken başlama zamanları CPM (Critical Path Method) yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu hesaplama Excel (VBA) kodu hazırlanarak, yapılacak her bir projenin işleri için ayrı ayrı yapılmıştır. İşlerin en geç başlama zamanı değerleri daha önce firmada çizelgeleme ile ilgili çalışmalar yapılmadığı için veri olarak bulunmamaktadır. Ancak en geç başlama zamanları problemin çözümü için gerekli bir parametredir. İşlerin en geç başlama zamanı değerlerine tüm projelerin yapılabileceği sürenin atanması, problemin boyutunu oldukça büyölmektedir. Problemin boyutunun büyümesi hem çözüm süresini uzamasına neden olmakta hem de matematiksel modelin boyutlarını çok büyölttüğü için optimum çözümünün sağlanamamasına neden olmaktadır. Bu nedenle çözüm yöntemi olarak en geç başlama zamanlarının bulunmasına ait parçalı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelden elde edilen veriler ile ZPÇP'nin çözümünde optimum çözümlere ulaşılabilir. Daha büyük boyutlu problemlerin çözümü için ise ZPÇP'nin çözümüne ait matematiksel modele ek güçlendirici kısıtlar eklenerek parçalama (decomposition) yöntemi ile çalışabilen bir model elde edilmiştir. ZPÇP'ne ait matematiksel model Bölüm 3.3'te, çözüm yöntemine ait modeller ise Bölüm 4'te daha detaylı olarak açıklanmıştır.

3.3 Zengin Proje Çizelgeleme Probleminin Karar Modeli

İndekslerin Tanımları:

i: Proje indeksi

j: İş indeksi

m: Mod indeksi

t: Zaman periyodu indeksi

Kümelerin Tanımları:

P: Projeler kümesi.

B_i^+ : *i* projesindeki bölünebilir işler kümesi.

B_i^- : i projesindeki bölünemez işler kümesi.
 M_{ij} : i projesindeki j işinin yapılabileceği modlar kümesi.
 O_{ij} : i projesindeki j işinin öncül işleri kümesi.
 A_{ij} : i projesindeki j işinin ardıl işleri kümesi.
 T_{ij} : i projesindeki j işinin yapılabildiği dönemler kümesi.
 R : Kaynaklar kümesi.

Parametrelerin Tanımları:

MAX : Toplam proje sayısı

MAX_{ij} : i projesindeki toplam j işi sayısı

D_{ijm} : $i \in P$, $j \in B_i^+ \cup B_i^-$, $m \in M_{ij}$, i projesinin j işinin m modunda yapılabilmesi için gereken maliyet.

$sure_{ijm}$: $i \in P$, $j \in B_i^+ \cup B_i^-$, $m \in M_{ij}$, i projede, j işinin m modunda yapılabilmesi için gereken süre miktarı.

kay_{ijmk} : $i \in P$, $j \in B_i^+ \cup B_i^-$, $m \in M_{ij}$, $k \in R$, i projesinin, m modunda j işinin yapılabilmesi için gerekli k kaynak miktarı.

K_k : Elimizdeki $k \in R$ için kullanılabilir K kaynak miktarı.

m_{ij} : i projesinde j işi için var olan mod sayısı.

ES_{ij} : i projesinde j işinin yapılabilmesi için en erken başlama zamanı.

LS_{ij} : i projesinde j işinin yapılabilmesi için en geç başlama zamanı.

Karar Değişkenlerinin Tanımları:

S_i : $i \in P$ için i projesinin başladığı periyot.

Z_i : $i \in P$ için i projesinin bittiği periyot.

Y_{ijml} : Bölünebilir iş i projesinin j işinin m modunun l döneminde aktif ise 1, değilse 0

X_{ijml} : Bölünemez iş i projesinin j işinin m modunun l döneminde başlamış ise 1, değilse 0

Karar Modelinin Açıklanması:

Modelin kısıtları 5 farklı bölüme ayrılmıştır ve en son amaç fonksiyonu verilmiştir. Kısıtların açıklandığı 5 bölüm de kendi içerisinde ayrıca açıklanmıştır.

$$\sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (t + sure_{iun}) \cdot X_{iunt} \leq l \cdot Y_{ijml} \quad (3.1)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+, \forall u \in B_i^- \cap \ddot{O}_{ij}, \forall m \in M_{ij}, \forall l \in T_{ij}$$

$$(l+1) \cdot Y_{ijml} \leq \sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (t \cdot X_{iunt}) \quad (3.2)$$

$$\forall i \in P, j \in B_i^+, \forall u \in B_i^- \cap A_{ij}, \forall m \in M_{ij}, \forall l \in T_{ij}$$

$$(t+1) \cdot Y_{iunt} \leq l \cdot Y_{ijml} \quad (3.3)$$

$$\forall i \in P, \forall u \in B_i^+ \cap \ddot{O}_{ij}, \forall j \in B_i^+, \forall n \in M_{iu}, \forall m \in M_{ij}, \forall l \in T_{ij}, \forall t \in T_{iu}$$

$$\sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (t + sure_{iun}) \cdot X_{iunt} \leq \sum_{m=1}^{m_j} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} (l \cdot X_{ijml}) \quad (3.4)$$

$$\forall i \in P, \forall u \in B_i^- \cap \ddot{O}_{ij}, \forall j \in B_i^-$$

Buradaki ilk dört kısıt grubu yapılacak olan işler arasındaki öncüllük ilişkilerini sağlayan kısıt gruplarıdır. 2 tane farklı iş grubu olduğu için toplam 4 kombinasyon ile öncüllük ilişkilerine ait kısıt grupları yazılabilmektedir (1) “Tüm bölünebilir ve bölünemez öncül – ardıl işler için, bölünebilir ardıl j işi, bölünemez öncül u işi bitmeden önce başlayamaz kısıtı.” (2) “Tüm bölünebilir ve bölünemez öncül – ardıl işler için bölünemez ardıl u işi, bölünebilir öncül j işi bitmeden önce başlayamaz kısıtı.” (3) “Tüm bölünebilir öncül – ardıl işler için bölünebilir ardıl j işi, bölünebilir öncül u işi bitmeden önce başlayamaz kısıtı.” (4) “Tüm bölünemez öncül – ardıl işler için bölünemez ardıl j işi, bölünemez öncül u işi bitmeden önce başlayamaz kısıtı.”

$$\sum_{m=1}^{m_j} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} \frac{1}{sure_{ijm}} \cdot Y_{ijml} \geq 1 \quad (3.5)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+$$

$$\sum_{m=1}^{m_j} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} X_{ijml} = 1 \quad (3.6)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^-$$

Bu iki kısıt grubu tüm işlerin yapılması için gereken kısıt gruplarıdır. (5) “Tüm bölünebilir işler yapılmalıdır kısıtı.” (Bu kısıt grubunun ≥ 1 şeklinde yazılmasının sebebi farklı modlarda bu işlerin yapılmasına izin vermektir. İşler farklı modlarda yapıldıkları zaman $sure_{ijm}$ değerleri her bir mod için farklı değer olacaktır. Bu nedenle küsüratlı bir değer elde edilme durumu vardır) (6) “Tüm bölünemez işler yapılmalıdır kısıtı.”

$$\sum_{m=1}^{m_{ij}} Y_{ijml} \leq 1 \quad (3.7)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+, \forall l \in T_{ij}$$

(7) Bu kısıt bölünebilir bir işin farklı modlarda aynı dönemde ikinci kez yapılmamasını sağlar. Bölünebilir bir iş farklı modlar ile farklı dönemlerde değer alabilir ancak; bir işin bir bölümü ilgili dönem içerisinde tek modda bir kez yapılabilir.

$$\sum_{i=1}^{MAX} \sum_{j=1}^{MAX_{ij}} \sum_{m=1}^{m_{ij}} kay_{ijmk} \cdot X_{ijml} + \sum_{i=1}^{MAX} \sum_{u=1}^{MAX_{iu}} \sum_{n=1}^{n_{iu}} kay_{iunk} \cdot Y_{iunt} \leq K_k \quad (3.8)$$

$$\forall k \in R, \forall l \in T_{ij} \& ES_{ij} \leq l \leq LS_{ij} - sure_{ijm} + 1, \forall t \in T_{iu} \& ES_{iu} \leq t \leq LS_{iu}$$

(8) Yapılan işlerde (tüm projelerdeki tüm bölünebilir ve bölünemez işler için) bir gün içerisinde kullanılan her bir kaynağın miktarı, günlük ilgili kaynak kapasitesini geçemez kısıtı.

$$S_i \leq \sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} l \cdot X_{ijml} \quad (3.9)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^-$$

$$S_i \leq \sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} l \cdot Y_{ijml} \quad (3.10)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+$$

$$Z_i \geq \sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} (l + sure_{ijm} - 1) \cdot X_{ijml} \quad (3.11)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^-$$

$$Z_i \geq \sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} l \cdot Y_{ijml} \quad (3.12)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+$$

Bu 4 kısıt grubu projenin başlama zamanını ve bitiş zamanın elde edilmesini sağlayan kısıt gruplarıdır. Projenin başlama ve bitiş zamanları amaç fonksiyonunda zaman – maliyet ödünleşmesinden gelen maliyetin hesaplanması için gereklidir Çünkü tüm projelerin toplam bitiş süresinin bir gün kılmasının firmaya bir getirisi vardır. Tüm çalışılan projeler içerisinde ilk yapılan iş ile son yapılan iş dönemleri arasındaki fark, tüm projelerin bitebilmesi için geçen zamanı verecektir. Bu nedenle bu kısıtlara ihtiyaç vardır. İlk ve son iş bölünebilir iş de olabilir bölünemez iş de olabilir. Bu nedenle 4 farklı kombinasyon ile bu kısıtlar geliştirilmiştir. (9) “Projenin en erken başlama zamanı, ilk yapılacak olan iş bölünemez bir iş ise, bu işin başlama zamanıdır kısıtı.” (10) “Projenin en erken başlama zamanı, ilk yapılacak olan iş bölünebilir bir iş ise, bu işin başlama zamanıdır kısıtı.” (11) “Projenin bitiş zamanı, en son yapılacak olan iş bölünemez bir iş ise, bu işin bitiş zamanıdır kısıtı.” (12) “Projenin bitiş zamanı, en son yapılacak olan iş bölünebilir bir iş ise, bu işin bitiş zamanıdır kısıtı.”

$$X_{ijml}, X_{iunt} \in \{0,1\}$$

$$Y_{ijml}, Y_{iunt} \in \{0,1\}$$

$$S_i, Z_i \in \{0,1\}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$MIN \sum_{i=1}^{MAX} (Z_i - S_i + 1) \cdot 5 + \sum_{i=1}^{MAX} \sum_{j=1}^{MAX_j} \sum_{m=1}^{m_j} \sum_{l=ES_{ijm}}^{l=LS_{ijm}} (D_{ijm} / Sure_{ijm}) \cdot Y_{ijml} + \sum_{i=1}^{MAX} \sum_{j=1}^{MAX_j} \sum_{m=1}^{m_j} \sum_{l=ES_{ijm}}^{l=LS_{ijm}} D_{ijm} \cdot X_{ijml}$$

Projenin bir günlük kısalması ile 5 para birimi kâr edeceğini göz önünde bulundurarak, tüm bölünebilir ve bölünemez işlerin, en az maliyet ile yapılmasını amaçlar.

4. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde ZPÇP'nin çözülebilmesi için üzerinde çalışılan çözüm yöntemleri anlatılacaktır. Öncelikle ZPÇP'ne ait karar modelinin boyutlarını küçültebilmek amacı ile en erken başlama ve en geç başlama zamanlarının nasıl hesaplandığı anlatılacaktır. Daha sonra, ZPÇP'nin büyük boyutu problemler ile karşılaşıldığında çözülebilmesi için önerilen zengin proje çizelgeleme probleminin çözümüne ait parçalı model (ZPÇPÇAPM) açıklanacaktır.

4.1 En Erken Başlama Zamanlarının Bulunması

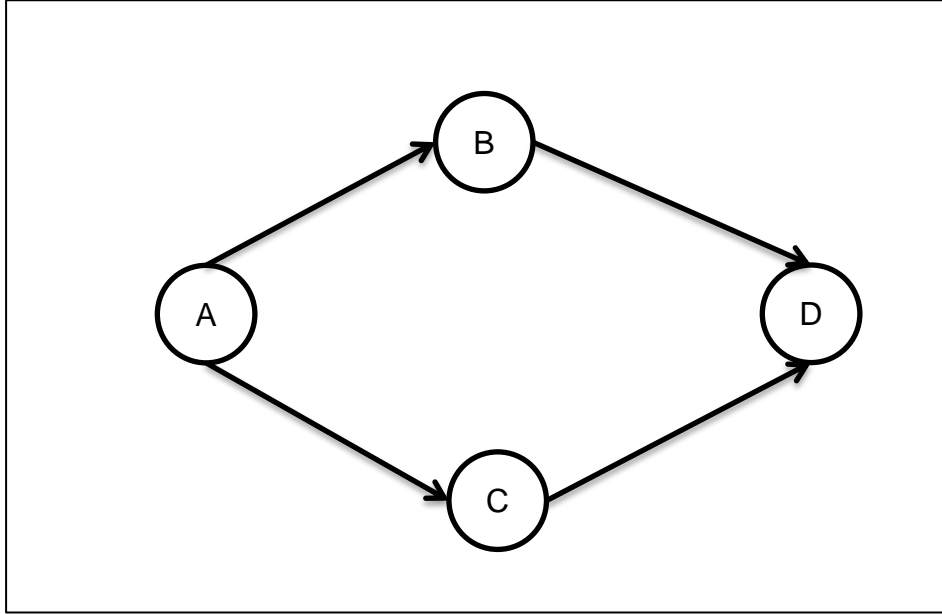
ZPÇP'ndeki yapılacak olan tüm işlerin ne kadar zaman aldığı ve işler arası öncüllük ilişkileri belirlidir. Bu durumda ZPÇP'ne ait karar modelinin boyutlarını küçültmek için her işin en erken başlama zamanları CPM metodu ile bulunabilir. Tüm işlerin en erken başlama zamanına 0 değeri verebilir. Ancak ZPÇP'nin karar değişkenleri Bölüm 3.3'te belirtildiği üzere 4 indislidir. Zaman periyoduna ait en son indis olan "t" indisi her bir değer için modele oldukça fazla sayıda karar değişkeninin eklenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle "t" indisinin bir alt sınır değer ve bir üst sınır değer alması modelin boyutlarını oldukça küçültecektir. ZPÇP'nde bazı işler iki modlu olduğu için en erken başlama zamanlarının bulunmasında hangi modun süresinin dikkate alınacağı önemlidir. Burada eğer iş iki modlu ise işlem süresi kısa süreli olan modun (2. mod) dikkate alınması gerekir. Uzun olan mod ile en geç başlama zamanlarının bulunması durumunda ZPÇP çözüldürken hatalara sebep olabilir.

CPM Yöntemi

İçerisinde 4 farklı iş bulunduran, tüm işlerin yapılma süresi ve işler arası öncüllük ilişkileri belirli olan küçük bir problem üzerinde CPM yönteminin en erken başlama zamanlarını bulabilmek için çalışma şekli aşağıda anlatılmıştır. Çizelge 4.1'de faaliyetler, öncül işler ve faaliyet süreleri, Şekil 4.1'de ise öncüllük ilişkileri mevcuttur.

Çizelge 4.1 Örnek Probleme Ait Veriler

Faaliyet Adı	Öncül İş	Faaliyet Süresi
A	-	5
B	A	3
C	A	5
D	B,C	6



Şekil 4.1 Örnek Probleme Ait Öncüllük İlişkileri

CPM Hesaplamaları ve Çözüm

ES_i : i faaliyetinin en erken başlama zamanı

EF_i : i faaliyetinin en erken bitiş zamanı

t_i : bir işin yapılma süresi

Adım 1: Önceliği olmayan faaliyetin ES_i değerini 0 al

Adım 2: Önceliği olmayan faaliyetin ES_i değerine ardıl işin t_i değerini ekle

$$EF_i = ES_i + t_i$$

Adım 3: Öncesinde faaliyet olan faaliyetlerin ES değeri bir önceki faaliyetin EF değerine eşit alınır.

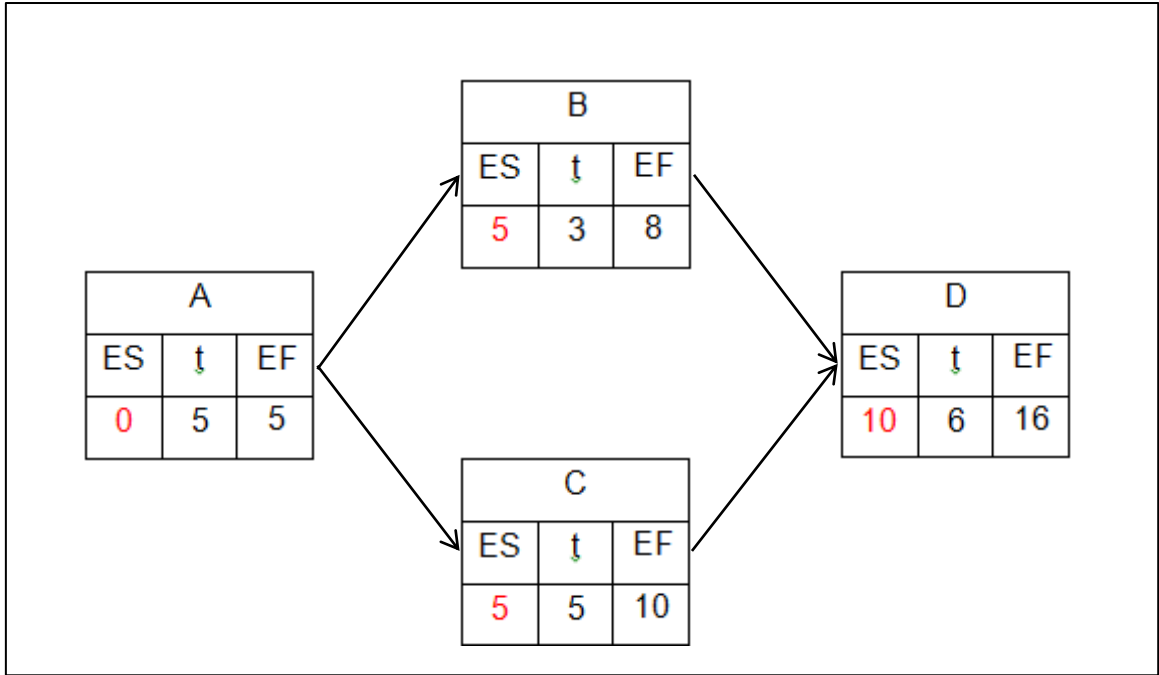
$$ES_{i+1}=EF_i$$

X faaliyetinin birden fazla önceliği var ise bu önceliklerin EF değerlerinin en büyüğü X faaliyetinin ES değeri olur.

$$ES_j=\text{MAX}\{EF_i\}$$

Örnek problemin çözümü ve sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir. En erken başlama zamanları kırmızı renk ile belirtilmiştir.

A işinin öncülü yoktur. Bu durumda en erken başlama zamanı sıfır olup en erken bitiş zamanı da süresi kadardır. B işi ve C işinin öncülleri A işi olduğu için bu işlerin en erken başlama zamanlarının değeri A işinin yapıma süresi kadardır. D işinin 2 öncül işi (B ve C) olduğu için D işinin en erken başlama zamanı, öncül olan iki işin en erken bitiş zamanının en büyüğüdür [1].



Şekil 4.2 Örnek Problemin Çözüm Sonuçları

4.2 En Geç Başlama Zamanlarının Bulunmasına Ait Parçalı Doğrusal Karar Modeli

Bu model firmadan en geç başlama zamanları ile ilgili bilgi edinilemediği için, ZPÇP'ne ait modelin boyutlarını küçültmek için tasarlanmış bir modeldir. En geç başlama zamanları bilinmediği için, tüm işlerin en geç başlama zamanına ZPÇP'nin modeli üzerinde işlerin kaç günde yapılabileceğine ait bir üst sınır verilebilir. İlk çözüm yöntemi olarak model üzerinde bu denenmiştir. Örneğin 200 adet işi olan bir projenin yapılabilir üst sınırı 120 gün ise her işin en geç başlama zamanı 120 gün olacak demektir. Gerçekte en geç başlama zamanı 10 olan iki modlu bir iş için, toplam 220 (110*2) adet fazladan karar değişkeni daha bu işin olduğu kısıtlara eklenecek demektir ve bu yalnızca bir projenin bir işinin bir indisi içindir. Her bir iş için bu şekilde düşünüldüğünde 100.000'lerce karar değişkenin modeli gereksiz yere büyütebileceği açıktır. Bu nedenle ZPÇP'nin boyutlarının küçülmesine yardımcı olacak, en geç başlama zamanlarını hesaplayan bir model geliştirilmeye çalışılmıştır. Model açıklamaları ile beraber EK AÇIKLAMALAR bölümünde verilmiştir.

En geç başlama zamanlarının bulunması için geliştirilen model kendi içerisinde kompleks bir modeldir ve bu nedenle sezgisel olarak çalışan parçalama (decomposition) yönteminden yararlanılarak model geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu yöntem şu teorem ile açıklanmaktadır: Eğer çalışılan projelerdeki tüm işlerin yapılabilmesi için bir uygun çözüm alanı varsa, bu işlerin parça parça dönemlerde yapılabilmesi için de uygun çözüm alanları vardır [16]. Bir başka deyiş ile tek seferde tüm işlerin en geç başlama zamanlarının atanması yerine parçalı dönemler halinde bu değerler atanabilir. Model kompleks bir model olduğu için tek seferde çalıştırılarak tüm en geç başlama zamanlarının hesaplanması mümkün olmayabilir. Model parçalı olarak geliştirildiği için bu modele En Geç Başlama Zamanları'nın Bulunmasına Ait Parçalı Model (EGBZBAPM) denilmiştir.

Her bir iş için en erken başlama zamanları göz önünde bulundurularak parçalı bir modelde en geç başlama zamanları modelin parçalandığı güne göre hesaplanabilir. Model şu şekilde çalışmalıdır: Örneğin en erken başlama zamanı

20. günden daha küçük olan, ilk 20 gün içerisinde başlayabilir işlerin en geç başlama zamanlarının bulunması için 20. günden itibaren model parçalanabilir. Tabi burada kaynak kapasitesinin de göz önünde bulundurulması gerekir. En geç başlama zamanı olarak modele 20,40,60..... şeklinde veri atanarak model parça parça çalıştırıldığında en erken başlama zamanları ve kaynak kapasitesi dikkate alınarak en geç başlama zamanı atanabilir işlere veri atanacaktır. Burada 20 değeri yalnızca örnek olarak verilmiştir. Bu model istenilen uygun bir değere göre parçalanabilir. En geç başlama zamanlarının hesaplanması nedeni ile burada amaç fonksiyonu maksimum toplam süre şeklinde tanımlanmalıdır ve bu değer enbüyüklenmelidir.

4.3 En Geç Başlama Zamanlarının Bulunmasının Algoritması

Model parçalı bir model olduğu için örneğin $MAX_{gün}$: yirmişer olarak parçalanacak olursa ($MAX_{gün}=20,40,60....$ değerlerini alacak ve yirmişerli artışlar ile çözüme gidilecektir. $MAX_{gün}$ değeri algoritmada ilk olarak 20 ile başlayacaktır. Artış miktarı değerine is A dersek bu örnek yirmişerli parçalandığı için A değeri 20'dir.):

Adım 1: En erken başlama zamanları $MAX_{gün}$ gün ve aşağısında olan işleri bul ve en geç başlama zamanı değeri atanabilir tüm işlere en geç başlama zamanı değerlerini ata.

Adım 2: En geç başlama zamanları bulunan karar değişkenlerine modeli diğer $MAX_{gün}+A$ gün için çalıştırmadan önce 1 değerini ata. Bu işler bir daha yapılmayacaktır ve tamamlanmıştır.

Adım 3: Eğer 1 atanan işlerin toplamı bölünebilir ve bölünemez işlerin toplamına eşitse DUR. Tüm işlere en geç başlama zamanları atanmış demektir. Eşit değilse $MAX_{gün}$ değerini A kadar arttır ve Adım 1' e dön.

Bu algoritmada 20 değeri örnek olarak verilmiştir ve ilk $MAX_{gün}$ değerini temsil etmektedir. $MAX_{gün}$ yerine hangi değer ile modeli parçalamak istiyorsak o değer verilebilir. A değeri de bu değere göre değişecektir.

4.4 Zengin Proje Çizelgeleme Probleminin Parçalı Bir Doğrusal Karar Modeli Olarak Geliştirilmesi

En erken ve en geç başlama zamanlarının elde edilmesi ile ZPÇP'nin boyutları oldukça küçültülmüştür. Ancak büyük proje boyutlu problemler ile karşı karşıya kalındığı zaman hala bu model ile çözüme ulaşabilmek yetersiz kalabilir. En erken ve en geç başlama zamanları ZPÇP'nin modeline atandıktan sonra çeşitli çözümler denenmiştir. Modelin küçük boyutlu problemler için (örneğin toplam 200-300 işi olan 2 projeli işler, 400-500 işi olan 5 projeli işler) optimum çözümlere kısa sürelerde ulaşabildiği gözlemlenmiştir; ancak büyük boyutlu problemler için optimum sonuca kısa sürede ulaşamama durumu ortaya çıkabilir. EGBZBAPM'in geliştirilmesinde olduğu gibi burada da büyük boyutlu problemlerin çözümleri için sezgisel olarak çalışan parçalı model yöntemi (decomposition) uygulanmıştır. Bu yöntem ile ilgili Bölüm 4.2'de açıklanan teorem burada da geçerlidir. Bu teoreme göre örneğin toplam 2 projeli ve 180 işli bir örnek 100 günde çözülebiliyorsa, bu işleri içerisinde ilk 20 gün içerisinde yapılabilecek tüm işlere ait de bir uygun çözüm alanı vardır. Buradan hareketle tüm işler yapıncaya kadar dönemler 20 şerli olarak artırılarak uygun bir çözüm elde edilebilir.

ZPÇP'ne ait Bölüm 3.3'te açıklanan karar modelinin bazı kısıtlarına güçlendirici yapılar eklenerek bu model geliştirilmiştir. Bu yapılar sayesinde model belli dönemler arasında optimize edilebilmektedir. Tüm işlerin bitimine kadar dönem dönem çözümler sağlandığında uygun bir çözüm elde edilebilmektedir. Modele eklenen parametreler ve değişiklik yapılan kısıtlar aşağıda açıklanmıştır.

Zengin Proje Çizelgeleme Problemine Ait Modele Eklenen Parametrelerin Tanımları

$MAX_{gün}$: Modelin kesikli olarak çalıştırılacağı zaman.

$sure_{ij1}$: $i \in P, j \in B_i^+ \cup B_i^-$ i . projede, j işinin 1. modda yapılması için gereken süre miktarı.

Zengin Proje Çizelgeleme Problemi'nin Karar Modelinde Değişen Kısıtlar

Öncelikle ZPÇP'ne ait karar modelindeki orijinal kısıt gösterilmiştir. Ardından orijinal kısıtın değiştirilmiş hali yazılmış, değiştirilen kısım farklı formatta vurgulanmıştır. ZPÇP'nin çözümüne ait geliştirilen modeldeki diğer kısımlar, burada da geçerlidir.

$$\sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (t + sure_{iun}) \cdot X_{iunt} \leq l \cdot Y_{ijml} \quad (3.1)$$

$$\sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (t + sure_{iun}) \cdot X_{iunt} \leq l \cdot Y_{ijml} + (\mathbf{LS}_{iu} + \mathbf{sure}_{iu1}) \cdot (\mathbf{1} - \mathbf{Y}_{ijml}) \quad (4.1)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+, \forall u \in B_i^- \cap \ddot{O}_{ij}, \forall m \in M_{ij}, \forall l \in T_{ij}$$

$$(l+1) \cdot Y_{ijml} \leq \sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (t \cdot X_{iunt}) \quad (3.2)$$

$$(l+1) \cdot Y_{ijml} \leq \sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (t \cdot X_{iunt}) + (\mathbf{1} - \sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (\mathbf{X}_{iunt})) \cdot (\mathbf{LS}_{ij} + \mathbf{1}) \quad (4.2)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+, \forall u \in B_i^- \cap A_{ij}, \forall m \in M_{ij}, \forall l \in T_{ij}$$

$$(t+1) \cdot Y_{iunt} \leq l \cdot Y_{ijml} \quad (3.3)$$

$$(t+1) \cdot Y_{iunt} \leq l \cdot Y_{ijml} + (\mathbf{LS}_{iu} + \mathbf{1}) \cdot (\mathbf{1} - \mathbf{Y}_{ijml}) \quad (4.3)$$

$$\forall i \in P, \forall u \in B_i^+ \cap \ddot{O}_{ij}, \forall j \in B_i^+, \forall n \in M_{iu}, \forall m \in M_{ij}, \forall l \in T_{ij}, \forall t \in T_{iu}$$

$$\sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (t + sure_{iun}) \cdot X_{iunt} \leq \sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} (l \cdot X_{ijml}) \quad (3.4)$$

$$\sum_{n=1}^{n_{iu}} \sum_{t=ES_{iu}}^{LS_{iu}} (t + sure_{iun}) \cdot X_{iunt} \leq \sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} (l \cdot X_{ijml}) + (\mathbf{1} - \sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} (\mathbf{X}_{ijml})) \cdot (\mathbf{LS}_{iu} + \mathbf{sure}_{iu1}) \quad (4.4)$$

$$\forall i \in P, \forall u \in B_i^- \cap \bar{O}_{ij}, \forall j \in B_i^-$$

Buradaki ilk dört kısıt grubunun amacı orijinal model ile aynıdır. Eklemelerin yapılmasının sebebi şu şekilde açıklanabilir. Örneğin modelin yirmişer günlük parçalandığı düşünülürse ilk 20 gün için model çalıştırıldığında en geç başlama zamanı 20 den küçük olan tüm işler yapılacak demektir. 4. kısıt üzerinden bir örnek verilirse, bölünemez öncül bir iş 17. gün başlarsa ve 20. gün biterse bu işten sonra gelen ardıl iş 21. günde başlamak zorunda kalacaktır ve ardıl işin karar değişkeninin değeri model 20 günlük çalışacağı için 0 değerini alacaktır. Bu değişkenin değerinin sıfır alması durumunda orijinal modele göre ondan önceki tüm işler sıfır değerini alır. Kısıta getirilen eklemeler öncül işlerin karar değişkeni değerlerinin sıfır değerini almasını engellemektedir. Bu sayede model parçalı olarak çözülebilmektedir.

$$\sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} \frac{1}{sure_{ijm}} \cdot Y_{ijml} \geq 1 \quad (3.5)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+$$

$$\sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{t=ES_{ij}}^{LS_{ij}} \frac{1}{sure_{ijm}} \cdot Y_{ijml} \geq 1 \quad (4.5)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+ \text{ (eğer } LS_{ij} \leq MAX_{gün} \text{ ise)}$$

$$\sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{l=ES_{ij}}^{LS_{ij}} X_{ijml} = 1 \quad (3.6)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^-$$

$$\sum_{m=1}^{m_{ij}} \sum_{t=ES_{ij}}^{LS_{ij}} X_{ijml} = 1 \quad (4.6)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^- \text{ (eğer } LS_{ij} \leq MAX_{gün} \text{ ise)}$$

Model parçalı bir model olduğu için model belirli zaman aralıklarında çalıştırılmaktadır. 5. ve 6. kısıt grubunda yapılan değişiklikler bu durum ile ilgilidir. Modelde, en geç başlama zamanları yalnızca parçalı olarak çalışma süresinin altında olan tüm işlerin yapılmasının sağlanması için bu değişiklikler modele eklenmiştir.

5. VERİ ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMELER

5.1 Çözüm Formatı İle İlgili Genel Bilgi

Bu bölümde, yapılan çalışmaya ait denemeler ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile ilgili bilgi verilmektedir. EGBZBAPM ve ZPÇPÇAPM performans açısından değerlendirilecektir. Bölüm 4.2 ve Bölüm 4.4'te bu modellere ait detaylı bilgiler açıklanmıştır. Bu karar modelleri Microsoft Visual Studio Programı'nda C++ kodu ile kodlanmış ve bu program çalıştırılarak çözümler elde edilmiştir. Her iki model için de ayrı kodlama yapılmıştır.

Denemeler için toplam 10 adet proje bulunmaktadır. Bu 10 adet projenin 5 tanesi gerçek hayattaki projelerdir. Çalışmanın yapıldığı firmanın geçmişteki arşivlerinden bakılarak bu projeler elde edilmiştir. Firma daha önce bu projeleri müşterilerine teslim etmiştir. Kalan diğer 5 proje bunların içerisindeki makinaların kombinasyonlarından oluşturulmuştur. Bu projelere ait toplam iş sayısı ve makina sayısı Çizelge 5.1'de verilmiştir. 10 adet projeden 2 projeli 5 tane, 5 projeli 3 tane ve 8 projeli 2 tane örnek oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1 Projelere Ait Toplam Makina ve İş Sayısı

Projeler	Toplam İş Sayısı	Toplam Makina Sayısı
Proje 1	143	8
Proje 2	125	7
Proje 3	140	8
Proje 4	87	5
Proje 5	137	8
Proje 6	108	6
Proje 7	90	5
Proje 8	71	4
Proje 9	71	4
Proje 10	86	5

İkişerli Projeler:

- Proje 1,3; toplam iş sayısı: 283, 16 makina
- Proje 2,5; toplam iş sayısı: 262, 15 makina
- Proje 4,6; toplam iş sayısı: 195, 11 makina
- Proje 7,10; toplam iş sayısı: 176, 10 makina
- Proje 8,9; toplam iş sayısı: 142, 8 makina

Buradaki ikili projeler içerisinde en fazla iş sayısını bulunduran iki projeden en düşük iş sayısını bulunduran 2 projeye kadar ardışık bir şekilde seçilmiştir.

Beşerli Projeler:

- Proje 1,2,3,4,5; toplam iş sayısı: 632, 36 makina
- Proje 3,4,5,6,8; toplam iş sayısı: 543, 32 makina
- Proje 4,6,8,9,10; toplam iş sayısı: 423, 24 makina

Sekizerli Projeler:

- Proje 1,2,3,4,6,8,9,10; toplam iş sayısı: 831, 47 makina
- Proje 1,2,3,5,6,7,8,9; toplam iş sayısı: 885, 50 makina

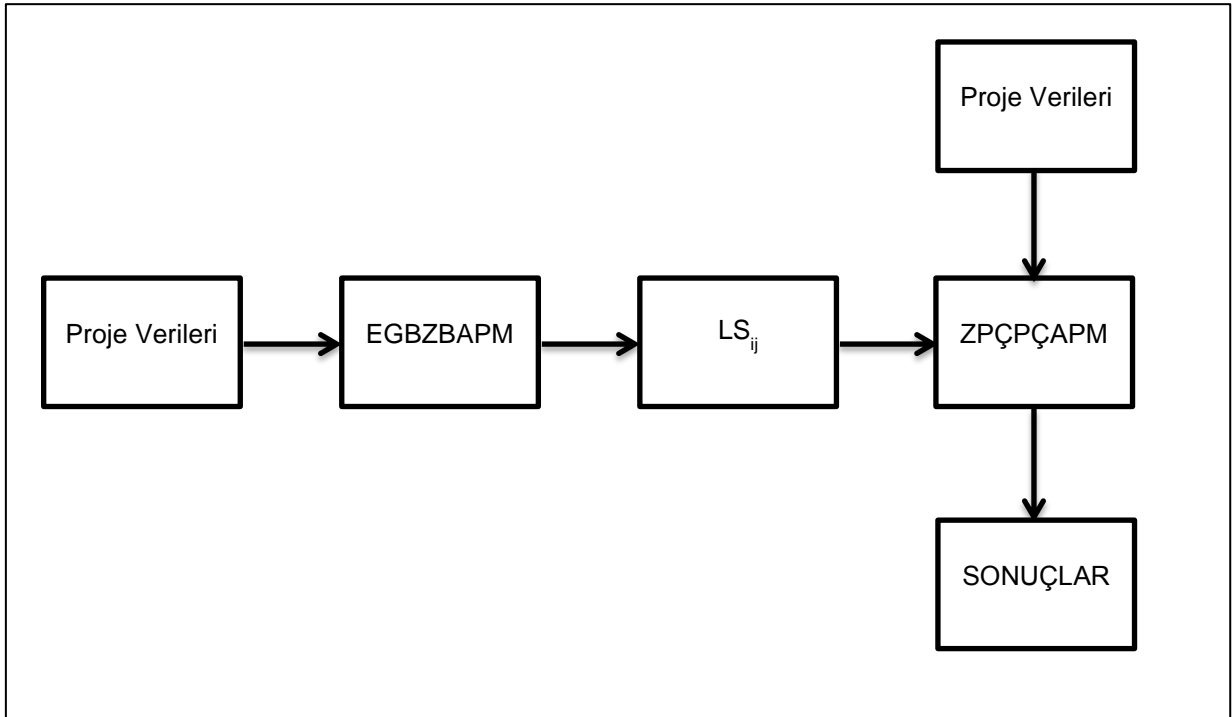
İkişerli olan projelerde ortalama 212 adet iş, beşerli olan projelerde ortalama 532 adet iş, sekizerli olan projelerde ise ortalama 858 adet iş vardır.

Çözümler belirli bir sıraya göre yaptırılacaktır. İkişer projeli olarak hazırlanan 5 proje kümesi üzerinden bu format açıklanacaktır. İkişerli, beşerli ve sekizerli olarak hazırlanmış olan tüm projeler bu çözüm formatı üzerinden çözdürülecektir.

Problem tanımlanırken Bölüm 3.2'de daha önce bu konuda firmanın herhangi bir çalışması olmadığı detaylı olarak belirtilmişti. En geç başlama zamanlarına ait hiçbir bilgi olmadığı için öncelikle zengin proje çizelgeleme probleminin çözümü için gerekli olan en geç başlama zamanı parametreleri yani Bölüm 3.3'teki model parametreleri içerisinde yer alan LS_{ij} , değerleri bu problemi çözebilmek için gereklidir. Çözüm yöntemi olarak Bölüm 4.2'de bahsedildiği üzere öncelikle

yapılacak olan tüm işlerin en geç başlama zamanlarına, projelerin bitebileceği mümkün olan en geç süre değeri atanmıştır. Buradan 5 proje kümesi için 5 adet çözüm sonucu elde edilmiştir.

Ardından Bölüm 4.2'de açıklanan diğer çözüm yöntemine geçilmiştir. ZPÇPÇAPM'in çözümlerinin alınabilmesi için öncelikle EGBZBAPM'in çözüm sonuçları araştırılmıştır. Bu modelden elde edilen çözüm sonuçları (LS_{ij} verileri) ZPÇPÇAPM'e en geç başlama zamanı parametreleri olarak girilmiştir. Daha sonra Bölüm 4.4'te ZPÇPÇAPM çözdürülmüş ve amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri açısından, yani çözüm performansı açısından değerlendirme yapılmıştır. Bu sürecin veri akışı Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 Çözüme Ait Verilerin Akışı

En geç başlama zamanlarına ait model yirmişişerli parçalı, ellışışerli parçalı ve tüm model tek seferde çözdürülecek şekilde çalıştırılmıştır. Bu modelin çalıştırılmasıyla ilgili bilgi Bölüm 4.2'de ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Buradan her bir proje için en geç başlama zamanlarına ait 3 farklı veri seti elde edilmiştir. Modelin önce yirmişişerli sonra ellışışerli ve ardından tek seferde çözümlü şeklinde farklı parçalar ile

çözdürülmesi EGBZBAPM'in, ZPÇPÇAPM üzerindeki performansını test etmek açısından önemlidir. Bu çözümler elde edildikten sonra her bir en geç başlama zamanı değeri parçalı zengin proje çizelgeleme probleminin karar modeline veri olarak girilerek bu modele ait çözüm sonuçları elde edilmiştir. Buradaki 3 farklı en geç başlama zamanına ait veri setinin ZPÇPÇAPM'inin çözümü üzerinde farklı bir performans göstereceği açıktır. ZPÇPÇAPM de her bir en geç başlama zamanı veri olarak modele atandığında yirmişerli ve ellışerli olarak parçalanarak çözdürülmüş son olarak da tüm model tek seferde çözdürülmüştür. ZPÇPÇAPM'e ait çözümlerin bu şekilde parçalı olarak çözdürülmesinin ayrıntılı açıklaması Bölüm 4.4'te verilmiştir.

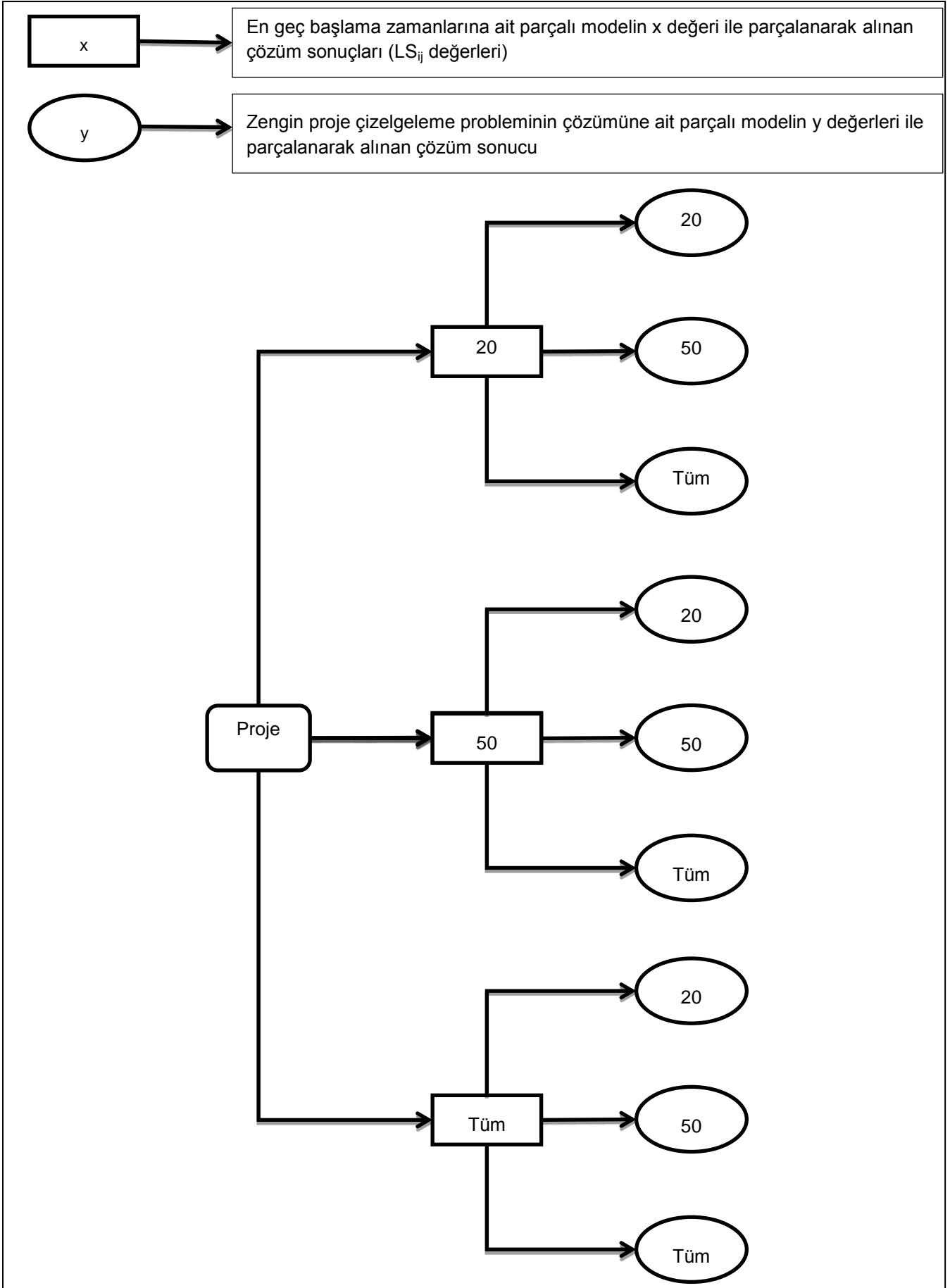
Bu bölümde açıklanan test süreci, Çizelge 5.2'deki gibi özetlenmiştir. Bu tablo örnek olması açısından yalnızca 1 proje kümesi için oluşturulmuştur. Kalan diğer projeler için de aynı tablolar elde edilecektir. Para birimi olarak belirtilen kısımlar, ZPÇPÇAPM'in çözüm sonuçlarından gelen maliyet değerleridir. Çözüm süreleri ise sonuçlarda saat, dakika veya saniye cinsinden ifade edilmiştir.

Çizelge 5.2 Çözüm Sonuçlarına Ait Tablo Formatı

Projeler	EGBZBAPM'in çözümü	ZPÇPÇAPM'in Çözümü	EGBZBAPM'in Çözüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in Çözüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu
Proje 1,3	Yirmişerli	Yirmişerli	Saat/dakika/saniye	Saat/dakika/saniye	Para Birimi
Proje 1,3		Ellışerli		Saat/dakika/saniye	Para Birimi
Proje 1,3		Tüm model		Saat/dakika/saniye	Para Birimi
Proje 1,3	Ellışerli	Yirmişerli	Saat/dakika/saniye	Saat/dakika/saniye	Para Birimi
Proje 1,3		Ellışerli		Saat/dakika/saniye	Para Birimi
Proje 1,3		Tüm model		Saat/dakika/saniye	Para Birimi
Proje 1,3	Tek seferde çözüm	Yirmişerli	Saat/dakika/saniye	Saat/dakika/saniye	Para Birimi
Proje 1,3		Ellışerli		Saat/dakika/saniye	Para Birimi
Proje 1,3		Tüm model		Saat/dakika/saniye	Para Birimi

Parçalanmış modellere ait çözüm süreci aşamasında Şekil 5.2'deki gibi bir şema ortaya çıkacaktır.

Çözümler alınırken her bir çözüm için, kısa zamanda çözümlerin elde edilememesi durumuna karşı 5 saatlik bir sınır değeri konulmuştur. Bu 5 saat içerisinde eğer cplex optimum çözümü elde edemez ise, o ana kadar bulunduğu en iyi çözümü vermektedir.



Şekil 5.2 Parçalanmış Modellere Ait Çözüm Süreci

5.2 İkişerli Proje Kümelerine Ait Denemelerin Sonuçları

5.2.1 En geç başlama zamanlarına üst sınır verilmesi durumunda zengin proje çizelgeleme probleminin çözüm sonuçları

Öncelikli olarak ikişerli projelerin tamamlanabileceği mümkün olan toplam gün sayısı hesaplanmıştır. Bu 120 değeri model parçalı olarak çözdürüldüğünde, tüm projelerin 120 gün içerisinde çözülebildiği görüldükten sonra üst sınır değeri olarak atanmıştır. Öncelikli olarak bu projelere ait işlerin en geç başlama zamanlarına 120 atanarak zengin proje çizelgeleme problemine ait modelin çözüm sonuçları incelenmiştir.

Çözüm sonuçlarına bakıldığında hiçbir çözümde optimum çözüme ulaşılamamıştır. Bir proje hiç çözülememiş diğer çözümlerde ise GAP (üst sınır ile alt sınır arasındaki fark) 5 saatlik çözüm süresi içerisinde 4 proje için ortalama % 14,91'e düşmüştür. Çözüm sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 En Geç Başlama Zamanı Değerlerine Üst Sınır Değeri Verildiğinde İkişerli Proje Kümeleri İçin Elde Edilen Çözüm Sonuçları

Projeler	Amaç Fonksiyonu Değeri	ZPÇPÇAPM'in Çözüm Süreleri
Proje 1,3	-	-
Proje 2,5	1989,12	5 Saat
Proje 4,6	1595,15	5 Saat
Proje 7,10	1596,07	5 Saat
Proje 8,9	1140,15	5 Saat

5.2.2 En geç başlama zamanlarının bulunmasına ait parçalı modelden elde edilen veriler ile zengin proje çizelgeleme probleminin parçalı modeline ait çözüm sonuçları

EGBZBAPM Bölüm 5.1’de açıklandığı üzere önce yirmişer dönemlik parçalanıp çözdürülmüş, daha sonra ellişer dönemlik parçalanıp çözdürülmüş, son olarak ise tüm model tek seferde çözdürülmüştür. ellişer dönemlik parçalanma durumunda ilk 50 günlük çözümde optimum çözümler 5 proje için de elde edilememiş, GAP ortalama %14,68’e düşmüştür. Diğer dönemlerde (100,150...) optimum çözümlere ulaşılmıştır. Bunun sebebi ilk 50 gün içerisinde modelin en erken başlama zamanı 50 den küçük olan tüm işlere en geç başlama zamanlarını atamaya çalışmasıdır. İlk 50 güne en geç başlama zamanları atandıktan sonra, diğer günlere daha az iş kaldığı için model ilk 50 günden sonraki çözümde daha hızlı çözüm vermektedir. İlk 50 günden sonraki çözümler ortalama 8 saniyelik bir süre içerisinde 5 proje kümesi için de çözülmüştür. yirmişer olarak parçalı çözümün her parçasında ve tüm modelin tek seferde çözümünde optimum çözümler elde edilmiştir.

Bölüm 5.1’de açıklandığı üzere elde edilen her en geç başlama zamanı için ZPÇPÇAPM 3 farklı şekilde (yirmişerli, ellişerli ve tek seferde) özdürülmüştür. Elde edilen ZPÇPÇAPM’in çözüm sonuçlarının tamamı optimum çözümlerdir. Tüm proje kümeleri için çözüm sonuçlarına ulaşılmıştır. Her bir proje kümesinin çözümüne ait detaylı sonuçlar EK 29 – EK 33’te verilmiştir.

5.2.3 özüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Her farklı 5 proje kümesinin çözüm sonuçlarını tek bir yerde analiz edebilmek amacı ile ortalama olarak tek bir çizelgede toplanmıştır (Bkz: Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4 İkişerli Proje Kümelerine Ait Ortalama Çözüm Sonuçları

EGBZBAPM'in çözümü	EGBZBAPM'in Ortalama Çözüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in Çözümü	ZPÇPÇAPM'in Ortalama Çözüm Süreleri (Saniye)	Ortalama Amaç Fonksiyonu Değeri	Amaç Fonksiyonunun Ortalama Performansı (%)
Yirmişerli	25 dakika 46 saniye	Yirmişerli	3.4	1707.878	94.77
		Ellişerli	7	1698.788	95.28
		Tüm model	17	1692.498	95.64
Ellişerli	5 saat 13 saniye	Yirmişerli	4.6	1708.678	94.73
		Ellişerli	9.6	1697.998	95.33
		Tüm model	19.2	1693.288	95.59
Tüm Model	3 dakika 43 saniye	Yirmişerli	2.6	1630.428	99.28
		Ellişerli	5.2	1628.788	99.38
		Tüm model	9.6	1618.638	100.00

Çizelge 5.4'te görüldüğü üzere en iyi çözüm sonucu, iki model de tek seferde çözdürüldüğünde elde edilmiştir. Diğer çözüm sonuçlarına bakıldığında ise, elde edilen en kötü çözümün en iyi çözümden %5,27 saptığı görülmektedir. EGBZBAPM ve ZPÇPÇAPM parçalı olarak çözdürülse bile, ZPÇP çözüm performans açısından oldukça iyi çözümler vermiştir. Her EGBZBAPM'den gelen veri için ZPÇPÇAPM'in çözüm sürelerine ait sonuçlar değerlendirildiğinde ise en hızlı çözümler ZPÇPÇAPM tek seferde çözdürüldüğünde elde edilirken, en kötü çözümler ise bu model yirmişerli olarak parçalandığı durumda elde edilmiştir. Çözüm performansı açısından ise bu durum tam tersi bir durum gözlenmiştir. En iyi çözümler ZPÇPÇAPM tek seferde çözdürüldüğünde elde edilirken en kötü çözümler ise model yirmişerli olarak parçalandığında elde edilmiştir.

EGBZBAPM'in çözüm sonuçlarının ZPÇPÇAPM'e etkisine bakıldığında ise, EGBZBAPM'in tek seferde çözümünden elde edilen en geç başlama zamanlarının ZPÇPÇAPM'in çözümüne katkısının daha fazla olduğu görülmektedir. EGBZBAPM ne kadar parçalanırsa o kadar kötü en geç başlama zamanı değeri bulmaktadır ve ZPÇPÇAPM o kadar kötü çözüm vermektedir. Ancak burada EGBZBAPM'in çözümlerinin parçalı olarak veya tek seferde elde edilen çözümünün optimum çözümler olup olmadığı etkili bir durumdur.

5.3 Beşerli Proje Kümelerine Ait Denemelerin Sonuçları

5.3.1 En geç başlama zamanlarına üst sınır verilmesi durumunda zengin proje çizelgeleme probleminin çözüm sonuçları

Yapılan denemeler sonucunda 3 proje kümesindeki projelerin işlerinin 200 gün içerisinde yapılabileceği görülmüştür. Öncelikli olarak bu projelere ait işlerin en geç başlama zamanlarına 200 değeri atanarak ZPÇP'ne ait modelin çözüm sonuçları incelenmiştir.

Bu projelere ait model 2 projeli olarak üzerinde çalışılan modelden daha büyük boyutlu bir modeldir. En geç başlama zamanlarına 200 atanması modeli oldukça büyültmüştür ve 3 proje için de çözüm sonuçlarına sınırlanan zaman içerisinde ulaşılamamıştır.

5.3.2 En geç başlama zamanlarının bulunmasına ait parçalı modelden elde edilen veriler ile zengin proje çizelgeleme probleminin parçalı modeline ait çözüm sonuçları

2 projeli denemelerde olduğu gibi, burada da aynı format üzerinden çözümler denenmiştir EGBZBAPM önce yirmişer dönemlik parçalanıp çözdürülmüş, daha sonra ellişer dönemlik parçalanıp çözdürülmüş, son olarak ise tüm model tek seferde çözdürülmüştür. 1 projeye ait ellişer olarak parçalı çözümünden ve modelin tek seferde çözümünden sonuçlar elde edilememiştir. Ellişer dönemlik parçalama durumunda ilk 50 günlük çözümde ve sonraki 50 günlük (toplam 100 gün) çözümde optimum çözümler kalan 2 proje için de elde edilememiş, GAP ilk 50 gün için ortalama %23,375'e, sonraki 50 gün için ise ortalama 11,625'e düşmüştür. Diğer dönemlerde (150,200,250) optimum çözümlere ulaşılmıştır. EGBZBAPM'in yirmişer olarak parçalı çözümlerde ve tüm modelin çözümünde optimum çözüm elde edilmiştir.

Bu çözümlerin sonuçları ve bu çözümlere bağlı olarak elde edilen ZPÇPÇAPM'in çözüm sonuçları EK 34 – EK 36'da görülmektedir.

5.3.3 Çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Her farklı 5 proje kümesinin çözüm sonuçlarını tek bir yerde analiz edebilmek amacı ile ortalama olarak tek bir çizelgede toplanmıştır (Bkz: Çizelge 5.5)

Çizelge 5.5 Beşerli Proje Kümelerine Ait Ortalama Çözüm Sonuçları

EGBZBAPM'in çözümü	EGBZBAPM'in Ortalama Çözüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in Çözümü	ZPÇPÇAPM'in Ortalama Çözüm Süreleri (Saniye)	Ortalama Amaç Fonksiyonu Değeri	Amaç Fonksiyonunun Ortalama Performansı (%)
Yirmişişerli	10 dakika 21 saniye	Yirmişişerli	30.5	4987.34	89.49
		Ellişerli	196	4977.86	89.66
		Tüm model	208	4962.39	89.94
Ellişerli	10 saat 22 dakika	Yirmişişerli	40.5	5160.41	86.49
		Ellişerli	219	5114.46	87.27
		Tüm model	9055.5	4684.71	95.28
Tüm Model	4 saat	Yirmişişerli	20	4490.09	99.40
		Ellişerli	35	4471.86	99.81
		Tüm model	73	4463.36	100.00

1 projeye ait EGBZBAPM'inin ellişer olarak parçalı çözümünden ve modelin tek seferde çözümünden sonuçlar elde edilemediği için, ortalama olarak çözüm performansına etkinin değişmemesi açısından yirmişişerli çözümleri de ortalamadan çıkartılmıştır. Çizelge 5.5'te görüldüğü üzere en iyi çözüm sonucu, iki model de tek seferde çözdürüldüğünde elde edilmiştir. Diğer çözüm sonuçlarına bakıldığında ise, elde edilen en kötü çözümün en iyi çözümden %13,5 saptığı görülmektedir. Modelin boyutları büyüdüğünde, EGBZBAPM ve ZPÇPÇAPM parçalı olarak çözdürüldüğünde performans açısından sapmalar küçük boyutlu problemlere göre

artmaya başlamıştır. Her EGBZBAPM'den gelen veri için ZPÇPÇAPM'in çözüm sürelerine ait sonuçlar değerlendirildiğinde ise en hızlı çözümler ZPÇPÇAPM tek seferde çözdürüldüğünde elde edilirken, en kötü çözümler ise bu model yirmişişerli olarak parçalandığı durumda elde edilmiştir. Çözüm performansı açısından ise bu durum tam tersi bir durum gözlenmiştir. En iyi çözümler ZPÇPÇAPM tek seferde çözdürüldüğünde elde edilirken en kötü çözümler ise model yirmişişerli olarak parçalandığında elde edilmiştir.

EGBZBAPM'in çözüm sonuçlarının ZPÇPÇAPM'e etkisine bakıldığında ise, EGBZBAPM'in tek seferde çözümünden elde edilen en geç başlama zamanlarının ZPÇPÇAPM'in çözümüne katkısının daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak EGBZBAPM yirmişişerli ve ellişişerli olarak parçalı olarak çözdürüldüğünde bu çözümlerin ZPÇPÇAPM' etkisi yaklaşık aynıdır. Çözüm süresine bakıldığında ise EBZBAPM ellişişerli olarak parçalandığında oldukça uzun sürmüştür. Bunların sebebi EBZBAPM ellişişerli olarak parçalandığında ilk iki parçasında (50 ve 100) optimum sonuçların elde edilmemesidir. Bu durum ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 5.3.2'de verilmiştir. Bu nedenle proje boyutları büyüdükçe EGBZBAPM'i daha kısa süreler ile parçalayarak çözdürmek hem çözüm performansı açısından hem de zaman açısından daha anlamlı olacaktır.

5.4 Sekizerli Proje Kümelerine Ait Deneme Sonuçları

5.4.1 En geç başlama zamanlarına üst sınır verilmesi durumunda zengin proje çizelgeleme probleminin çözüm sonuçları

Yapılan denemeler sonucunda 8 projeli 2 proje kümesinin işlerinin 250 gün içerisinde yapılabileceği görülmüştür. Öncelikli olarak bu projelere ait işlerin en geç başlama zamanlarına 250 atanarak zengin proje çizelgeleme problemine ait modelin çözüm sonuçları incelenmiştir.

Bu projelere ait model 5 projeli olarak üzerinde çalışılan modelden daha büyük boyutlu bir modeldir. En geç başlama zamanlarına 250 atanması modeli daha da

büyütmüştür ve bu nedenle bu çözümlerin sonuçları verilen sınırlı süre içerisinde elde edilememiştir.

5.4.2 En geç başlama zamanlarının bulunmasına ait parçalı modelden elde edilen veriler ile zengin proje çizelgeleme probleminin parçalı modeline ait çözüm sonuçları

Beşerli ve ikişerli olan projelerdeki gibi burada da aynı format üzerinden gidilmiştir. Ancak EGBZBAPM yalnızca 1 proje kümesinin 20'lik olarak parçalandığı durumda çözüm vermiş diğer çözümlerin hiçbiri elde edilememiştir. Bu proje kümesi 831 işli olan 1,2,3,4,6,8 ve 10. projeleri kapsayan kümedir. yirmişerli olarak parçalı ZPÇPÇAPM'den cevap geldiği için, ZPÇPÇAPM'in çözümleri yalnızca bu veriler kullanılarak elde edilebilmiştir. EGBZBAPM çalıştırıldığında ikinci 20 gün için GAP 5 saatlik çalışma süresi içerisinde %1,60'a düşmüştür ve ikinci 20 gün için optimuma yakın bir çözüm elde edilmiştir. Diğer günler için olan çözümler optimum çözümleridir.

Bu çözümden elde edilen sonuçlar ZPÇPÇAPM'e veri olarak atanmış ve bu modelde yirmişerli parçalandığı durum, elişerli parçalandığı durum ve tek seferde çalıştırıldığı durum için 3 çözüm sonucu elde edilmiştir (Bkz: Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6 Sekiz Projeli Bir Proje Kümesinin Çözüm Sonuçları

Projeler	EGBZBAPM'in çözümü	ZPÇPÇAPM'in Çözümü	EGBZBAPM'in Çözüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in Çözüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu Değeri
Proje 1,2,3,4,6,8,9,10	Yirmişerli	Yirmişerli	5 saat 19 dakika	12 dakika 9 saniye	10845,3
Proje 1,2,3,4,6,8,9,10		Elišerli		13 dakika 22 saniye	10855,3
Proje 1,2,3,4,6,8,9,10		Tüm model		21 dakika	10818

Diğer çözümlerde de olduğu gibi yine burada da model tek seferde çalıştırıldığında en iyi amaç fonksiyonu değeri elde edilmiştir. 20'şeli çözümler en iyi değere %99,7 yaklaşmış, elişerli çözümler ise en iyi değere %99,65 yaklaşmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Birçok firmada proje çizelgeleme işlemleri operasyonel seviye kararlar ile yürütülmektedir. Bu nedenle maliyet, süre kaynak kullanımı gibi birçok faktör açısından olumsuz sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Problemin NP-zor bir problem olması literatüre kronolojik olarak bakıldığında bir süre sonra sezgisel yöntemlerle problem çözümlerinin araştırılması eğilimine gidilmiştir. Çözümü elde edilemeyen çoğu problem sezgisel yöntemler sayesinde iyi sonuçlar ile çözüme ulaşabilmiştir.

Bu çalışmada bir firmada zengin bir proje çizelgeleme problemi üzerinde yoğunlaşmıştır. Öncelikle zengin çizelgeleme problemi için özgün bir karar modeli geliştirilmiştir. Bu karar modelinin çözülebilmesi, boyutlarının küçültülmesi için de bu karar modeline alt sınır verisi (en erken başlama zamanı) elde edebilmek için kritik yol yönteminden (CPM) yararlanılmış, bir üst sınır verisi (en geç başlama zamanı) elde edebilmek için ise zengin proje çizelgeleme problemine veri sağlayan özgün farklı bir karar modeli geliştirilmiştir. Firmanın üzerinde çalıştığı gerçek projelere ait çizelgelerin çözümleri ve sonuçları elde edilmiş, daha büyük boyutlu projelerin olması durumunda bu tarz projelerin de çözülebilmesi için zengin proje çizelgeleme probleminin modeline güçlendirici kısıtlar eklenerek parçalı olarak çalışabilen bir doğrusal karar modeli ile çözüm yaklaşımı getirilmiştir. Bu modeller ile gerçek hayatta tam sayılı doğrusal karar modelleri kurularak çizelgelerin minimum maliyet ile yapılabileceği gösterilmiştir. Hem zengin proje çizelgeleme problemi için geliştirilen doğrusal karar modeli ve parçalı model hem de zengin proje çizelgeleme probleminin modeline en geç başlama zamanı olarak bir üst sınır verisi sağlayan diğer model daha önce literatürde olmayan özgün modellerdir. Bu modeller daha farklı firmalarda, proje çizelgeleme problemleri için de kullanılabilir.

Zengin proje çizelgeleme problemine ait parçalı modelin çözüm sonuçlarına bakıldığında, projelerdeki iş sayısı arttıkça çözüm süresinin de üstel olarak arttığı göze çarpmaktadır. Bunun için en iyi örnek En geç başlama zamanlarının bulunmasına ait parçalı model yirmişerli olarak çalıştırıldığında ve zengin proje çizelgeleme probleminin çözümüne ait parçalı model tek seferde çözdürüldüğünde

elde edilen çözüm sonuçlarıdır. İkili projelerde ortalama iş sayısı 211'dir. 2'li projeler için zengin proje çizelgeleme probleminin çözümüne ait parçalı model tek seferde çalıştırıldığında ortalama 17 saniyede çözüme ulaşılmıştır. Beşli projelerdeki ortalama iş sayısı ise 532 dir. Bu sayı ikili projelere ait ortalama iş sayısının iki katından daha fazladır. Bu durumda ise çözümler ortalama yaklaşık 4 dakikada tamamlanmıştır. Sekizerli projeler için çözüm sonuçlarına baktığımızda zengin proje çizelgeleme probleminin çözümüne ait parçalı model 21 dakika içerisinde çözüme ulaşmıştır. Sekizerli projelerdeki ortalama iş sayısı ise 831'dir. Bu sayı ise beşerli projelere ait iş sayısının yaklaşık 1,5 katıdır. (Bkz: Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 İş Sayısı - Çözüm Süresi İlişkisi



Geliştirilen parçalı modelin performansı açısından sonuçlar incelendiğinde iyi sonuçlar verildiği görülmüştür. Zengin proje çizelgeleme problemine ait parçalı olarak elde edilen çözümlerin performansı, modelin tek seferde çalıştırılması ile elde edilen çözüm performanslarına oldukça yakındır. Bölüm 5'teki çözüm sonuçlarına ait ortalama tablo verilerinde bu durum görülmektedir. Ayrıca çözümlerde 831 işli projelere kadar sonuçlar elde edilmiştir ve çok kısa sürelerde, zengin proje çizelgeleme probleminin çözüm sonuçlarına ulaşabildiği gözlenmiştir. Daha büyük boyutlu projeler için parçalı modeller ile kısa sürelerde optimuma yakın sonuçlar elde edilebilir.

Bu çalışmada projelere ait işlerin çözüm zamanları gerçek hayat problemi olması nedeni ile kesiklidir. Çalışmanın devamında sürelerin stokastik olarak olduğu durumlar önemsenebilir. Ayrıca en kısa zamanda tüm projelerin bitirilmesi veya en az kaynak kullanımını ile çizelgelerin yapılması gibi farklı amaçlar üzerinde durulabilir.

7. KAYNAKÇA

- [1] Atalay M., Kanitatif Karar Verme Teknikleri, KLÜ İİBF İşletme
- [2] Atasever, C. T., Proje Çizelgelemede Kısıtlı Kaynakları ve Devresel Değişkenlikleri Dikkate Alan Bir Algoritma Önerisi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 2009.
- [3] Ayan, T. Y., Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Programlama Problemi İçin Tavlama Benzetimi Algoritması, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23 (2), 101-118, 2009.
- [4] Blazewicz, J., Lenstra, J. K., & Rinnoy Kan, A. H., Scheduling Subject to Resource Constraints: Classification and Complexity. Discrete Applied Mathematics, 5, 11-22,1983.
- [5] Demeulemeester, E., Reyck, B. D., Foubert, B., Herroelen, W., & Vanhoucke , M, New Computational Results on the Descrete Time/Cost Trade-Off Problem in Project Networks, The Jornual of the Operational Research Society, 49 (11), 1153-1163, 1998.
- [6] Ece, E., & Kovancı, A., Proje Yönetimi ve İnsan Kaynakları İlişkisi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 1 (4), 75-85, 2004.
- [7] Erengüç, S. S., Ahn, T., & Conway, D. G., The Resource Constrained Project Scheduling Problem with Multiple Crashable Modes: An Exact Solution Method. Naval Research Logistics, 48, 107-127, 2001.
- [8] Franck, B., Neumann, K., & Schwindt, C.,. Truncated Branch-and-Bound, Schedule-Construction and Schedule-limprovement Procedures for Resource-Constrained Project Scheduling, OR Spektrum, 23, 297-324, 2001.
- [9] Gökşen, Y., Geleneksel Üretimden Esnek Üretime: Karşılaştırmalı Bir İnceleme, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5 (4), 32 - 48, 2003.
- [10] Heilmann, R., A branch-and-bound procedure for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem with minimum and maximum time lags, European Journal of Operational Research, 144, 348-365, 2003.
- [11] Kerzner, H. R., Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling, Canada, 2009.
- [12] Khang, D. B., & Myint, Y. M., Time, Cost and Quality Trade-Off in Project Management: A Case Study, International Journal of Project Management 17 (4), 249–256, 1999.
- [13] Kim, J. Y., Kang, C. W., & Hwang, I., practical approach to project scheduling: considering the potential quality loss cost in the time–cost

tradeoff problem, *International Journal of Project Management*, 30, 264-272, 2012.

- [14] Kyriakidis, T. S., Kopanos, G. M., & Georgidas, M. C., MILP Formulations For Single- and Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problems, *Computers and Chemical Engineering*, 36, 369–385, 2012.
- [15] Liu, S., Wang, M., & Tang, L., Genetic Algorithm for the Discrete Time/Cost Tradeoff Problem in Project Network, *J. Northeastern University of China*; 21 (3): 257-9, 2000.
- [16] Neumann, K., & Zhan, J., Heuristics For the Minimum Project-Duration Problem With Minimal and Maximal Time-Lags Under Fixed Resource Constraints, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 6, 145–154, 1995.
- [17] Nudtasomboon , N., & Randhawa, S. U., Resource constrained project scheduling with renewable and non-renewable resources and time-resource tradeoffs, *Computers ind. Engng*, 32 (1), 227-242, 1997.
- [18] Özdemir, G., Kısıtlı Kaynaklarla Proje Çizelgelemesinde Kullanılan Genetik Algoritma Metodları ve Bunların Karşılaştırılması, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Ankara, 2006.
- [19] Reyck, B. D., & Herroelen, W., The multi-mode resource-constrained project scheduling problem with generalized precedence relations, *European Journal of Operational Research*, 119, 538-556, 1999.
- [20] Sarıca, İ., CPM ve PERT Teknikleriyle Planlama ve Bir İşletmede Uygulanması, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı Yöneyim Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Bursa, 2006.
- [21] Schirmer, A., & Drexl, A., Allocation of partially renewable resources ± concept, models and application, *Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel*, 1997.
- [22] Sen, S., & Sherali, H. D., Decomposition with Branch-and-Cut Approaches for Two Stage Stochastic Mixed-Integer Programming. *Math. Program., Ser. A*, 106, 203-223, 2006.
- [23] Slowinski, R., Two approaches to problems of resource allocation among project activities—A comparative study, *The Journal of the Operational Research Society*, 31 (8), 711–723, 1980.
- [24] Sprecher, A., *Resource-Constrained Project Scheduling: Exact Methods for the Multi-Mode Case*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer, Berlin, 409, 1994.
- [25] Sprecher, A., & Drexl, A., Multi-mode resource-constrained project scheduling by a simple, general and powerful sequencing algorithm, *European Journal of Operational Research*, 107, 431-450, 1998.

- [26] Talbot, F. B., Resource Constrained Project Scheduling with Time-Resource Tradeoffs, The Nonpreemptive Case, *Management Science*, 28 (10), 1197-1210, 1982.
- [27] Ulusoy, G., Proje Planlamada Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, 2002.
- [28] Wuliang, P., & Chengen, W., A multi-mode resource-constrained discrete time–cost tradeoff, *International Journal of Project Management*, 27, 600–609, 2009.
- [29] Zapata, J. C., Hodge, B. M., & Reklaitis, G. V., The Multimode Resource Constrained Multiproject Scheduling Problem: Alternative Formulations. Wiley InterScience, 2101-2119, 2008.

8. EK AÇIKLAMALAR

8.1 En Geç Başlama Zamanlarının Bulunmasına Ait Karar Modeli

İndekslerin Tanımları:

i : Proje indeksi

j : İş indeksi

l : Zaman periyodu indeksi

Kümelerin Tanımları:

P : Projeler kümesi

B_i^+ : i projesindeki bölünebilir işler kümesi

B_i^- : i projesindeki bölünemez işler kümesi

\ddot{O}_{ij} : i projesindeki j işinin öncül işleri kümesi

A_{ij} : i projesindeki j işinin ardıl işleri kümesi

T_{ij} : i projesindeki j işinin yapılabildiği dönemler kümesi

R : Kaynaklar kümesi

Parametrelerin Tanımları:

MAX : Toplam proje sayısı

MAX_{ij} : i projesindeki toplam j iş sayısı

$MAX_{gün}$: Modelin kesikli olarak çalıştırılacağı sürenin bir dönem fazlası

$sure_{ij1}$: $i \in P, j \in B_i^+ \cup B_i^-$, i projede, j işinin 1. modda yapılabilmesi için gereken süre miktarı

kay_{ij1k} : $i \in P, j \in B_i^-, k \in R$, i projede, j işinin 1. modda yapılabilmesi için gerekli k kaynak miktarı

K_k : Elimizdeki $k \in R$ için kullanılabilir K kaynak miktarı

ES_{ij} : i projesinde j işinin yapılabilmesi için en erken başlama zamanı

Karar Değişkenlerinin Tanımları:

X_{ij1l} : Bölünemez iş i projesinin j işinin 1. modunun l . döneminde başlamış ise 1, değilse 0

Y_{ij1l} : Bölünebilir iş i projesinin j işinin 1 modunun l . döneminde aktif ise 1, değilse 0

Karar Modelinin Açıklanması:

Bu karar modeli geliştirilirken mod indeksi sabit tutulup işin en uzun sürede yapıldığı mod (1. mod) dikkate alınmıştır. Bunun sebebi en geç başlama zamanları hesaplanırken eğer işler kısa sürede yapılan mod (2. mod) üzerinden hesaplanırsa ve gerçekte iş uzun süren mod (1. mod) üzerinden yapılırsa en geç başlama zamanından bitiş zamanına kadar olan dönemde iş tamamlanamayacaktır. Çünkü işin en geç bitiş zamanı kısa sürede yapılan mod üzerinden hesaplanmış olacaktır.

Kaynak kullanımına bakacak olursak, 2. modda daha fazla kaynak kullanılmaktadır Zengin proje çizelgeleme problemine ait modelde kaynak kapasitesinin yetmesi durumunda 2. mod kullanılacaktır. Kaynak kapasitesi yetmediği durumda 2. modda çözüm üretmeyecektir çünkü bu çözüm 1. modda alınan çözüme göre hem daha maliyetli olacak hem de kaynak kapasitesi yetmeyeceği için işler ötelenemeyecektir Model otomatik olarak kaynak kapasitesi yetmediği için işleri ileriki günlerde yapmaya zorlayacaktır.

Bu sebepler değerlendirilerek model içerisinde yalnızca işlerin yapılma süresi uzun süreli olan modlar (1. mod) kullanılmıştır ve tüm karar değişkenleri tek modlu olarak alınmıştır.

$$\sum_{t=ES_{iu1}}^{MAX_{gün}-sure_{u1}} (t + sure_{iu1}) \cdot X_{iult} \leq l \cdot Y_{ij1l} + MAX_{gün} \cdot (1 - Y_{ij1l}) \quad (1)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+, \forall u \in B_i^- \cap \bar{O}_{ij}, \forall l \in T_{ij}, ES_{iu}, < MAX_{gün}, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

$$(l+1) \cdot Y_{ij1l} \leq \sum_{t=ES_{iu1}}^{MAX_{gün}-sure_{u1}} (t \cdot X_{iult}) + MAX_{gün} \cdot (1 - \sum_{t=ES_{iu1}}^{MAX_{gün}-sure_{u1}} (X_{iult})) \quad (2)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+, \forall u \in B_i^- \cap A_{ij}, \forall l \in T_{ij}, ES_{iu} < MAX_{gün}, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

$$(t+1) \cdot Y_{iu1t} \leq l \cdot Y_{ij1l} + MAX_{gün} \cdot (1 - Y_{ij1l}) \quad (3)$$

$$\forall i \in P, \forall u \in B_i^+ \cap \bar{O}_{ij}, \forall j \in B_i^+, \forall l \in T_{ij}, \forall t \in T_{iu}, ES_{iu} < MAX_{gün}, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

$$\sum_{t=ES_{iu}}^{MAX_{gün}-sure_{iu1}} (t + sure_{iu1}) \cdot X_{iu1t} \leq \sum_{l=ES_{ij}}^{MAX_{gün}-sure_{ij1}} (l \cdot X_{ij1l}) + MAX_{gün} \cdot (1 - \sum_{l=ES_{ij}}^{MAX_{gün}-sure_{ij1}} X_{ij1l}) \quad (4)$$

$$\forall i \in P, \forall u \in B_i^- \cap \bar{O}_{ij}, \forall j \in B_i^-, ES_{iu} < MAX_{gün}, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

İlk dört kısıt grubu işlerin öncüllük ilişkilerini göz önünde bulundurarak yapılmasını zorlayan kısıt gruplarıdır. (1) “Tüm bölünebilir ve bölünemez öncül – ardıl işler için, bölünemez u işi bölünebilir j işinin öncülüdür kısıtı.” (2) “Tüm bölünebilir ve bölünemez öncül – ardıl işler için bölünebilir j işi bölünemez u işinin öncülüdür kısıtı.” (3) “Tüm bölünebilir öncül – ardıl işler için bölünebilir u işi bölünebilir j işinin öncülüdür kısıtı.” (4) “Tüm bölünemez öncül – ardıl işler için bölünemez u işi bölünemez j işinin öncülüdür kısıtı” şeklinde açıklanabilir.

$$\sum_{i=1}^{MAX_i} \sum_{j=1}^{MAX_j} kay_{ij1k} \cdot X_{ij1l} + \sum_{i=1}^{MAX_i} \sum_{u=1}^{MAX_u} kay_{iu1k} \cdot Y_{iu1t} \leq K_k \quad (5)$$

$$\forall k \in R, \forall l \in T_{ij}, \forall t \in T_{iu}, ES_{ij} \leq t \leq MAX_{gün}-sure_{ij1}, ES_{iu} \leq l \leq MAX_{gün}-1$$

(5) Yapılan işlerin (tüm projelerdeki tüm bölünebilir ve bölünemez işler için) 1. modunda bir gün içerisinde kullanılan her bir kaynağın miktarı, o gün için günlük ilgili kaynak kapasitesini geçemez kısıtı.

$$sure_{ij1} - \sum_{l=ES_{ij}}^{MAX_{gün}-1} Y_{ij1l} \leq sure_{ij1} \cdot (1 - \sum_{t=ES_{iu}}^{MAX_{gün}-sure_{iu1}} X_{iu1t}) \quad (6)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+, \forall u \in B_i^- \cap A_{ij}, ES_{iu} < MAX_{gün}, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

$$sure_{ij1} - \sum_{l=ES_{ij}}^{MAX_{gün}-1} Y_{ij1l} \leq sure_{ij1} \cdot (1 - \sum_{t=ES_{iu}}^{MAX_{gün}-1} Y_{iu1t}) \quad (7)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+, \forall u \in B_i^+ \cap A_{ij}, ES_{iu} < MAX_{gün}, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

$$\sum_{t=ES_{iu}}^{MAX_{gün}-sure_{iu}-1} X_{iu1t} \leq \sum_{l=ES_{ij}}^{MAX_{gün}-sure_{ij}-1} X_{ij1l} \quad (8)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^-, \forall u \in B_i^- \cap A_{ij}, ES_{iu} < MAX_{gün}, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

$$\sum_{t=ES_{iu}}^{MAX_{gün}-1} Y_{iu1t} \leq \sum_{l=ES_{ij}}^{MAX_{gün}-sure_{ij}-1} X_{ij1l} \quad (9)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^-, \forall u \in B_i^+ \cap A_{ij}, ES_{iu} < MAX_{gün}, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

Bu kısıt grupları öncül iş bitmeden ardıl işin yapılmamasını zorlayan kısıtlardır. Yalnızca öncüllük ilişkileri kısıtı model parçalı bir model olduğu için bu durumu sağlayamamaktadır. Örneğin bölünebilir 3 günlük bir işin 1 gün yapıldıktan sonra (yani 1/3'ü tamamlandığında) öncüllük ilişkileri kısıtı o iş bir gün de olsa (tamamlanmasa da) yapıldığı için ardıl işin yapılmasına izin vermektedir. İşlerin yapılma süreleri göz önünde bulundurularak bu kısıtlar modele eklenmiştir.

Bir başka durum ise 3 adet birbirinin ardılı olan iş yapılırken aradaki işin (2. iş) yapılmaması durumu ortaya çıkabilmektedir. Bu işleri x bölünebilir/bölünemez işi öncülüdür y bölünebilir/bölünemez işi, y bölünebilir/bölünemez işi öncülüdür z bölünebilir/bölünemez işi şeklinde düşünersek ve modeli parçalı olarak çalıştırırsak ilk parça çalıştırıldığında x işi yapılmaktadır. 2. Parçayı çalıştırdığımızda y işini yapmadan direk olarak z işini yapması durumu ortaya çıkabilmektedir. Örneğin ilk model çalıştığında öncül x işi 1 değerini alacak ve ardıl y işi 0 değerini alacaktır. İkinci defa model çalıştırıldığında öncül olan y işi 0 değerini almışken ardıl olan z işi 1 değerini alabilecektir. Yalnızca öncüllük ilişkileri kısıtının yazılması bu durumun ortaya çıkabilmesine izin vermektedir. Bu kısıtlara ihtiyaç duyulmasının başka bir sebebi de açıklanan bu durumun ortaya çıkmasıdır. (6) “Bölünebilir öncül j işi bitmeden bölünemez ardıl u işi başlayamaz kısıtı.” (7) “Bölünebilir öncül j işi bitmeden bölünebilir ardıl u işi başlayamaz kısıtı.” (8) “Bölünemez öncül j işi bitmeden bölünemez ardıl u işi başlayamaz kısıtı.” (9) “Bölünemez öncül j işi bitmeden bölünebilir ardıl u işi başlayamaz kısıtı.”

$$\sum_{l=ES_{ij}}^{MAX_{gün}-sure_{ij1}} X_{ij1l} \leq 1 \quad (10)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^-, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

$$\sum_{l=ES_{ij}}^{MAX_{gün}-1} (1/sure_{ij1}) \cdot Y_{ij1l} \leq 1 \quad (11)$$

$$\forall i \in P, \forall j \in B_i^+, ES_{ij} < MAX_{gün}$$

Bu iki kısıt grubu ise her işin en az bir kere yapılmasını sağlayan kısıt gruplarıdır. (10) “Bölünemez her iş en fazla 1 kere yapılabilir kısıtı.” (11) “Bölünebilir her iş en fazla 1 kere yapılabilir kısıtı.”

$$X_{ij1l}, X_{iu1t} \in \{0,1\}$$

$$Y_{ij1l}, Y_{iu1t} \in \{0,1\}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$MAX : \sum_{i=1}^{MAX_i} \sum_{j=1}^{MAX_j} \sum_{ES_{ij}=1}^{MAX_{gün}-1} Y_{ij1l} + \sum_{i=1}^{MAX_i} \sum_{u=1}^{MAX_u} \sum_{ES_{iu}=1}^{MAX_{gün}-sure_{iu1}} sure_{iu1} \cdot X_{iu1t}$$

$$\forall l \in T_{ij}, \forall t \in T_{iu}, ES_{ij} < MAX_{gün}, ES_{iu} \leq (MAX_{gün}-sure_{iu1})$$

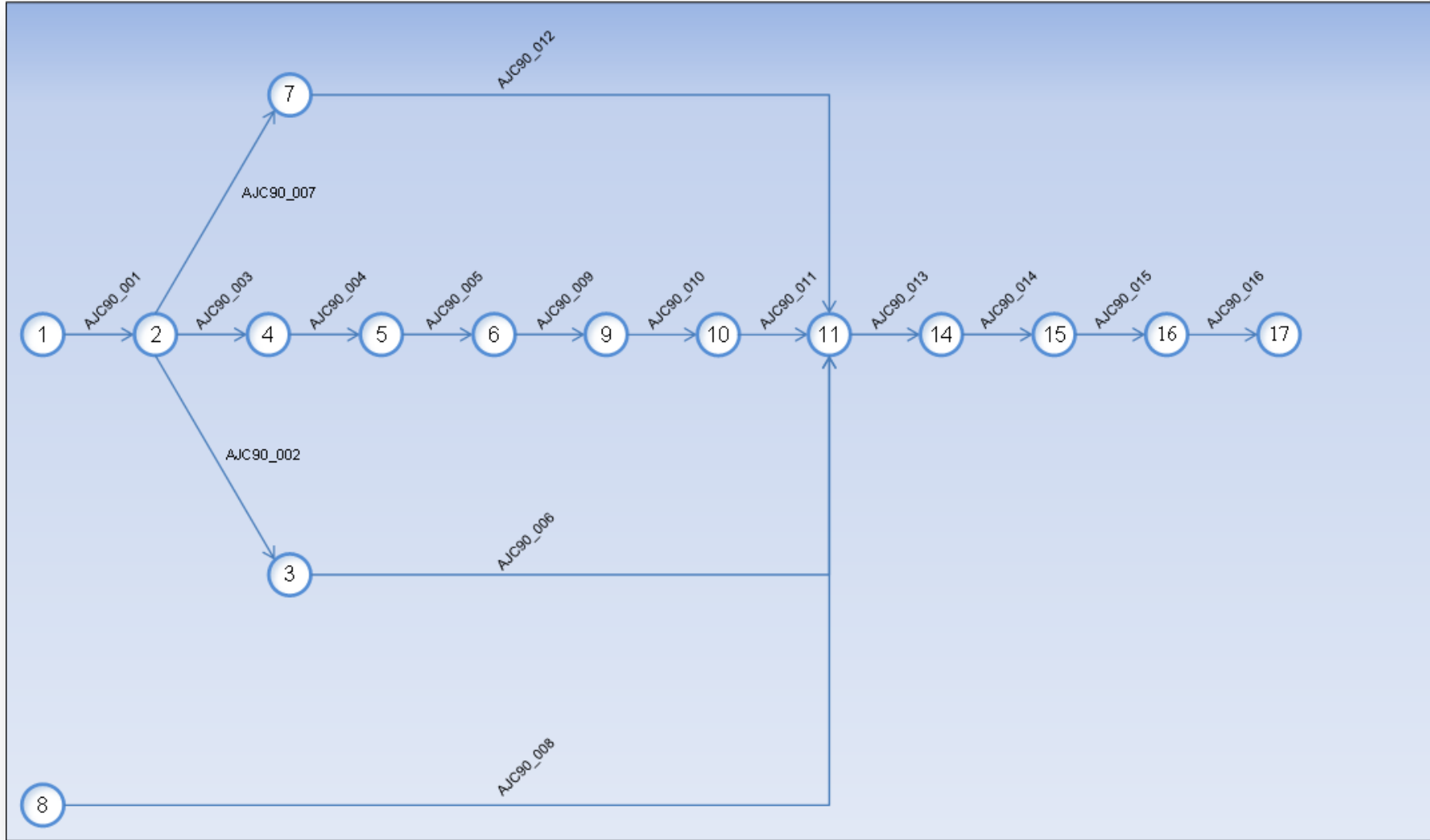
Burada hedef verilen kesikli süre içerisinde, işlerin yapılması için geçen maksimum zaman olarak tanımlanmıştır. Sürenin maksimum olarak istenmesinin sebebi, en geç başlama zamanlarını olabilir en son güne kadar uzatmaktır.

EKLER LİSTESİ

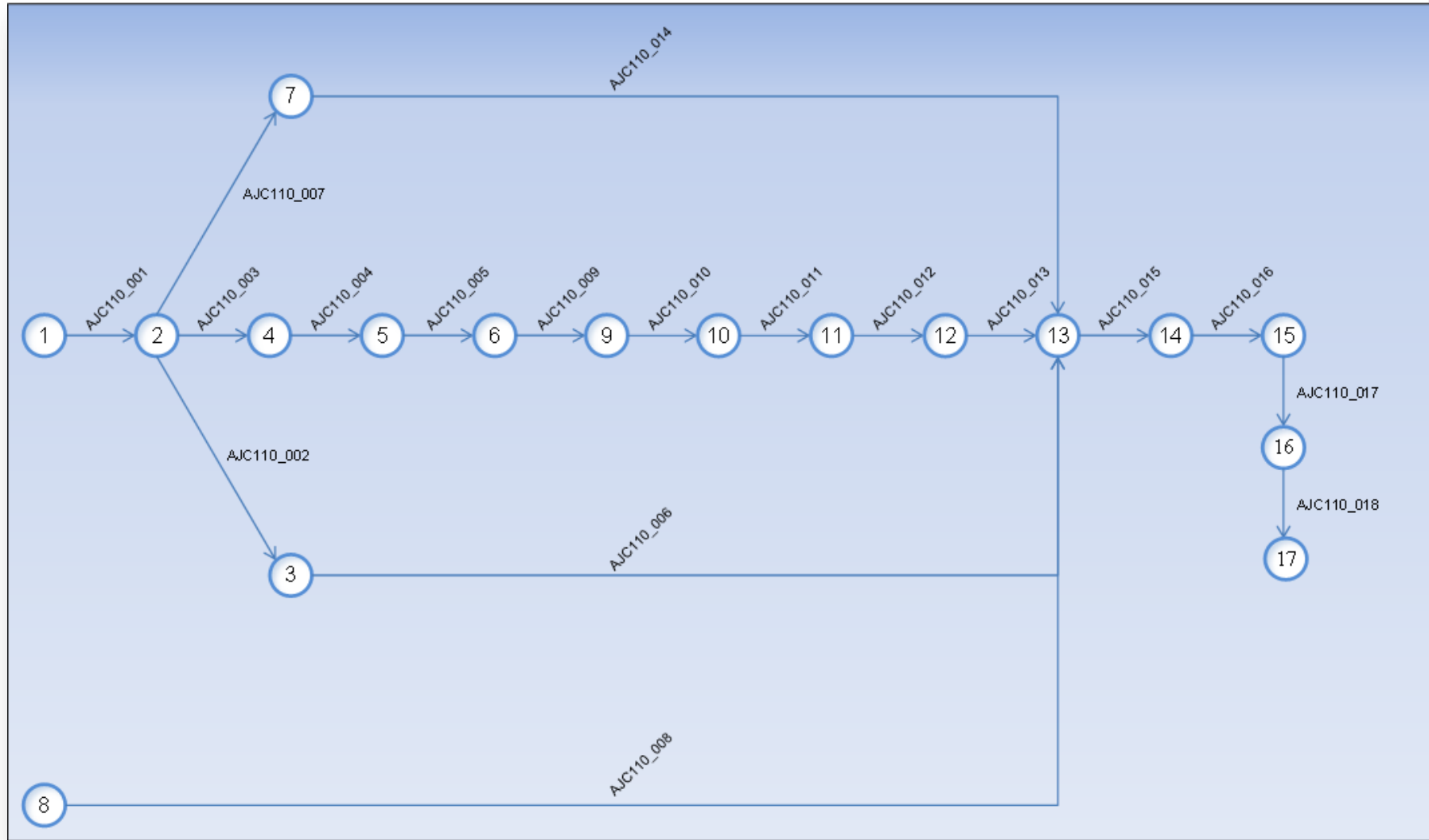
Sayfa

EK 1 AJC 90 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	66
EK 2 AJC 110 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	67
EK 3 API 14 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	68
EK 4 API 16 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	69
EK 5 ASI 1210 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	70
EK 6 ASI 1212 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	71
EK 7 ASI 1215 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	72
EK 8 VSI 900 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	73
EK 9 ATK 120 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	74
EK 10 AVS 2260 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	75
EK 11 AVS 2460 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	76
EK 12 S 1020 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri	77
EK 13 VB 1140 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri.....	78
EK 14 VB 8517 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri.....	79
EK 15 AJC 90 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	80
EK 16 AJC 110 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	81
EK 17 API 14 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	82
EK 18 API 16 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	83
EK 19 ASI 1210 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	84
EK 20 ASI 1212 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	85
EK 21 ASI 1215 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	86
EK 22 VSI 900 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	87
EK 23 ATK 120 Makinasına Ait Üretim Verileri	88
EK 24 AVS 2260 Makinasına Ait Üretim Verileri	89
EK 25 AVS 2460 Makinasına Ait Üretim Verileri	90
EK 26 S 1020 Makinasına Ait Üretim Verileri	91
EK 27 VB 1140 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	92
EK 28 VB 8517 Makinasına Ait Üretim Verileri.....	93
EK 29 Proje 1,3 İçin Çözüm Sonuçları	94
EK 30 Proje 2,5 İçin Çözüm Sonuçları	95
EK 31 Proje 4,6 İçin Çözüm Sonuçları	96
EK 32 Proje 7,10 İçin Çözüm Sonuçları	97
EK 33 Proje 8,9 İçin Çözüm Sonuçları	98
EK 34 Proje 1,2,3,4,5 İçin Çözüm Sonuçları	99
EK 35 Proje 3,4,5,6,8 İçin Çözüm Sonuçları	100
EK 36 Proje 4,6,8,9,10 İçin Çözüm Sonuçları	101

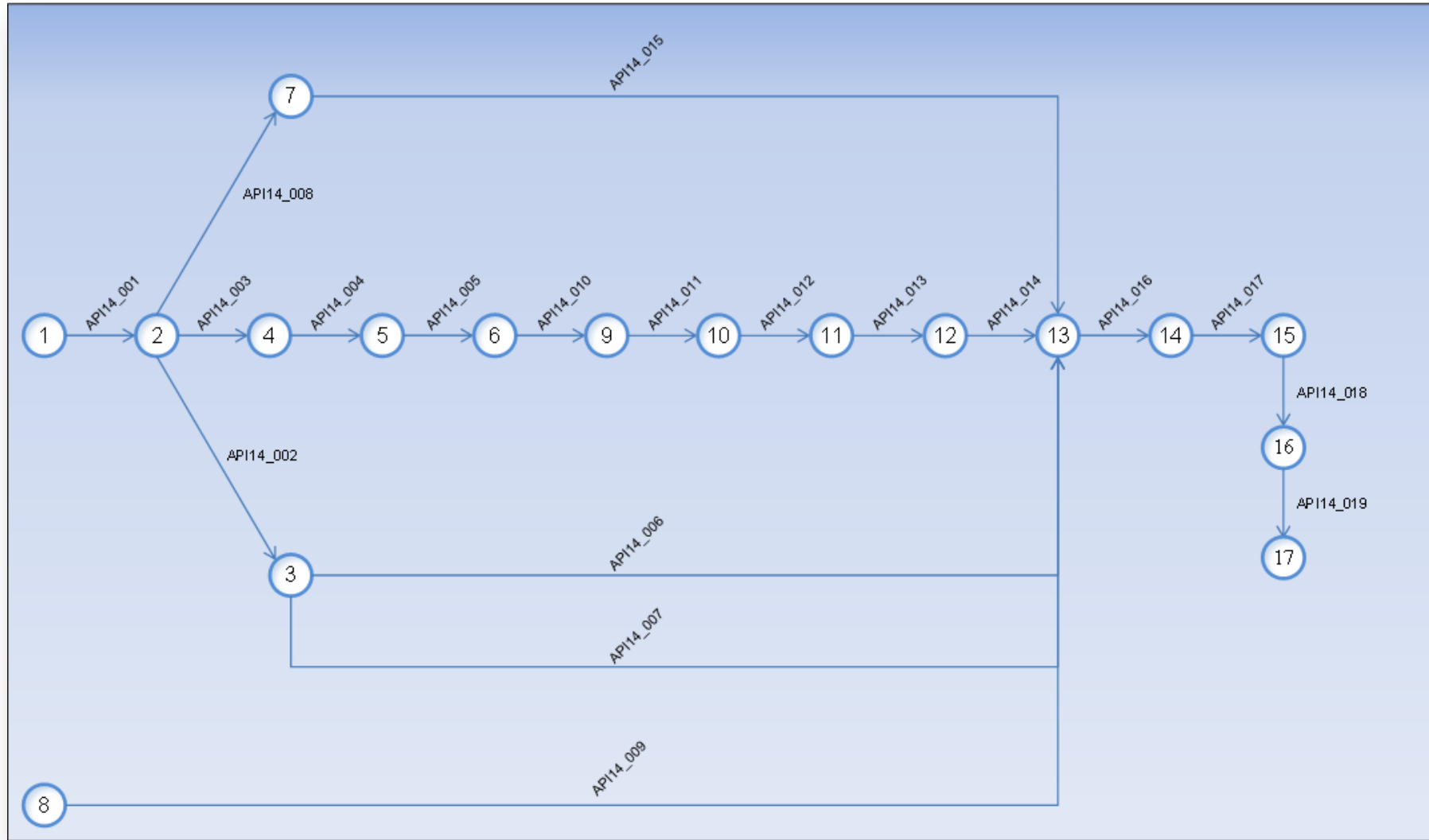
EK 1 AJC 90 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



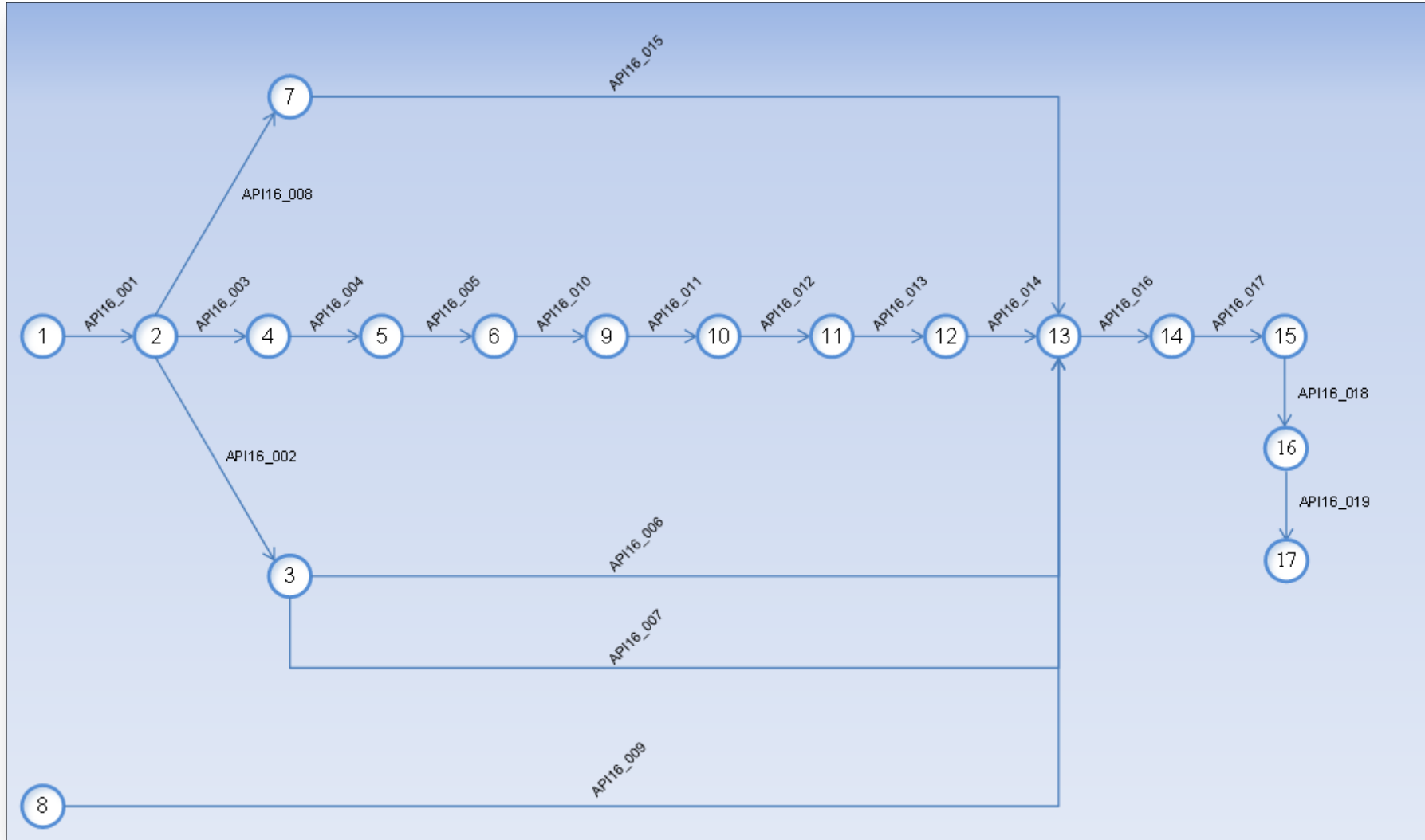
EK 2 AJC 110 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



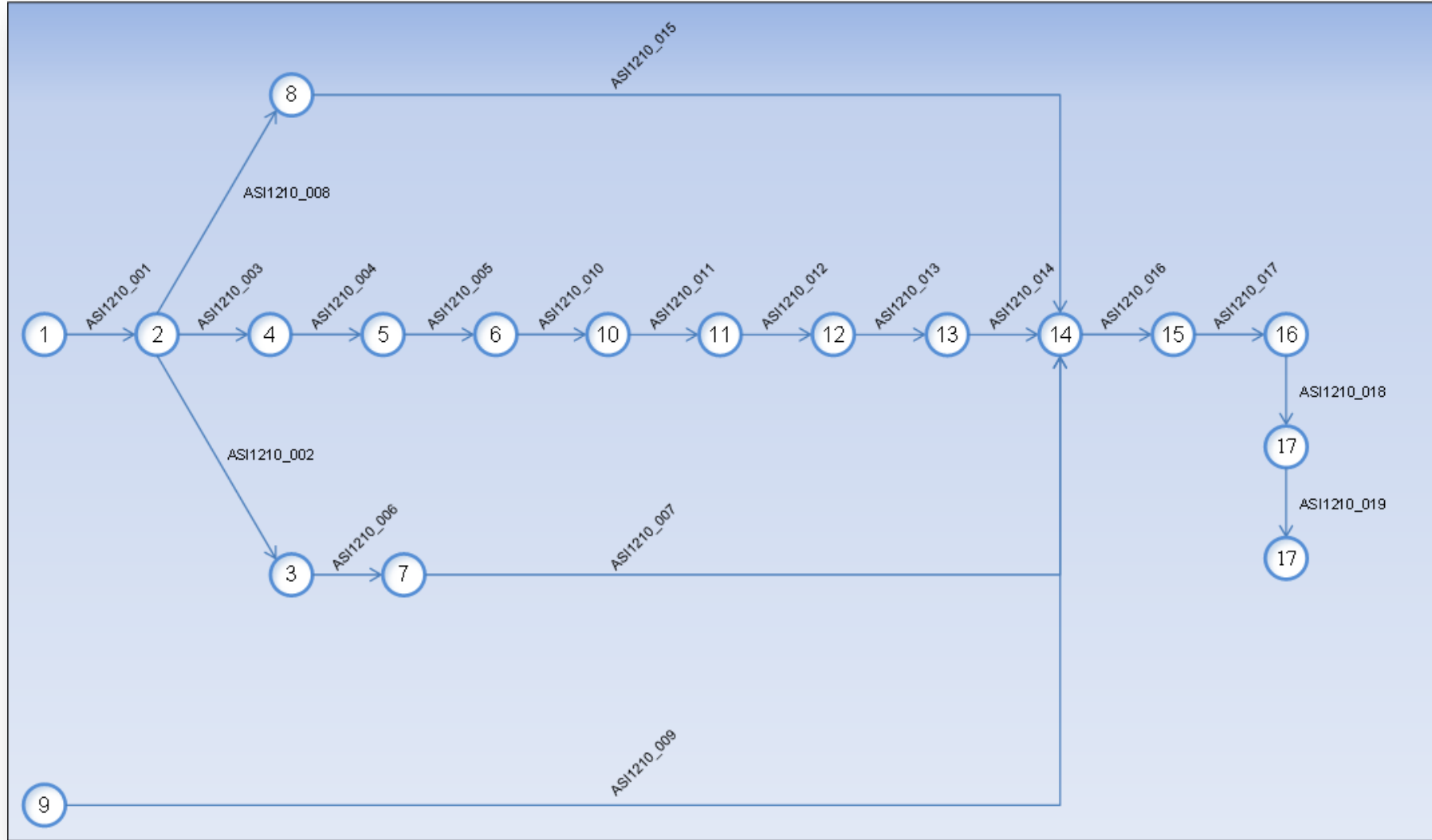
EK 3 API 14 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



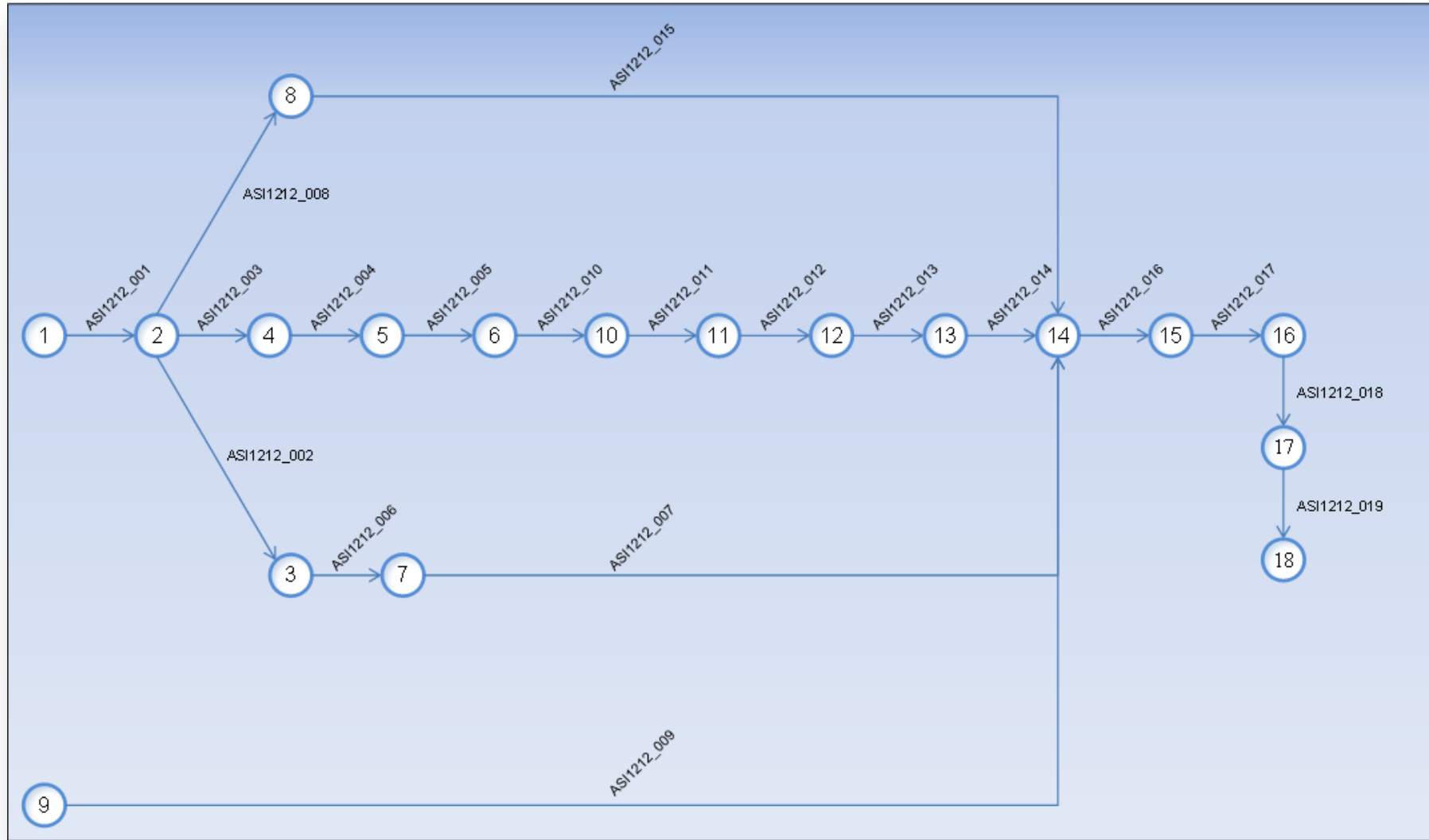
EK 4 API 16 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



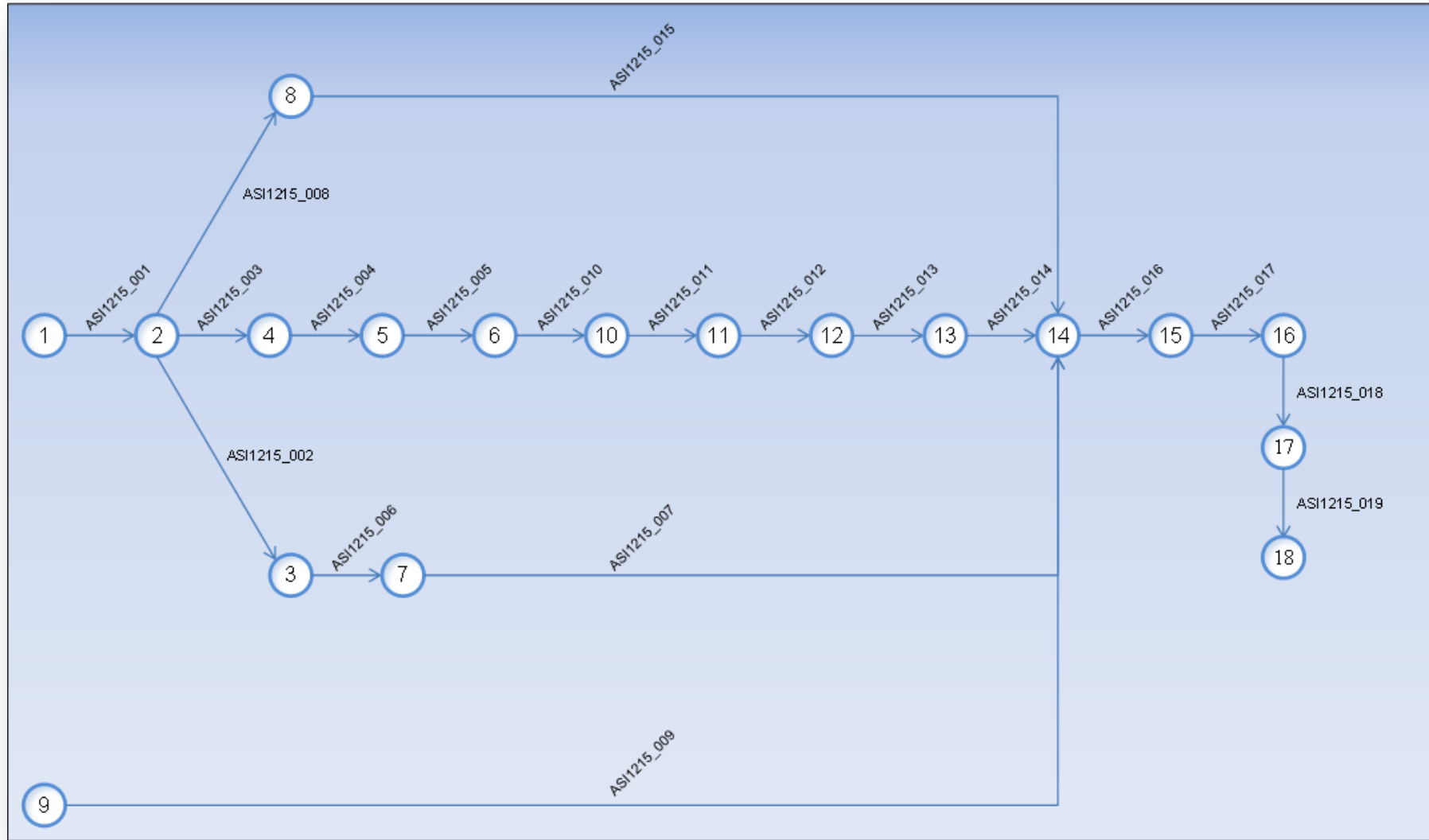
EK 5 ASI 1210 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



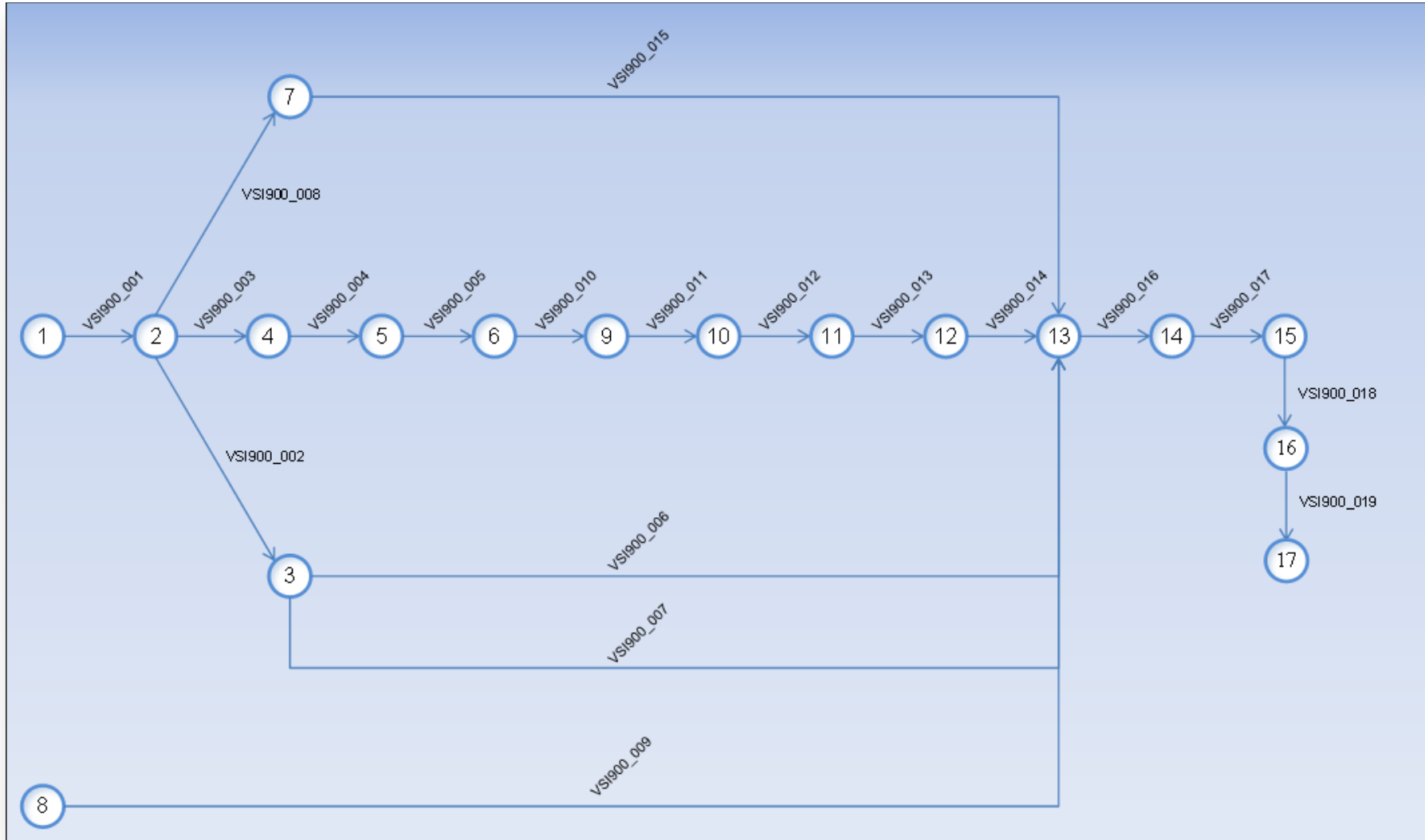
EK 6 ASI 1212 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



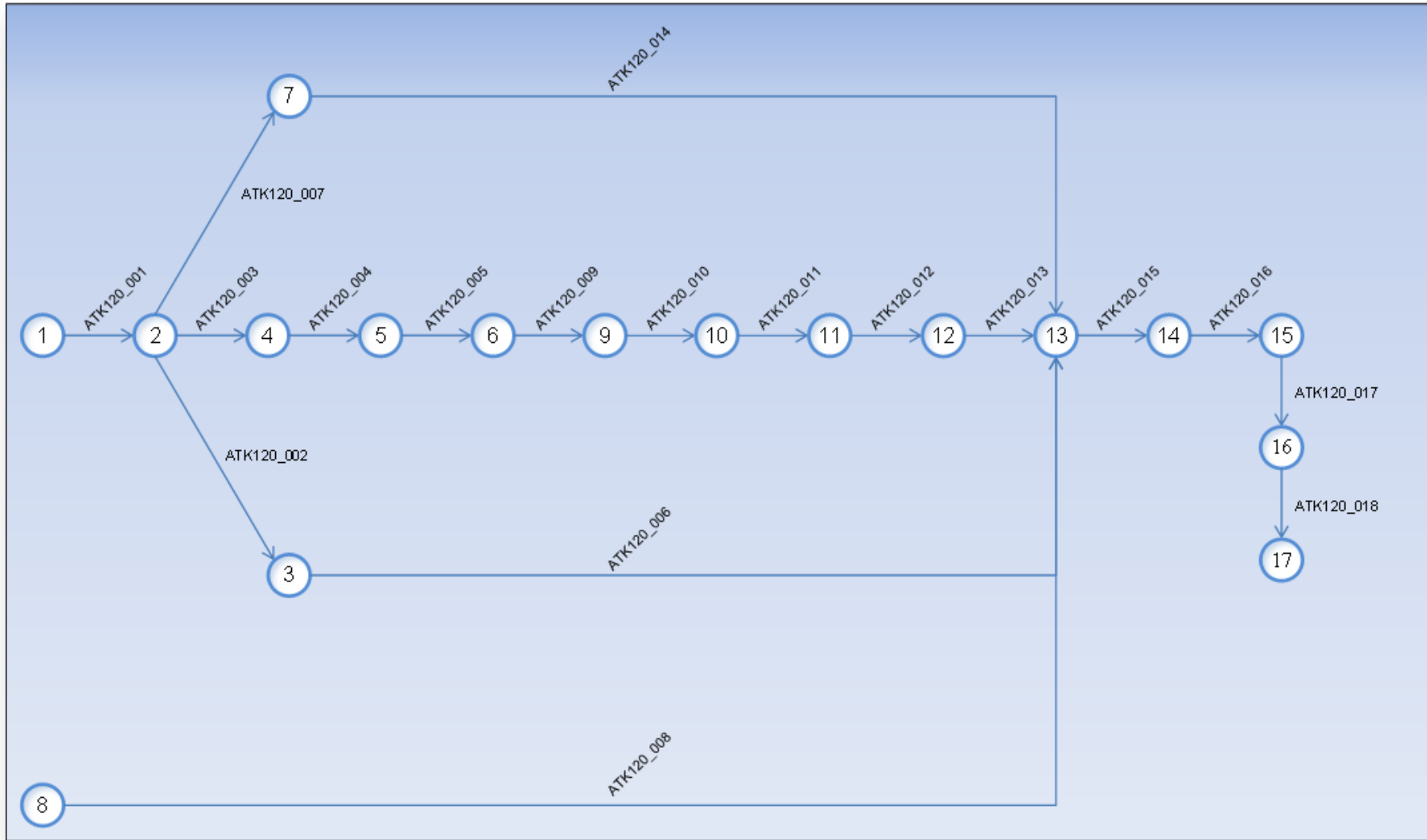
EK 7 ASI 1215 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



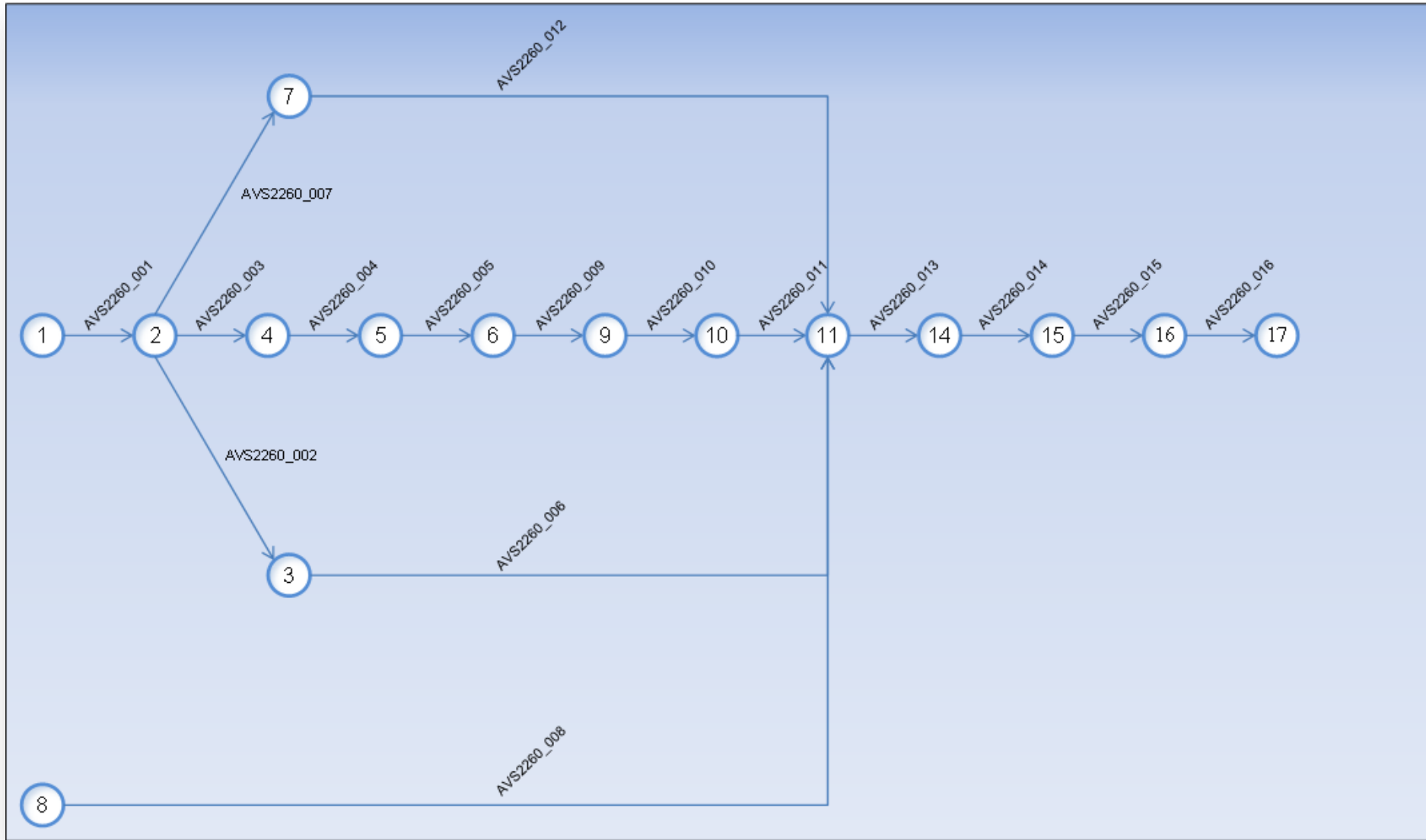
EK 8 VSI 900 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



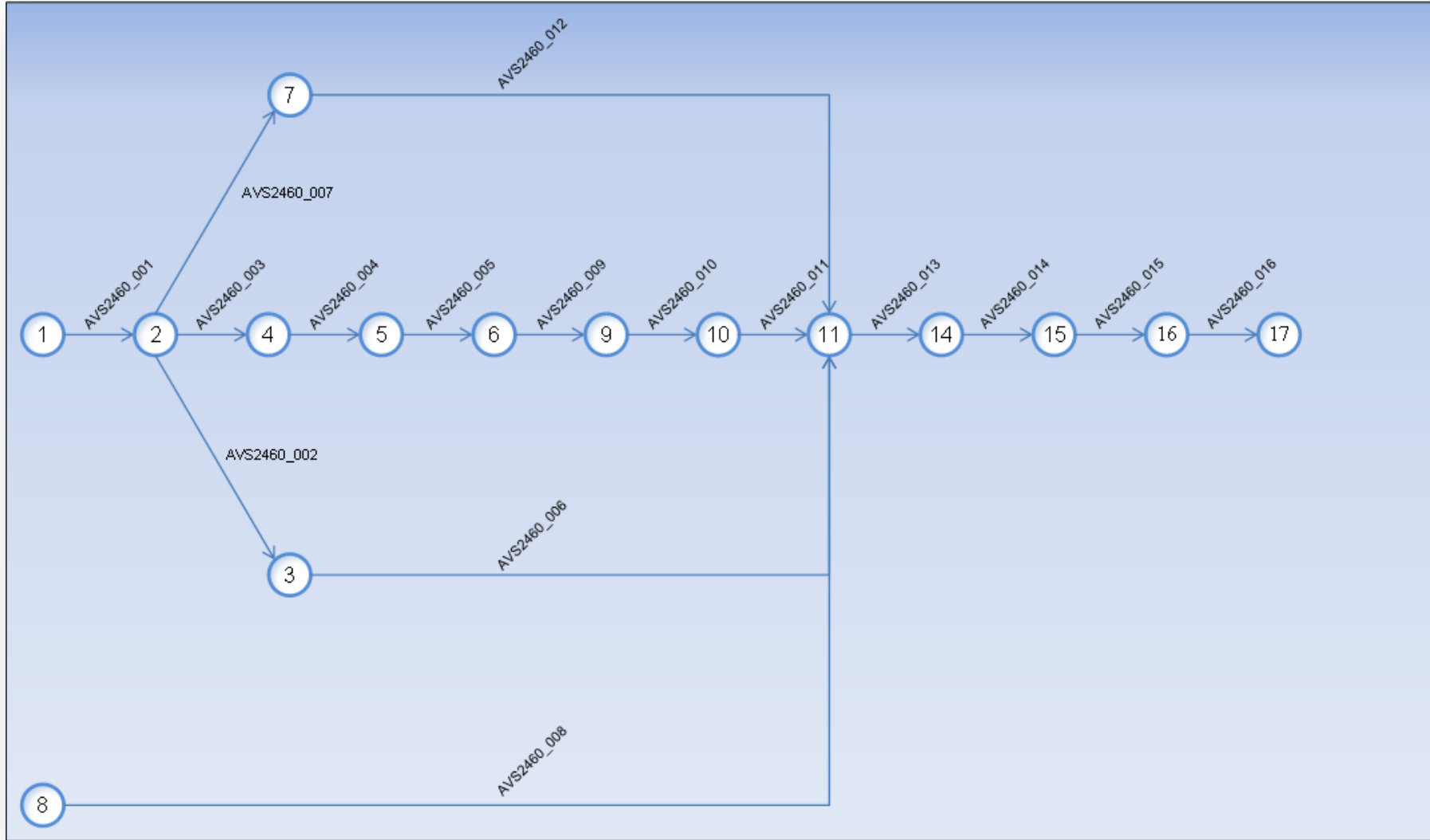
EK 9 ATK 120 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



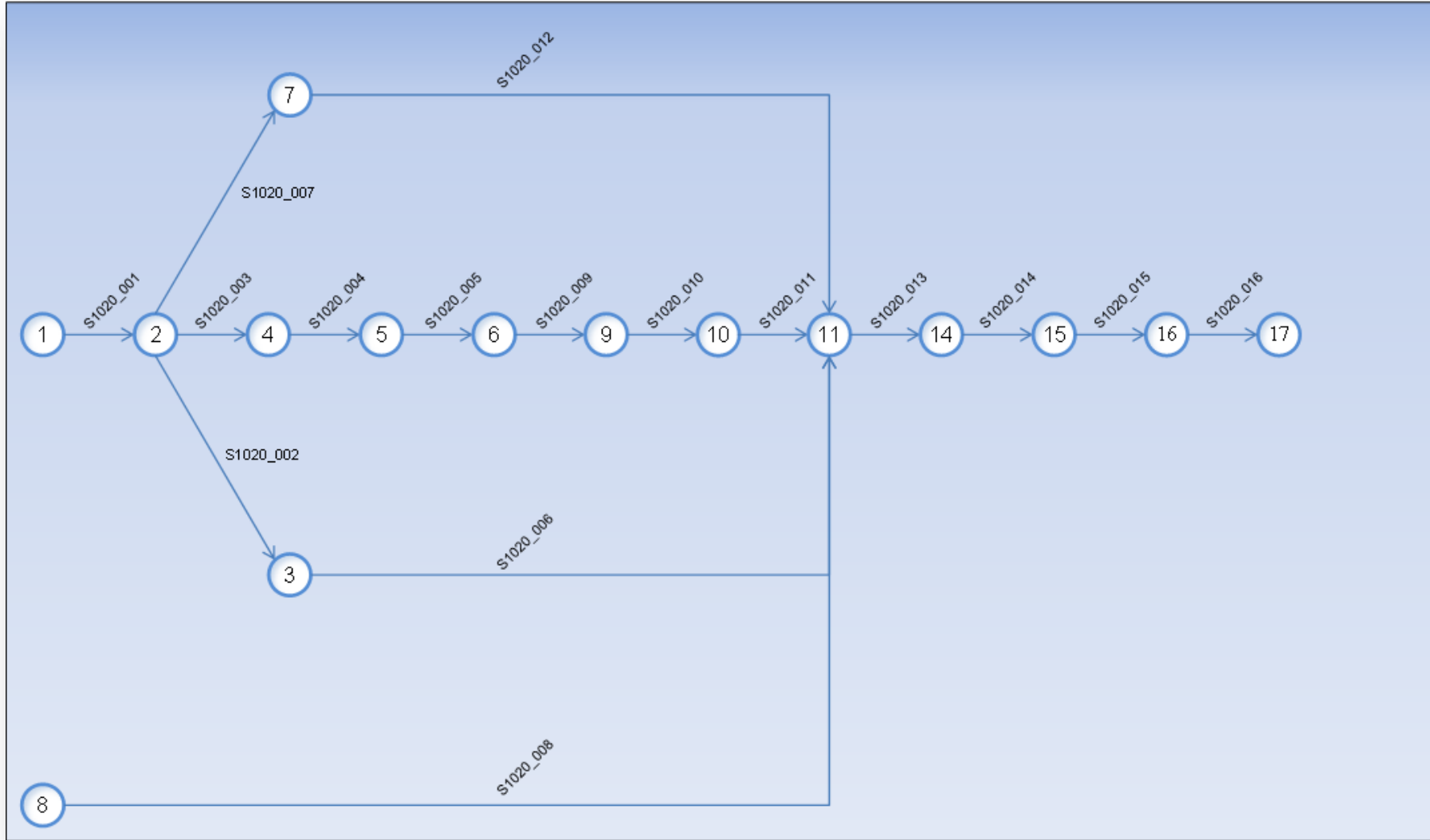
EK 10 AVS 2260 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



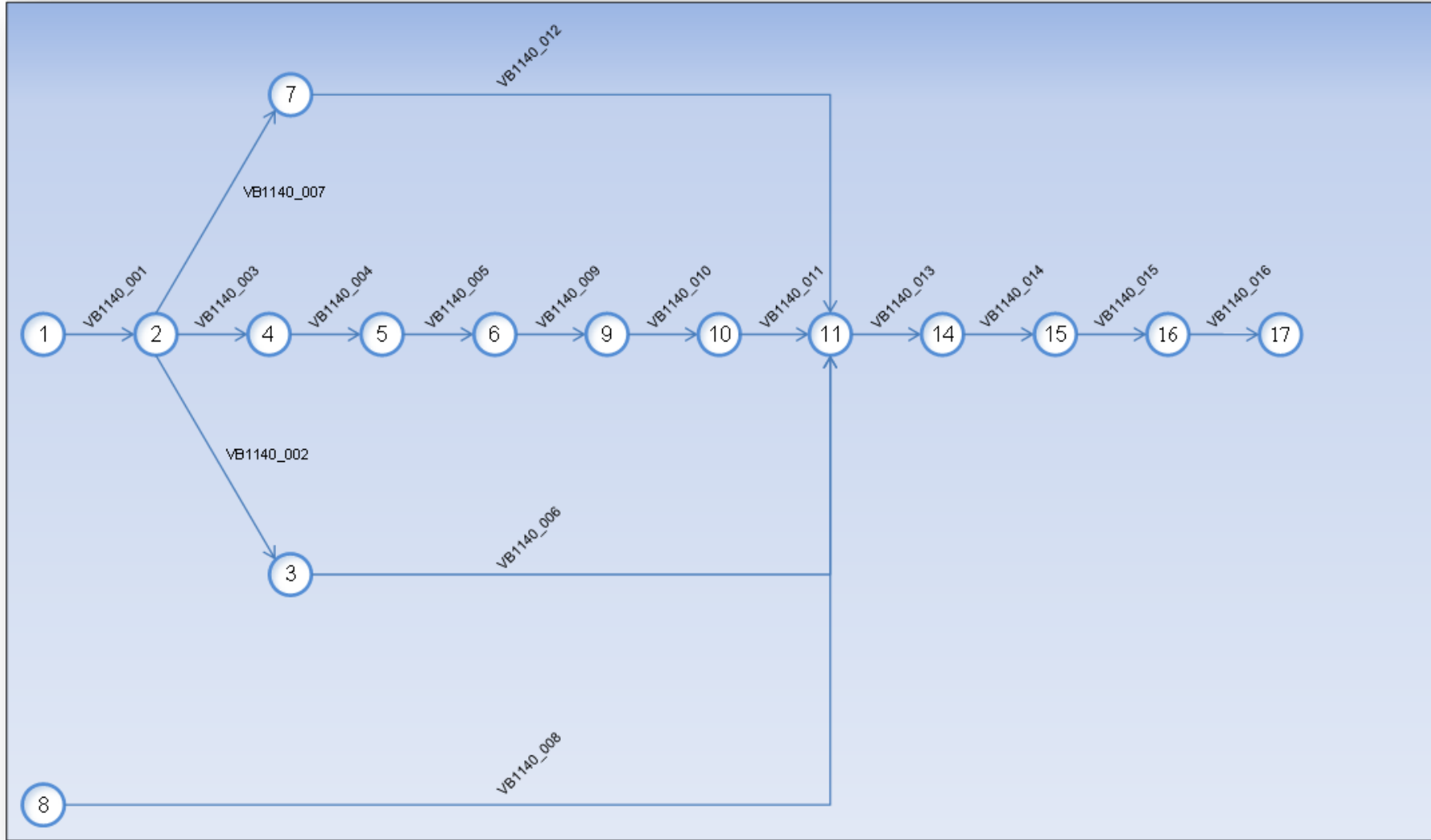
EK 11 AVS 2460 Makinasına Ait İşler için Öncüllük İlişkileri



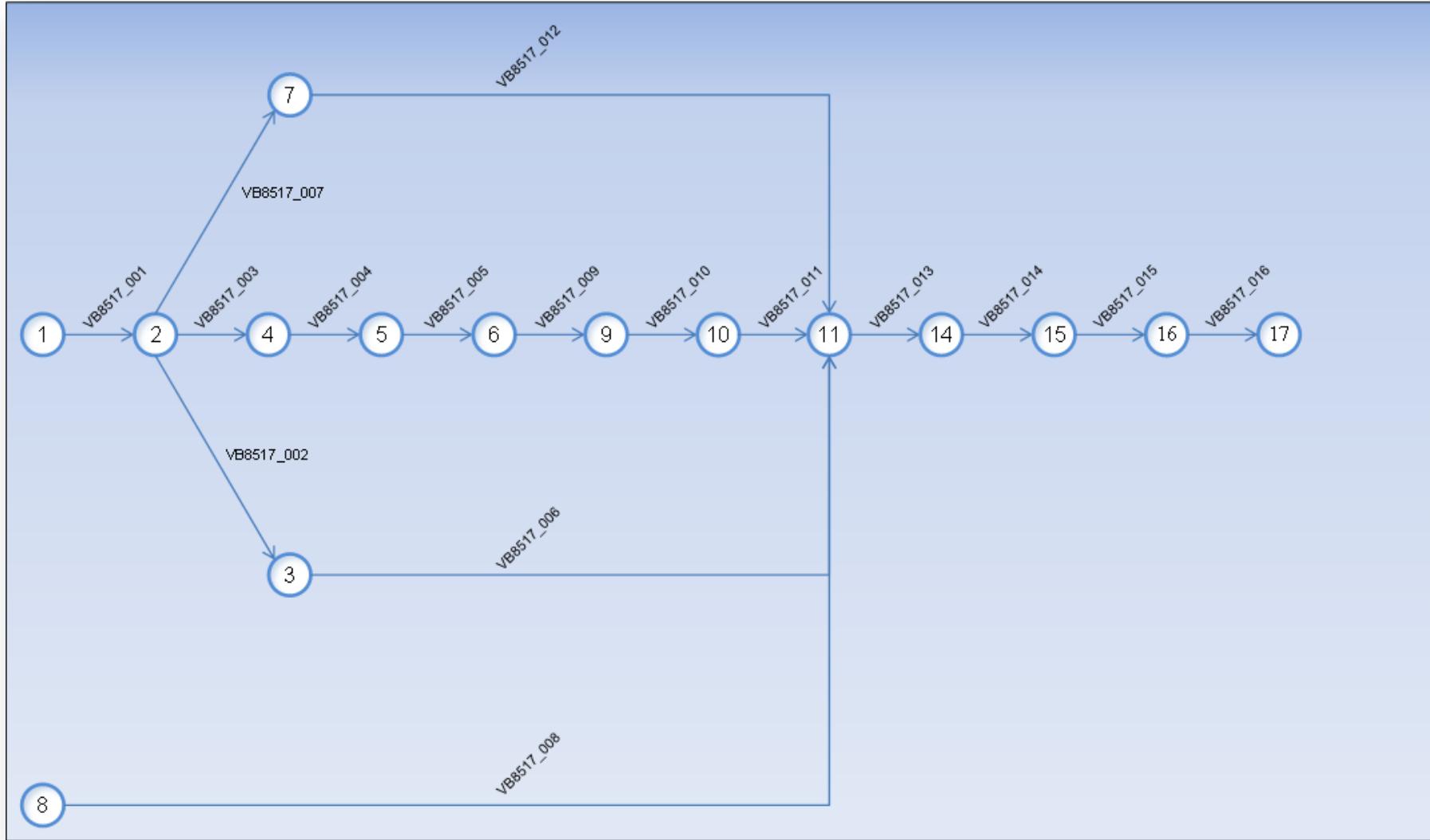
EK 12 S 1020 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



EK 13 VB 1140 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



EK 14 VB 8517 Makinasına Ait İşler İçin Öncüllük İlişkileri



EK 15 AJC 90 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	AJC90_001	0	10			4				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	AJC90_002	0	5	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	0.6	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	1
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	AJC90_003	0	7	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1	3	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	1.5
DELİK DELME İŞLEMİ	AJC90_004	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.5	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	0.75
BÜKÜM İŞLEMİ	AJC90_005	1	1	1 İşgören	1 tezgah	0.75				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	AJC90_006	0	17			10.71				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	AJC90_007	0	7			2				
SATINALMA MALZEMELERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	AJC90_008	0	20			35				
GÖVDENİN ÇATILMASI	AJC90_009	1	12	2 İşgören	1 Kaynak makinası	4				
GÖVDENİN KAYNAMASI	AJC90_010	1	3	2 İşgören	2 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN BOYANMASI	AJC90_011	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.4	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.8
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	AJC90_012	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	AJC90_013	1	2	2 İşgören		1	1	3 İşgören		1.5
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	AJC90_014	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	AJC90_015	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	AJC90_016	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 16 AJC 110 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak 1	Kaynak 2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	AJC 110_001	0	10			8				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	AJC 110_002	0	5	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	2.3	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	3
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	AJC 110_003	0	7	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	5	3	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	6
DELİK DELME İŞLEMİ	AJC 110_004	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	1	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1.25
BÜKÜM İŞLEMİ	AJC 110_005	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	1.25				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	AJC 110_006	0	20			30				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	AJC 110_007	0	7			3				
SATINALMA MALZEMERLERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	AJC 110_008	0	22			100				
GÖVDENİN ÇATILMASI	AJC 110_009	1	15	2 İşgören	1 Kaynak makinası	4				
GÖVDENİN KAYNAMASI	AJC 110_010	1	4	2 İşgören	2 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN ISIL İŞLEME GİTMESİ	AJC 110_011	0	8			0.6				
ISIL İŞLEM SONRASI GÖVDE KAYNAĞI	AJC 110_012	1	2	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	AJC 110_013	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.4	1	2 İşgören	2 Boya makinası	0.6
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	AJC 110_014	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.5				
MONTAJ İŞLEMİ	AJC 110_015	1	2	2 İşgören		1.8	1	3 İşgören		2
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	AJC 110_016	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	AJC 110_017	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	AJC 110_018	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.7	4	3 İşgören	2 Vinç	1

EK 17 API 14 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	API14_001	0	10			5				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	API14_002	0	5	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.5	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	API14_003	0	8	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.6	4	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
DELİK DELME İŞLEMİ	API14_004	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.7	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1
BÜKÜM İŞLEMİ	API14_005	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	1				
ROTOR'UN ISIL İŞLEME GÖNDERİLMESİ VE GELMESİ	API14_006	0	5			0.4				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	API14_007	0	17			22				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	API14_008	0	7			2				
SATINALMA MALZEMERLERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	API14_009	0	20			62				
GÖVDENİN ÇATILMASI	API14_010	1	8	2 İşgören	1 Kaynak makinası	3.5				
GÖVDENİN KAYNAMASI	API14_011	1	5	2 İşgören	2 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN KUMLAMA İŞLEMİNE GÖNDERİLMESİ	API14_012	0	2			0.6				
KUMLAMA SONRASI GÖVDE KAYNAĞI İŞLEMİ	API14_013	1	2	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	API14_014	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.4	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.3
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	API14_015	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	API14_016	1	2	2 İşgören		1.8	1	3 İşgören		2
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	API14_017	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	API14_018	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	API14_019	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 18 API 16 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	API16_001	0	10			5.5				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	API16_002	0	5	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.6	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2.1
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	API16_003	0	8	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	2	4	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2.3
DELİK DELME İŞLEMİ	API16_004	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.7	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1
BÜKÜM İŞLEMİ	API16_005	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	1				
ROTORUN ISIL İŞLEME GÖNDERİLMESİ	API16_006	0	4			0.4				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	API16_007	0	17			24				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	API16_008	0	7			2				
SATINALMA MALZEMERLERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	API16_009	0	20			65				
GÖVDENİN ÇATILMASI	API16_010	1	8	2 İşgören	1 Kaynak makinası	4				
GÖVDENİN KAYNAMASI	API16_011	1	5	2 İşgören	2 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN KUMLAMA İŞLEMİNE GÖNDERİLMESİ	API16_012	0	2			0.8				
KUMLAMA SONRASI GÖVDE KAYNAĞI İŞLEMİ	API16_013	1	2	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	API16_014	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.5	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.8
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	API16_015	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	API16_016	1	2	2 İşgören		1.8	1	3 İşgören		2
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	API16_017	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	API16_018	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	API16_019	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.7	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 19 ASI 1210 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	ASI1210_001	0	10			5.5				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	ASI1210_002	0	5	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	4.5	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2.1
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	ASI1210_003	0	8	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.7	4	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2.3
DELİK DELME İŞLEMİ	ASI1210_004	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.75	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1
BÜKÜM İŞLEMİ	ASI1210_005	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	1				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	ASI1210_006	0	20			24				
İŞLENEN BAZI PARÇALARIN GALVANİZ BOYAYA GÖNDERİLEMSİ VE ALINMASI	ASI1210_007	0	3			2				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	ASI1210_008	0	7			1				
SATINALMA MALZEMERLERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	ASI1210_009	0	20			47				
GÖVDENİN ÇATILMASI	ASI1210_010	1	8	2 İşgören	1 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN KAYNAMASI	ASI1210_011	1	3	2 İşgören	2 Kaynak makinası	2.5				
GÖVDENİN KUMLAMA İŞLEMİNE GÖNDERİLMESİ	ASI1210_012	0	2			0.6				
KUMLAMA SONRASI GÖVDE KAYNAĞI İŞLEMİ	ASI1210_013	1	1	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	ASI1210_014	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.4	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.6
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	ASI1210_015	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	ASI1210_016	1	2	1 İşgören		1.8	1	2 İşgören		2
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	ASI1210_017	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	ASI1210_018	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	ASI1210_019	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 20 ASI 1212 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	ASI1212_001	0	10			4				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	ASI1212_002	0	5	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.5	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	ASI1212_003	0	8	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.8	4	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
DELİK DELME İŞLEMİ	ASI1212_004	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.75	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1
BÜKÜM İŞLEMİ	ASI1212_005	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	1				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	ASI1212_006	0	20			21				
İŞLENEN BAZI PARÇALARIN GALVANİZ BOYAYA GÖNDERİLEMSİ VE ALINMASI	ASI1212_007	0	3			2				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	ASI1212_008	0	7			1				
SATINALMA MALZEMERLERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	ASI1212_009	0	20			50				
GÖVDENİN ÇATILMASI	ASI1212_010	1	8	2 İşgören	1 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN KAYNAMASI	ASI1212_011	1	3	2 İşgören	2 Kaynak makinası	2.5				
GÖVDENİN KUMLAMA İŞLEMİNE GÖNDERİLMESİ	ASI1212_012	0	2			0.6				
KUMLAMA SONRASI GÖVDE KAYNAĞI İŞLEMİ	ASI1212_013	1	1	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	ASI1212_014	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.4	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.6
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	ASI1212_015	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	ASI1212_016	1	2	1 İşgören		1.8	1	2 İşgören		2
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	ASI1212_017	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	ASI1212_018	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	ASI1212_019	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 21 ASI 1215 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	ASI1215_001	0	10			4				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	ASI1215_002	0	6	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.5	3	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	ASI1215_003	0	8	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.8	4	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
DELİK DELME İŞLEMİ	ASI1215_004	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.75	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1
BÜKÜM İŞLEMİ	ASI1215_005	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	1				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	ASI1215_006	0	20			25				
İŞLENEN BAZI PARÇALARIN GALVANİZ BOYAYA GÖNDERİLEMSİ VE ALINMASI	ASI1215_007	0	3			2				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	ASI1215_008	0	7			1				
SATINALMA MALZEMERLERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	ASI1215_009	0	20			52				
GÖVDENİN ÇATILMASI	ASI1215_010	1	8	2 İşgören	1 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN KAYNAMASI	ASI1215_011	1	3	2 İşgören	2 Kaynak makinası	2.5				
GÖVDENİN KUMLAMA İŞLEMİNE GÖNDERİLMESİ	ASI1215_012	0	2			0.6				
KUMLAMA SONRASI GÖVDE KAYNAĞI İŞLEMİ	ASI1215_013	1	1	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	ASI1215_014	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.4	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.6
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	ASI1215_015	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	ASI1215_016	1	2	1 İşgören		1.8	1	2 İşgören		2
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	ASI1215_017	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	ASI1215_018	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	ASI1215_019	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 22 VSI 900 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	VSI 900_01	0	10			4				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	VSI 900_02	0	5	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.5	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	VSI 900_03	0	7	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.8	3	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
DELİK DELME İŞLEMİ	VSI 900_04	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.75	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1
BÜKÜM İŞLEMİ	VSI 900_05	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	1				
ROTORUN ISIL İŞLEME GÖNDERİLMESİ	VSI 900_06	0	4			0.6				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	VSI 900_07	0	17			18				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	VSI 900_08	0	7			2				
SATINALMA MALZEMERLERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	VSI 900_09	0	20			30				
GÖVDENİN ÇATILMASI	VSI 900_10	1	8	2 İşgören	1 Kaynak makinası	4				
GÖVDENİN KAYNAMASI	VSI 900_11	1	6	2 İşgören	2 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN KUMLAMA İŞLEMİNE GÖNDERİLMESİ	VSI 900_12	0	2			1				
KUMLAMA SONRASI GÖVDE KAYNAĞI İŞLEMİ	VSI 900_13	1	1	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	VSI 900_14	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.5	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.8
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	VSI 900_15	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	VSI 900_16	1	2	2 İşgören		1.8	1	3 İşgören		2
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	VSI 900_17	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	VSI 900_18	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	VSI 900_19	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 23 ATK 120 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	ATK 120_01	0	10			4				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	ATK 120_02	0	5	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.2	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı 1.5	
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	ATK 120_03	0	7	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	2.5	3	3 İşgören	2 Kesme tezgahı 3	
DELİK DELME İŞLEMİ	ATK 120_04	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.75	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı 1	
BÜKÜM İŞLEMİ	ATK 120_05	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	1				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	ATK 120_06	0	15			25				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	ATK 120_07	0	7			2				
SATINALMA MALZEMERLERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	ATK 120_08	0	22			50				
GÖVDENİN ÇATILMASI	ATK 120_09	1	15	2 İşgören	1 Kaynak makinası	4				
GÖVDENİN KAYNAMASI	ATK 120_10	1	4	2 İşgören	2 Kaynak makinası	3				
GÖVDENİN ISIL İŞLEME GİTMESİ	ATK 120_11	0	8			0.6				
ISIL İŞLEM SONRASI GÖVDE KAYNAĞI	ATK 120_12	1	2	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	ATK 120_13	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.4	2	2 İşgören	2 Boya makinası 0.6	
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	ATK 120_14	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.5				
MONTAJ İŞLEMİ	ATK 120_15	1	2	2 İşgören		1.8	1	3 İşgören	2	
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	ATK 120_16	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	ATK 120_17	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	ATK 120_18	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.7	4	3 İşgören	2 Vinç 0.8	

EK 24 AVS 2260 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	AVS 2260_01	0	10			4				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	AVS 2260_02	0	6	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.5	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	AVS 2260_03	0	8	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.8	3	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
DELİK DELME İŞLEMİ	AVS 2260_04	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	1.2	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1.5
BÜKÜM İŞLEMİ	AVS 2260_05	1	2	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	2				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	AVS 2260_06	0	16			13				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	AVS 2260_07	0	7			1				
SATINALMA MALZEMELERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	AVS 2260_08	0	20			42				
GÖVDENİN ÇATILMASI	AVS 2260_09	1	4	2 İşgören	1 Kaynak makinası	2				
GÖVDENİN KAYNAMASI	AVS 2260_10	1	1	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	AVS 2260_11	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.5	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.8
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	AVS 2260_12	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.5				
MONTAJ İŞLEMİ	AVS 2260_13	1	3	1 İşgören		1.1	1	3 İşgören		1.5
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	AVS 2260_14	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	AVS 2260_15	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	AVS 2260_16	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 25 AVS 2460 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	AVS 2460_01	0	10			4				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	AVS 2460_02	0	6	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.5	2	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	AVS 2460_03	0	8	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	1.8	3	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	2
DELİK DELME İŞLEMİ	AVS 2460_04	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	1.3	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1.5
BÜKÜM İŞLEMİ	AVS 2460_05	1	2	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	2				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	AVS 2460_06	0	16			13				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	AVS 2460_07	0	7			1				
SATINALMA MALZEMELERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	AVS 2460_08	0	20			42				
GÖVDENİN ÇATILMASI	AVS 2460_09	1	4	2 İşgören	1 Kaynak makinası	2				
GÖVDENİN KAYNAMASI	AVS 2460_10	1	1	2 İşgören	2 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	AVS 2460_11	1	3	1 İşgören	1 Boya makinası	0.5	2	2 İşgören	2 Boya makinası	0.7
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	AVS 2460_12	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	AVS 2460_13	1	3	1 İşgören		1.2	1	3 İşgören		1.5
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	AVS 2460_14	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	AVS 2460_15	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	AVS 2460_16	0	7	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 26 S 1020 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	S 1020_01	0	10			2				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	S 1020_02	0	2	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	0.3	1	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	0.5
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	S 1020_03	0	2	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	0.5	1	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	0.7
DELİK DELME İŞLEMİ	S 1020_04	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.2	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	0.4
BÜKÜM İŞLEMİ	S 1020_05	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	0.3				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	S 1020_06	0	3			4				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	S 1020_07	0	5			0.5				
SATINALMA MALZEMELERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	S 1020_08	0	10			5				
GÖVDENİN ÇATILMASI	S 1020_09	1	1	2 İşgören	1 Kaynak makinası	1.5				
GÖVDENİN KAYNAMASI	S 1020_10	1	1	2 İşgören	2 Kanak makinası	1				
GÖVDENİN BOYANMASI	S 1020_11	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.5	1	2 İşgören	2 Boya makinası	0.7
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	S 1020_12	1	1	1 İşgören	1 Boya makinası	0.2				
MONTAJ İŞLEMİ	S 1020_13	1	2	1 İşgören		0.5	1	2 İşgören		0.7
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	S 1020_14	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	S 1020_15	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	S 1020_16	0	6	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 27 VB 1140 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	VB1140_01	0	10			2				
TAHRİK SACLARININ KESİLMESİ	VB1140_02	0	2	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	0.75	1	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	1
GÖVDE SACLARININ KESİLMESİ	VB1140_03	0	2	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	0.8	1	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	1
DELİK DELME İŞLEMİ	VB1140_04	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.8	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	1
BÜKÜM İŞLEMİ	VB1140_05	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	1				
TAHRİK SACLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	VB1140_06	0	7			8				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	VB1140_07	0	7			1				
SATINALMA MALZEMELERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	VB1140_08	0	10			15				
GÖVDENİN ÇATILMASI	VB1140_09	1	1	2 İşgören	1 Kaynak makinası	1				
GÖVDENİN KAYNAMASI	VB1140_10	1	1	2 İşgören	2 Kaynak makinası	0.5				
GÖVDENİN BOYANMASI	VB1140_11	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.4	1	2 İşgören	2 Boya makinası	0.6
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	VB1140_12	1	1	1 İşgören	1 Boya makinası	0.3				
MONTAJ İŞLEMİ	VB1140_13	1	2	1 İşgören		0.2	1	2 İşgören		0.5
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	VB1140_14	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	VB1140_15	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	VB1140_16	0	5	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 28 VB 8517 Makinasına Ait Üretim Verileri

ANA İŞ	KOD	BÖLÜNEBİLİRLİK	MOD 1				MOD 2			
			Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)	Gün	Kanak1	Kaynak2	Maliyet (Para Birimi)
SAC VE PROFİLLERİN SATIN ALINMASI	VB8517_01	0	10			0.5				
TAHRİK SAÇLARININ KESİLMESİ	VB8517_02	0	2	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	0.2	1	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	0.3
GÖVDE SAÇLARININ KESİLMESİ	VB8517_03	0	2	1 İşgören	1 Kesme tezgahı	0.2	1	3 İşgören	2 Kesme tezgahı	0.3
DELİK DELME İŞLEMİ	VB8517_04	1	2	1 İşgören	1 Delme tezgahı	0.1	1	2 İşgören	2 Delme tezgahı	0.2
BÜKÜM İŞLEMİ	VB8517_05	1	1	1 İşgören	1 Bükme tezgahı	0.2				
TAHRİK SAÇLARININ İŞLENMESİ, TALAŞLI İMALAT MALZEMELERİNİN SATIN ALINMASI (TAŞERON FİRMA)	VB8517_06	0	3			1				
KORKULUK MERDİVEN PLATFORM VE ŞASENİN YAPILMASI (TAŞERON FİRMA)	VB8517_07	0	5			0.5				
SATINALMA MALZEMELERİNİN ALINMASI (MOTOR, KAYIŞ, KASNAK, HRDAVAT..)	VB8517_08	0	10			1.5				
GÖVDENİN ÇATILMASI	VB8517_09	1	1	2 İşgören	1 Kaynak makinası	0.5				
GÖVDENİN KAYNAMASI	VB8517_10	1	1	2 İşgören	2 Kaynak makinası	0.3				
GÖVDENİN BOYANMASI	VB8517_11	1	2	1 İşgören	1 Boya makinası	0.2	1	2 İşgören	2 Boya makinası	0.3
ŞASE VE PLATFORM ŞASESİNİN BOYANMASI	VB8517_12	1	1	1 İşgören	1 Boya makinası	0.2				
MONTAJ İŞLEMİ	VB8517_13	1	2	1 İşgören		0.2	1	2 İşgören		0.3
MONTAJ SONRASI BOYA İŞLEMİ	VB8517_14	0	1	1 İşgören		0.1				
YÜKLEME İŞLEMLERİ VE SEVKİYAT	VB8517_15	0	1 + SEVKİYAT	2 İşgören		0.2 + SEVK				
MALZEMEYİ TIRDAN İNDİRME VE ŞANTIYE MONTAJ İŞLEMİ	VB8517_16	0	5	2 İşgören	1 Vinç	0.5	4	3 İşgören	2 Vinç	0.8

EK 29 Proje 1,3 İçin özüm Sonuçları

Proje	EGBZBAPM'in özümü	ZPÇPÇAPM'in özümü	EGBZBAPM'in özüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in özüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu
Proje 1,3	Yirmierli	Yirmierli	24 saniye	5 saniye	2046.95
Proje 1,3		Ellierli		11 saniye	2036.85
Proje 1,3		Tüm model		30 saniye	2032.05
Proje 1,3	Ellierli	Yirmierli	5 saat 23 saniye	9 saniye	2053.45
Proje 1,3		Ellierli		17 saniye	2047.15
Proje 1,3		Tüm model		27 saniye	2047.15
Proje 1,3	Tüm Model	Yirmierli	5 dakika 9 saniye	5 saniye	1971.75
Proje 1,3		Ellierli		10 saniye	1966.95
Proje 1,3		Tüm model		17 saniye	1961.80

EK 30 Proje 2,5 İçin Çözüm Sonuçları

Proje	EGBZBAPM'in çözümü	ZPÇPÇAPM'in Çözümü	EGBZBAPM'in Çözüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in Çözüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu
Proje 2,5	Yirmişişerli	Yirmişişerli	2 saat 8 dakika	5 saniye	2049.62
Proje 2,5		Ellişerli		15 saniye	2027.87
Proje 2,5		Tüm model		28 saniye	2027.57
Proje 2,5	Ellişerli	Yirmişişerli	5 saat 26 saniye	6 saniye	2092.07
Proje 2,5		Ellişerli		19 saniye	2062.57
Proje 2,5		Tüm model		35 saniye	2062.57
Proje 2,5	Tüm Model	Yirmişişerli	5 dakika	5 saniye	1942.62
Proje 2,5		Ellişerli		8 saniye	1937.72
Proje 2,5		Tüm model		14 saniye	1932.12

EK 31 Proje 4,6 İçin Çözüm Sonuçları

Proje	EGBZBAPM'in çözümü	ZPÇPÇAPM'in Çözümü	EGBZBAPM'in Çözüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in Çözüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu
Proje 4,6	Yirmişişerli	Yirmişişerli	12 saniye	3 saniye	1632.40
Proje 4,6		Ellişerli		3 saniye	1624.00
Proje 4,6		Tüm model		9 saniye	1622.45
Proje 4,6	Ellişerli	Yirmişişerli	5 saat 8 saniye	3 saniye	1608.50
Proje 4,6		Ellişerli		5 saniye	1608.90
Proje 4,6		Tüm model		19 saniye	1602.85
Proje 4,6	Tüm Model	Yirmişişerli	3 dakika 24 saniye	1 saniye	1547.65
Proje 4,6		Ellişerli		3 saniye	1543.45
Proje 4,6		Tüm model		11 saniye	1523.60

EK 32 Proje 7,10 İçin özüm Sonuçları

Proje	EGBZBAPM'in özümü	ZPÇPÇAPM'in özümü	EGBZBAPM'in özüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in özüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu
Proje 7,10	Yirmierli	Yirmierli	11 saniye	3 saniye	1618.67
Proje 7,10		Ellierli		2 saniye	1613.27
Proje 7,10		Tüm model		4 saniye	1612.97
Proje 7,10	Ellierli	Yirmierli	5 saat 10 saniye	3 saniye	1628.92
Proje 7,10		Ellierli		5 saniye	1634.37
Proje 7,10		Tüm model		12 saniye	1622.92
Proje 7,10	Tüm Model	Yirmierli	2 dakika 43 saniye	1 saniye	1548.47
Proje 7,10		Ellierli		3 saniye	1554.47
Proje 7,10		Tüm model		4 saniye	1539.57

EK 33 Proje 8,9 İçin Çözüm Sonuçları

Proje	EGBZBAPM'in çözümü	ZPÇPÇAPM'in Çözümü	EGBZBAPM'in Çözüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in Çözüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu
Proje 8,9	Yirmişişerli	Yirmişişerli	4 saniye	1 saniye	1191.75
Proje 8,9		Ellişerli		4 saniye	1191.95
Proje 8,9		Tüm model		15 saniye	1167.45
Proje 8,9	Ellişerli	Yirmişişerli	5 saat	2 saniye	1160.45
Proje 8,9		Ellişerli		2 saniye	1137.00
Proje 8,9		Tüm model		3 saniye	1130.95
Proje 8,9	Tüm Model	Yirmişişerli	2 dakika 22 saniye	1 saniye	1141.65
Proje 8,9		Ellişerli		2 saniye	1141.35
Proje 8,9		Tüm model		2 saniye	1136.10

EK 34 Proje 1,2,3,4,5 İçin özüm Sonuçları

Proje	EGBZBAPM'in özümü	ZPÇPÇAPM'in özümü	EGBZBAPM'in özüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in özüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu Değeri
Proje 1,2,3,4,5	Yirmişerli	Yirmişerli	1 saat 33 dakika	41 saniye	6285.07
Proje 1,2,3,4,5		Ellişerli		1 dakika 51 saniye	6280.75
Proje 1,2,3,4,5		Tüm model		5 dakika	6232.77
Proje 1,2,3,4,5	Ellişerli	Yirmişerli	-	-	-
Proje 1,2,3,4,5		Ellişerli		-	-
Proje 1,2,3,4,5		Tüm model		-	-
Proje 1,2,3,4,5	Tüm Model	Yirmişerli	-	-	-
Proje 1,2,3,4,5		Ellişerli		-	-
Proje 1,2,3,4,5		Tüm model		-	-

EK 35 Proje 3,4,5,6,8 İçin özüm Sonuçları

Proje	EGBZBAPM'in özümü	ZPÇPÇAPM'in özümü	EGBZBAPM'in özüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in özüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu Değeri
Proje 3,4,5,6,8	Yirmişerli	Yirmişerli	42 dakika 18 saniye	44 saniye	5448.01
Proje 3,4,5,6,8		Ellişerli		6 dakika 6 saniye	5437.61
Proje 3,4,5,6,8		Tüm model		5 dakika 51 saniye	5426.06
Proje 3,4,5,6,8	Ellişerli	Yirmişerli	10 saat 5 dakika	56 saniye	5624.76
Proje 3,4,5,6,8		Ellişerli		6 dakika 18 saniye	5543.61
Proje 3,4,5,6,8		Tüm model		5 saat	-
Proje 3,4,5,6,8	Tüm Model	Yirmişerli	5 saat	25 saniye	4871.06
Proje 3,4,5,6,8		Ellişerli		45 saniye	4857.06
Proje 3,4,5,6,8		Tüm model		94 saniye	4852.16

EK 36 Proje 4,6,8,9,10 İçin özüm Sonuçları

Proje	EGBZBAPM'in özümü	ZPÇPÇAPM'in özümü	EGBZBAPM'in özüm Süreleri	ZPÇPÇAPM'in özüm Süreleri	Amaç Fonksiyonu Değeri
Proje 4,6,8,9,10	Yirmişerli	Yirmişerli	83 saniye	17 saniye	4526.66
Proje 4,6,8,9,10		Elliişerli		26 saniye	4518.11
Proje 4,6,8,9,10		Tüm model		65 saniye	4498.71
Proje 4,6,8,9,10	Elliişerli	Yirmişerli	10 saat 41 dakika	25 saniye	4696.06
Proje 4,6,8,9,10		Elliişerli		1 dakika	4685.31
Proje 4,6,8,9,10		Tüm model		1 dakika 51 saniye	4684.71
Proje 4,6,8,9,10	Tüm Model	Yirmişerli	2 saat	15 saniye	4109.11
Proje 4,6,8,9,10		Elliişerli		25 saniye	4086.66
Proje 4,6,8,9,10		Tüm model		52 saniye	4074.56

