

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PROJE PLANLAMADA KAYNAK DÜZELTME: ATIL MALİYET
MİNİMİZASYONU YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine DOĞUERİ

Anabilim Dalı: İŞLETME

Programı: KALİTE VE ÜRETİM YÖNETİMİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat Taha BİLİŞİK

KASIM 2023

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PROJE PLANLAMADA KAYNAK DÜZELTME: ATIL MALİYET
MİNİMİZASYONU YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine DOĞUERİ

(2000002483)

Anabilim Dalı: İŞLETME

Programı: KALİTE VE ÜRETİM YÖNETİMİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat Taha BİLİŞİK
Jüri Üyeleri: Dr. Öğr. Üyesi Andaç TOKSOY
Dr. Öğr. Üyesi Bilge TURP

KASIM 2023

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Kültür Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde hazırladığım tez çalışmasının bizzat tarafımdan ve kendi sözcüklerimle yazılmış orijinal bir çalışma olduğunu ve bu tezde;

1. Çeşitli yazarların çalışmalarından faydalandığımda bu çalışmaların ilgili bölümlerini doğru ve net biçimde göstererek yazarlara açık biçimde atıfta bulunduğumu;
2. Yazdığım metinlerin tamamı ya da sadece bir kısmı, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmışsa bunu da açıkça ifade ederek gösterdiğimi;
3. Alıntılanan başkalarına ait tüm verileri (tablo, grafik, şekil vb. de dahil olmak üzere) atıflarla belirttiğimi;
4. Başka yazarların kendi kelimeleriyle alıntıladığım metinlerini kaynak göstererek atıfta bulunduğum gibi, yine başka yazarlara ait olup fakat kendi sözcüklerimle ifade ettiğim hususları da istisnasız olarak kaynak göstererek belirttiğimi, beyan ve bu etik ilkeleri ihlal etmiş olmam halinde bütün sonuçlarına katlanacağımı kabul ederim.

Emine DOĞUERİ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda yardım, öneri, bilgi ve tecrübeleri ile desteğini esirgemedi beni yönlendiren kıymetli danışman hocam Sayın Doç.Dr. Murat Taha Bilişik'e; tersane şartlarında yoğun çalıştığım dönemde dahi olsam aynı anda yüksek lisansımı ve tez çalışmamı tamamlayabileceğime inandıran, ne zaman yardıma ihtiyacım olsa elinden gelenin en iyisini yapan, bilgisayar başındaki çalışmalarım sırasında sınırsız kahve ve motivasyon konuşmalarıyla sonsuz desteğini hissettiğim sevgili nişanlım Kpt. Tuna Günel'e ve Günel Ailesi'ne; varlığıyla hayatıma renk katan canım Ablam, Annem ve Babam'a teşekkür ederim.



Üniversite : İstanbul Kültür Üniversitesi
Enstitüsü : Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Dalı : İşletme
Programı : Kalite ve Üretim Yönetimi
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat Taha BİLİŞİK
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek lisans – Kasım 2023

ÖZET

PROJE PLANLAMADA KAYNAK DÜZELTME: ATIL MALİYET MİNİMİZASYONU YAKLAŞIMI

Emine Doğueri

Herhangi bir amacı ya da projeyi gerçekleştirmek üzere geniş bir organizasyon içerisinde yer alan yöneticiler veya yönetici rolünü oynayanlar en iyi planlamayı yapmak zorundadırlar. Planlamada karşımıza çıkan en büyük sorunlardan biri ise klasik iktisadın temel ilkesinin de dediği gibi, kaynakların kıt olmasıdır. Yöneticiler iş programlarında “kıt” kaynakları en iyi şekilde kullanan planlayıcılar. Dolayısıyla yöneticiler, en iyi kaynak planlaması yapmak için genel olarak proje ve üretim yönetiminde kabul görmüş olan kaynak optimizasyonunu kullanırlar. Kaynak optimizasyonunda asıl amaç aktivitelerin kaynak gereksinimi, başlangıç ve bitiş tarihleri belirlenmiş bir iş programında, proje süresince kaynakların uygunluklarına göre en verimli dağılımını gerçekleştirmektir. Bunun için iki optimizasyon tekniği vardır: Kaynak dengeleme (resource leveling) ve kaynak düzeltme (resource smoothing).

Proje yönetiminde keskin olmasa da kaynak düzeltme ile kaynak dengeleme arasında bir ayrım çizgisi çizilmeye çalışılmıştır. Kaynak dengeleme projenin kritik yolunun değişmesine ve proje süresinin uzamasına sebep olabilmektedir. Kaynak düzeltme çalışmalarında ise, kaynak dengelemenin tersine, projenin kritik yolu değişmediğinden tamamlanma tarihi gecikmez. Bu yöntemde aktiviteler sadece serbest bolluğu (free float) ve toplam bolluğu (total float) içinde geciktirilebilir. Bu yüzden kaynak düzeltmesinin tüm kaynakları optimize edemeyeceği problemi ortaya çıkar ancak kaynak profilinde oluşan derin vadi ve yüksek zirveler düzenlenmiş ve daha iyi kaynak kullanımı sağlanmış olur. Ayrıca kaynak düzeltme çalışmalarının kaynak dengeleme sonrasında da aynı projeye uygulanan bir çözüm metodu olarak da karşımıza çıktığı görülmektedir. Ancak mevcut literatüre bakıldığında Weist, Burgess & Killebrew ve Akpan tarafından denenilenler dışında kaynak düzeltme (resource smoothing) uygulamasına yönelik tanımlanmış bir yaklaşım bulmak oldukça zordur.

Bu çalışmada Akpan tarafından geliştirilen sezgisel yaklaşımla bu kez farklı maliyetli çoklu kaynak kullanan bir projede kaynak düzeltme uygulaması yapılmış olup, genel yaklaşım her zaman bolluğu olan faaliyetlerin daha sonraki bir tarihte başlamak üzere yüksek pik bölgelerinden maksimum atıl maliyetli bölgelere belirlenen kurallarla ve kaynak profilinin verimliliğini ölçmek için tanımlanmış ve kabul görmüş dört farklı indeks değerlerindeki iyileşmelerin takip edilerek taşınmasıdır. Bu yapılırken, ana amaç proje süresi ve aktivitelerin bütünlüğü ile ve kaynak miktarları değişmeden kaynak profilinde iyileşme sağlanmasıdır. Seçilen kaynak profili bulunanlar arasında minimum indeks değerlerine sahip olacaktır. Çalışma sonucunda, en yüksek atıl maliyete sahip kaynağa ait zirveyi seçmek, diğer faaliyetlerin kaynak grupları için daha kötü bir durum doğurabilmektedir, ancak yine de indeks değerleri erken başlangıç programına göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kaynak Düzeltme, Proje Planlama, Kritik Yol Yöntemi, Kaynak Yönetimi, Atıl Maliyet Minimizasyonu

Bilim Dalı Sayısal Kodu:

University : **Istanbul Kültür University**
Institute : **Institute of Graduate Studies**
Department : **Business Administration**
Programme : **Quality and Production Management**
Supervisor : **Assoc. Dr. Murat Taha BİLİŞİK**
Degree Awarded and Date : **MA – November 2023**

ABSTRACT

RESOURCE SMOOTHING IN PROJECT PLANNING: IDLE COST MINIMIZATION APPROACH

Emine Doğueri

Managers or who play the role of manager in a large organization in order to achieve any purpose or project have to make the best planning. One of the biggest problems we encounter in planning is that resources are scarce, as the basic principle of classical economics says. Managers are planners who make the best use of “scarce” resources in their work schedules. Therefore, managers use resource optimization, which is generally accepted in project and production management, to make the best resource planning. The main purpose of resource optimization is to realize the most efficient distribution of resources according to their suitability throughout the project, in a work program with determined resource requirements, start and end dates of the activities. There are two optimization techniques for this: Resource leveling and resource smoothing.

In project management, there is an inconspicuous tendency to separate resource leveling and resource smoothing. Resource leveling might cause the critical path of the project to change and the project duration to be extended. However, in resource smoothing, unlike resource leveling, the project duration and the critical path does not change. Because in this method, activities can be moved only in their free float and total float. Therefore, the problem arises as the method cannot optimize all resources, but deep valleys and high peaks in the resource profile is smoothed and better resource utilization is achieved. In addition, it is seen that resource smoothing works are also applied to the same project after resource leveling. However, in the available literature, it is quite difficult to find a defined approach to resource smoothing techniques except studies by Weist, Burgess & Killebrew, and Akpan.

In this study, the heuristic approach developed by Akpan has been applied this time on a project with a difference: multiple resources with different costs are considered. The general approach is continued in concept for resource smoothing as defined with the algorithm procedures in line with the moving activities from the high peak point to the minimum cost regions. In addition to in this study, improvements in the four index values defined to measure the efficiency of the resource profile were followed, and while doing this, the main purpose is to improve the resource profile without changing the project duration and the amount of resources. The final result will have been selected from the best resource profile that have minimum index values. Selecting the resource peak with the maximum idle cost may be worse situation for the resource groups of the other activities, but it still seems better compared to the early start schedule.

Key Words: Resource Smoothing, Project Planning, Critical Path Method, Resource Management, Idle Cost Minimization Approach

Science Code :

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	V
KISALTMALAR	VI
TABLO LİSTESİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
I. GİRİŞ	1
II. BİRİNCİ BÖLÜM: PLANLAMA, PROJE ve PROJE YÖNETİMİ	5
A. Plan ve Planlama.....	5
B. Proje'nin Genel Tanımı.....	6
C. Proje Yönetimi Kavramının Gelişimi	8
D. Proje Planlamasında Kullanılan Gantt, PERT ve Kritik Yol Metodu (CPM)..	12
1. Gantt Şeması	12
2. CPM - Ağ Şeması.....	13
3. CPM Temel Programlama Hesaplamaları.....	17
III. KAYNAK YÖNETİMİ ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	22
A. Önceki Çalışmalar	22
1. Burgess-Killebrew Buluşsal Yöntemi	25
2. Meta Sezgisel Yöntemler	25
B. Kaynak Dengeleme ve Kaynak Düzeltme (Resource Smoothing and Resource Leveling).....	28
C. Kaynak Düzeltme'de Maliyet Minimizasyonu	31
IV. KAYNAK DÜZELTME (RESOURCE SMOOTHING).....	32
A. Kaynak Kullanım Verimliliğinin Değerlendirme İndeksleri.....	33
1. Problemin Tarifi	35
2. Örnek CPM Serimi Karakteristiği.....	37
B. Çoklu Kaynak Profili İncelemesi.....	40
1. Kaynak Profili (A)	40
2. Kaynak Profili (B)	41
C. Metodoloji.....	42
D. Sezgisel Yaklaşım ve Yöntemin Ana İlkeleri (Algoritma Prosedürleri)	43
E. Maliyet Minimizasyonu Yaklaşımı.....	45
V. KAYNAK DÜZELTME: MALİYET MİNİMİZASYONU YAKLAŞIMI UYGULAMASI.....	47
A. Kaynak Maliyetleri	47
B. Aktivite Kaydırma Aşamaları	47
C. Kaynak Profili Değerlendirme.....	49
VI. SONUÇLAR	50
KAYNAKÇA.....	55

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliđi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BM	: Birleşmiş Milletler
s	: sayfa
GA	: Genetik Algoritma
KDP	: Kaynak Dengeleme Problemi
MMA	: Minimum Moment Algoritması
CPM	: Kritik Yol Metodu
ES	: Erken Başlama
EF	: Erken Bitiş
LS	: Geç Başlama
LF	: Geç Bitiş
PERT	: Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Önemli Ağ Terimleri	15
Tablo 2: Örnek Problem Seti	38
Tablo 3: Örnek CPM Serimi ve Kaynak Gereksinimleri	39
Tablo 4: Kaynak Profili A için indeks değerleri	40
Tablo 5: Kaynak Profili B için indeks değerleri	42
Tablo 6: Düzeltme Öncesi Toplam Kaynak Profili İndeksleri.....	43
Tablo 7: Kaynak Düzeltme Öncesi İndeks Değerleri	50
Tablo 8: Kaynakların atıl kalan maliyetlerinin karşılaştırılması.....	51
Tablo 9: Kaynak Düzeltme Aşamaları	51
Tablo 10: Kaynak Profili Düzeltme Adımları ve İndekslerin Değişimi	52
Tablo 11: Dönüştürülen İndeksler ve Birleştirilmiş Ağırlıklı Değerler	54



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Proje Sistemi	13
Şekil 2: Kaynak dengeleme ve kaynak düzeltme.....	30
Şekil 3: Kaynak dengeleme sonrası kaynak düzeltme	33
Şekil 4: Örnek Bir Projenin CPM Serimi (Erken Başlangıç).....	39
Şekil 5: Gantt Şeması - A kaynağı	40
Şekil 6: Kaynak Pofil Eğrisi - A	41
Şekil 7: Gantt Şeması - B kaynağı	41
Şekil 8: Kaynak Pofil Eğrisi - B.....	42
Şekil 9: Aktiviteler Gantt Şeması (maliyetlendirilmiş).....	43
Şekil 10: Projenin Toplu Kaynak Profili (Maliyet atanmış)	44
Şekil 11 Gantt Şeması - A kaynağı	49
Şekil 12: Kaynak Pofil Eğrisi - A	50
Şekil 13: Gantt Şeması - B kaynağı	50
Şekil 14: Kaynak Pofil Eğrisi - B.....	51
Şekil 15: Aktiviteler Gantt Şeması (maliyetlendirilmiş)	52
Şekil 16: Projenin Toplu Kaynak Profili (Maliyet atanmış)	53
Şekil 17: Mx Grafiği	59
Şekil 18: My Grafiği	60
Şekil 19: Mv Grafiği	60
Şekil 20: RR Grafiği	60
Şekil 21: Örnek CPM seriminin kaynak düzeltme sonrası durumu	61

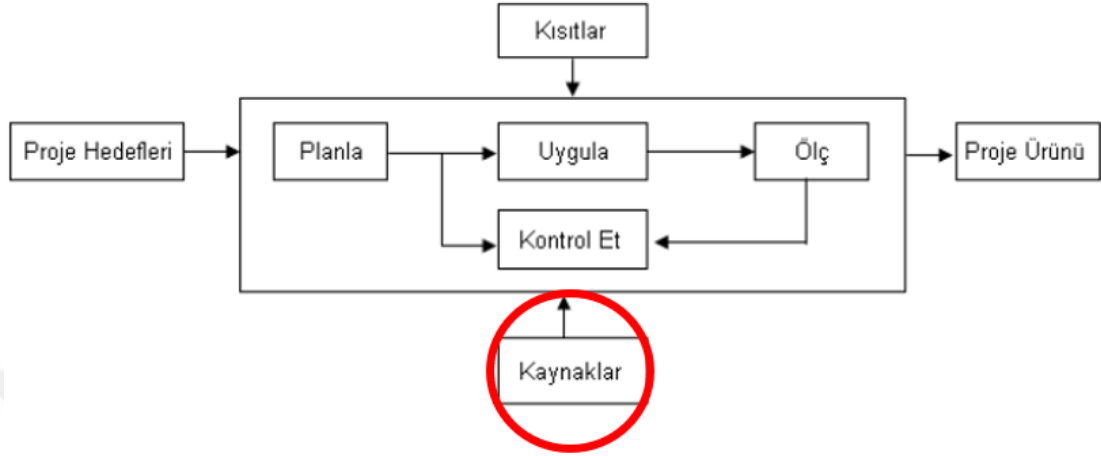
I. GİRİŞ

Herhangi bir amacı ya da projeyi gerçekleştirmek üzere geniş bir organizasyon içerisinde yer alan yöneticiler veya yönetici rolünü oynayanlar için kendilerine maddi ve insan gücü kaynaklarının verildiği bir “emanetçidir”. Yönetici bu kaynakları en iyi şekilde kullanarak verilen amaçları gerçekleştirecektir. İşte planlama bunun önemli bir aracıdır. Bunun için eğer “ne, ne zaman, nasıl, nerede, kim tarafından, neden, hangi maliyetle, hangi sürede, hangi kalitede” sorularıyla oluşturulan bir plan yoksa bu kaynakların ne için ve nasıl kullanılacağını belirlemek zor olduğu gibi yöneticinin bunları iyi kullanıp kullanmadığını da belirlemek ve değerlendirmek mümkün olmayacaktır. Çünkü gidilecek yol belli olmadığı için bütün yollar makbul olacaktır. Oysa klasik iktisadın temel ilkesinin de dediği, kaynakların kıt olmasıdır. Yönetici kıt kaynakları kullanan bir kişidir. O halde bu kaynakların en iyi şekilde kullanılması gerekir. Dolayısıyla yöneticilik görevi üstlenen bir kişi, planlama yapmak zorundadır (Koçel, 2020).

Bu bağlamda projelerde kaynakların yönetiminde, Kaynak Yönetimi Planı yapılması ve Kaynak Dengeleme Problemlerinin çözülmesi en önemli iki unsur olarak göze çarpmaktadır. Ancak geleceğe dönük tahminlerle bugünden kaynakları belli hedeflere tahsis etmek içerisinde büyük risk ve belirsizlik taşıyan bir karardır. Gelecekteki şartların ne olacağının bugünden bilinmemesi planlamayı bir çeşit “geleceği tahmin” işi haline getirmektedir.

Son yüzyılda proje yönetimini disiplinlerinin kullanımı göstermiştir ki, bu belirsizlik durumu bilimsel tahmin yöntemleri ve yaklaşımları ile çözülebilecek bir olgudur. Şunu da belirtmek gerekir ki, “tahmin” ile “planlama” çok yakından ilgili olsa da “tahmin” olayların gelecekte almaları en muhtemel şekil ve alternatifleri bulmak, olayların gidiş yönünü kestirmek ve muhtemelen “ne olacak” sorusuna cevap bulmakla ilgilidir. “Planlama” ise, olayların tahmin edilen bu şekli veya gelişme yönü ve en olası olay karşısında “ne yapılacak” sorusuna cevap vermekle ilgilidir (Koçel, 2020). Şekil.1’de bu çalışmada incelenecek olan kaynakların proje sistemindeki yeri ifade edilmektedir. Kaynaklar kısıtlar ile proje sisteminin en

önemli parçasıdır. Proje hedefleri ile başlayıp, proje ürünü haline gelen süreçte yapılan faaliyetlerin tümüne kaynaklar ve kısıtlar eşlik ederler. Ayrıca kaynaklar planlamadan, uygulamadan, kontrolden ve ölçmeden bağımsız değildir.



Şekil 1: Proje Sistemi

Proje hedefleri ile oluşan proje planları birtakım kısıtlara sahiptir. Bu kısıtların başında kaynaklar gelmektedir. Hatta denilebilir ki, kısıtlar ve kaynaklar birbirleriyle en yakından ilgili iki etkindir.

Çok az işletme, kaynakların maliyetini etkin bir şekilde yönetmeden bir iş ortamında rekabet gücünü koruyabilir. Uygulamadaki en yaygın programlama tekniklerinin (CPM ve PERT gibi) kaynakların ve proje süresinin sınırlandırılmadığı ideal durumlarda tek başına yeterli olduğu söylenebilir. Ancak projelerin birinci bölümde anlatılacak olan yapısı itibarıyla, bahsi geçen durum küçük ölçekli projeler için bile pratik olmadığından, gerçekte karşılaşılan sorunlar dikkate alınarak yine aynı yöntemlerle yapılan iş programlarının sonuçlarını değiştirmek için çeşitli teknikler üzerinde çalışılmıştır. Örneğin bir inşaat projesindeki faaliyetler için kaynaklar, gerçek yaşam dünyasında sınırlıdır. Bu nedenle, bir inşaat projesinde kaynakların israfını ve kıtlığını önlemek için inşaat proje yönetiminde kaynak dengeleme büyük önem taşır.

Ayrıca proje süresince kaynakların verimli kullanımı da hedeflenmektedir. Bu nedenle proje yönetiminde iş programlarında kaynak tahsisi (resource allocation), kaynak dengeleme (resource leveling) ve kaynak düzeltme (resource smoothing) tekniklerinin incelenmesi birçok araştırmacının konusu olmuştur. Pek çok araştırmacı

çeşitli iş programı teknikleri kullanarak kaynak tahsisi ve kaynak dengeleme problemlerinde optimum sonucuna varmanın yollarını aramışlardır.

Bu çalışmada da bir kaynak düzeltme (smoothing) yöntemi olarak literatürde Akpan (Akpan, 2000) tarafından denenen teknik yine literatürden alınan uygun bir proje serimine denenerek, Kim ve diğerlerinin (Kim, Kim, Jee, & Yoon, 2018) kaynak dengeleme tekniğinde kullandığı profil iyileme indekslerinin ölçümü ilave edilerek sezgisel yöntem ile kaynak düzeltme uygulamasına yer verilmiştir.

Başlangıç noktası iş programı olan kaynak düzeltme için birinci bölümde plan ve planlama, “proje” kavramı hakkında genel bilgilere, proje yönetimi kavramının gelişimine, proje planlamasında kullanılan Gantt, PERT ve kritik yol metodu (CPM) yöntemlerine değinilecektir. Günümüzde CPM hesaplamaları bilgisayarlarda aktivitelerin başlangıç ve bitiş tarihleri girilerek kolayca hesaplanabilmektedir. Ancak kaynak düzeltmenin temelinde erken başlama, geç bitiş tarihleri gibi kavramlarına sıklıkla başvurulacağı ve Heagney’in (Heagney, 2012) dediği gibi “çöp içeri, çöp dışarı” (garbage in, garbage out) hastalığına kapılmamak- *nasıl başlanırsa öyle devam edilir*- için projenin CPM hesaplamalarının doğru yapılması gerekmektedir. Bu nedenle bu bölümde bu konu ile alakalı detaylı bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde bir projenin zamanında ve planlanan maliyetle bitirilmesini mümkün kılan kaynak yönetimi ele alınacaktır. Kaynak yönetiminin, günümüzde projelerin karşılaştığı sorunların başında gelmesinin sebebi kaynakların “kısıtlar” ile birlikte karakterize olmuş yapısıdır. Bu nedenledir ki proje yöneticileri proje çizelgelemelerini yaparlarken, yalnızca çok iyi düşünülmüş projenin ardıl/önceki aktivite ve faaliyet sürelerine ait bilgilere değil, aynı zamanda ağıdaki her bir faaliyet için kaynak miktarlarına da (maliyet dahil) yer verirler. Ancak bu şekilde projedeki kaynak kısıtlamalarının etkileri görülür ve azaltılabilir.

Ayrıca proje süresince kullanılan kaynakların maliyetleri hesaplanabilir. Kaynak yönetimi projenin genel bir kavramıdır, kaynak düzeltme kavramı ise; iş programı yapılmış ve kaynak atamaları tamamlanmış bir projenin oluşturulan kaynak profilinde kaynak yoğunluklarının, proje süresi değiştirilmeden, kritik yol dışında kalan aktivitelerin olabildiğince zirve noktalardan dip noktalara kaydırılarak, azaltılmasıdır. Daha önce bahsedildiği gibi bu çalışmadaki farklılık kaynak düzeltme

prosedüründe kaynakların maliyetlerini baz alarak, literatürde en çok iyilemeye çalışılan kaynak profili indekslerinin ölçülmesi ile bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Bu nedenle üçüncü bölümde, bahsi geçen bir kaynak düzeltme yaklaşımı tanıtılarak, kaynak profili değerlendirme indekslerine yer verilecektir. Böylelikle yapılan çalışmaların bir önceki kaynak profili ile kıyaslaması yapılabilecektir. Ayrıca bu bölümde kaynak düzeltme ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde literatürden alınan test probleminin üzerinde denenen Akpan (Akpan, 2000) tarafından tanıtılan yaklaşımın sonuçları incelenecektir. Bu incelemeye kaynak profili indeksleri eklenmiştir. Ayrıca çalışma diğer çalışmalardan farklı olarak; farklı maliyetli kaynaklar üzerinde uygulanmıştır. Böylece metod farklı maliyetlere sahip kaynakları kullanan bir proje üzerinde denenmiştir.

Sonuç bölümünde uygulanan metodun avantajları, indeks değerleri üzerindeki değişiklikler kaynak profili üzerinde mukayese edilmiştir.

II. BİRİNCİ BÖLÜM: PLANLAMA, PROJE ve PROJE YÖNETİMİ

A. Plan ve Planlama

Planlama ve yönetim, projelerin bütçelenen olanaklar dahilinde ve beklenen kaliteli çıktılarla istenen hedeflere ulaşması için hayati süreçlerdir. Planlama ve yönetimin önemi genellikle uygulama sürecini etkileyen çevresel koşulların oldukça değişken olduğu inşaat projelerinde görülmektedir. İyi planlama ve yönetimin işlevi, özellikle bir inşaat projesini bütçelenmiş zaman ve maliyet imkanları dahilinde ve beklenen kalite sonuçlarıyla tamamlamak için süreci dinamik koşullara uyarlamaktır. İnşaat projeleri, başlangıç zamanı, bitiş zamanı ve projeyi tamamlamak için tüm görevlerin yerine getirildiği bir işleme süreci olan özgün çalışmalar olması bakımından diğer projelerden farklılık gösterir. Bir inşaat projesini gerçekleştirilen aktiviteler, başka bir inşaat projesini aktivitelerine benzer olabilir. Ancak yoğunlukla inşaat projelerini etkileyen koşullar aynı değildir ve bu nedenle her proje kendi proje planını gerektirir. (Yeniocak, 2013)

Her proje, iyi hazırlanmış bir planlamaya ve buna göre, bütçelenen süre, uygun maliyet ve beklenen kalite sonucu ile bitirilecek bir yönetime bağlıdır. Gecikmeler, kaynak limitlerinin aşılması, bütçelenen maliyetin artması, kalitenin düşmesi gibi sorunların çoğu etkin planlama ve yönetim eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle proje ve kaynak yönetiminde plan çok önemlidir (Yeniocak, 2013).

Plan en kısa tanımı ile *herhangi bir konuya yönelik alınan kararlar toplamı* olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım bireyler, aileler, yerel yönetimler, devlet yönetimleri, işletme ve işletme yöneticileri için geçerli olduğu gibi proje yönetiminde de geçerlidir. Bu tanımı genişletecek olursak; plan, kaynakların nasıl ve ne için kullanılacaklarının veya projenin gerçekleşmesi için ne kadar kaynağa ihtiyaç duyulacağını ve bunların nereden sağlanacağına yönelik kararların toplamıdır. Projenin yapımına ve geleceğine dönük konuların, dar boğazların tahmin ve kararlara bağlanma süreci ise “planlama süreci”ni ifade etmektedir. Bu süreç sonucunda ancak program, maliyet ve bütçe ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle planlama süreci teknik ve analitik yapısı nedeniyle uzmanlık isteyen bir çalışma alanı haline gelmiştir (Koçel, 2020).

Prof. Dr. Tamer Koçel planlamayı, “teknik” bir olay olmaktan çok “kültürel” bir olay olduğunu da vurgulamış, sadece teknik olarak plan yapmanın önemli olmadığını,

sürekli olarak ister bir bireyin kendi hayatındaki vereceği kararlarda, veyahut da bir projenin hayata geçirilmesi için “planlama bakış açısı”na sahip olunmasının ve “ne hedeflemiştik, nereye ulaştık, neden, gerekli önlemler nedir” sorularını soran bir bakış açısıyla bütünleşmiş bir anlayışın gerektiğini General D. Eisenhower’ın “*planlar hiçbir şeydir, fakat planlama her şeydir*” sözüyle tanımlamıştır.

Plan, planlama süreci sonucunda yapılacak olan bir tercih, planlama ise bugünden gelecek hakkında kısa ve uzun vadeli amaçlar ile bunları gerçekleştirmek üzere izlenecek olan yol haritasının oluşturulmasıdır. Bu harita oluşturulurken, “ne, ne zaman, nasıl, nerede, kim tarafından, neden, hangi maliyetle, hangi sürede, hangi kalitede” sorularına cevap verilir. Bu bağlamda plan sonuç, planlama ise süreçtir (Koçel, 2020).

B. Proje’nin Genel Tanımı

Proje, belirli spesifikasyonlara ve geçerli standartlara uygun yeni bir ürün veya hizmetin üretilmesi için gerçekleştirilen benzersiz bir çabadır. Bu çaba, sabit zaman, maliyet, insan kaynakları ve varlık limitleri gibi proje parametreleri ile tamamlanır. Bir başka şekilde tanımlanacak olursa, bir proje; ayrı bir başlangıcı, ayrı bir sonu ve ayrı bir teslimatı olan ve tüm bu süreçlerin çok iyi organize edilerek geliştirilen bir son üründür (Koçel, 2020).

Başka bir deyişle bir proje, belirli bir sırada gerçekleştirilmek zorunda olan ve birbirleriyle ilişkili faaliyetlerden meydana gelir. Projede belirli bir amaçlar bütünü geçerli kılınması için maliyet, plan, kalite parametreleri içerisinde tüm kaynak ve kısıtlar geçici bir organizasyon içerisinde bir arada bulunurlar (Koçel, 2020).

Proje belirli bir zaman dilimi içerisinde kısıtlı kaynaklarla tamamlanması gereken özgün faaliyetler bütünüdür. Aynı zamanda proje; bir hedef ya da amaca ulaşmak için gerçekleştirilmesi gereken taahhüt ya da girişimlerdir. Bu bağlamda proje; “özgün” ürün ya da hizmet üretmek için bir kereye mahsus girilen uğraşlar bütünüdür (Demir, Avunduk, & Güler, 2016). Bu nedenledir ki proje terimi tanımlamamız istenseydi aklımıza zaman, kaynaklar ya da kısıtlar, benzersiz faaliyetler dizimi, satın alma, karmaşıklık, proje yönetim organizasyonu ya da bütçe kelimeleri gelirdi (Knutson, 1991).

Hemen hemen tüm üretim modellerinde olduğu gibi proje tipi üretimde de tüm iş adımları müşterilerin beklentilerini karşılayacak biçimde dizayn edilir. Ancak

projenin kendine özgü özellikleri onu diğer üretim modellerinden farklılaştırmaktadır. Projelerdeki bu farklılıklar ve çok çeşitli iş kalemleriyle birlikte ardışık faaliyetler içeriyor olması beraberinde birçok riski de doğurmaktadır. Montaj hattında gerçekleşen seri üretimde verimliliğin yüksek olmasının sebebi aynı işin aynı işçiler tarafından sürekli yapılması ve bu tekrarlama durumunun yüksek derecede uzmanlaşmayı doğurmasıdır. Birçok farklı işçinin ve makinenin faaliyetleri bir montaj hattı üretim biçimi içerisinde en yüksek verimin alınabilmesi için dengelenebilir. (Demir, Avunduk, & Güler, 2016) Montaj hattının dengeleme yöntemlerinde iş yükü istasyonlara dağıtılmaktadır. Burada amaç belirli kısıtlar (ulaşım zamanı, iş elemanları ve bunların standart zamanları bölgeleme, öncelik) altında hat performansını ölçen uygun bir başarı ölçütünü en iyi duruma getirecek şekilde işlemleri is istasyonlarına atamaktır (Çelikçapa, 2015).

Proje tipi üretim sistemleri ise daha fazla belirsizlik içermesi sebebiyle daha düşük seviyede verimlilik gösterirler. Projedeki faaliyetlerin her yönüyle öngörülememesi sebebiyle proje içerisinde ihtiyaç duyulacak kaynakları tahmin etmek, diğer üretim tiplerinde faaliyet gösteren işletmelere nazaran daha da zor hale gelmektedir. Bunun yansırı proje için gerekli olacak zamanın belirlenmesinde de yine aynı zorluk mevcuttur.

Birçok proje zamanında tamamlanamaz, ancak bu bütün projelerin tahmin edilenden daha uzun süreceği anlamına gelmez. Rusya'nın Atom Bombası Projesi planlanan programdan daha önce tamamlanmıştır ve aynı zaman diliminde ABD'de U-2 Uçak projesi tahmin edilenin onda biri içerisinde tamamlanmıştır (Çelikçapa, 2015).

Ne var ki bu gibi erken tamamlanan projeler çok nadirdir. Projeler aslında faaliyetlerin bir arada toplanmasıdır ve bağlamda bir faaliyetin gecikmesi onu takip eden faaliyetlerin gecikmesine neden olmaktadır. Eğer bir faaliyet planlanandan önce gidiyorsa proje çalışanları tahmin edilen tamamlanma zamanına ulaşmak için işleri ağırdan alma eğilimine girmektedir. Devam eden faaliyetler de böylelikle erken başlayamayacaktır, çünkü devam eden faaliyetler için gerekli olan işgücü ve materyaller tahmin edilen başlangıç zamanına kadar hazır olmayacaktır. Bu ve diğer sebeplerden ötürü, projelerin geç bitmesi, erken bitmesinden daha yaygın bir durumdur.

Projelerin verimli bir şekilde tamamlanması ve müşteri ihtiyaçlarının karşılanması için “Proje Yönetimi” kavramı ortaya çıkmıştır. Proje yönetimi, belirli ve benzersiz bir organizasyon ortamı bağlamında hedef odaklı çalışmanın etkin yönetimi için bir dizi ilke, yöntem, araç ve tekniktir (Knutson, 1991).

C. Proje Yönetimi Kavramının Gelişimi

Proje ve Yapım Yönetimi, projelerin maliyet, program, zaman ve kalite açısından ilgilendiren tüm süreçlerin yönetimini tanımlamaktadır. Tarih öncesi yapılardan; Akdeniz, Mezopotamya, Antik Mısır toplumlarının bundan bin yıllar öncesinde tasarlayıp hayata geçirdikleri devasa tapınaklardan, saraylardan ve sosyal binalardan günümüz dünyasında insanların kalabalıklar halinde içinde yaşamasına olanak sunan geniş metropollere kadar mimari ve inşaat alanındaki gelişmeler ile karakterize olmuş yapım yönetiminin kullanımı medeniyetin en önemli simgesi ve olmazsa olmazlarından biri olmuş, (Lethaby W. R., 1912) ve belki de bu sebepten Eddystone Fenerini inşa eden John Smeaton, yaptığı işi “medeniyet” ile ilişkilendirerek kendi kendine “Medeniyet Mühendisi” anlamına gelen “Civil Engineer” yani inşaat mühendisi diyen ilk kişi olarak tarihe geçmiştir (Archive, 2005).

Tarih öncesi çağlarda gördüğümüz yontma taş yapılardan biri olarak görülen, Türkiye'nin Şanlıurfa il merkezinin 18 km uzağında yer alan, dünyanın bilinen en eski kült yapılar topluluğu olarak bilinen Göbeklitepe'nin nasıl yapıldığı konusu arkeologlarca üzerinde durulan önemli bir konudur. Çünkü avcı-toplayıcı topluluklarca bu yapıların inşa edilmesinin son derece karmaşık organizasyonun gerektirmektedir ve bunun nasıl sağlanabildiği hala merak konusudur (Scham, 2008).

Ancak nasıl ve hangi yöntemlerle yapıldığına dair merak konuları bir yana; Göbeklitepe, Stonhenge, Giza Piramitleri, Athena Tapınağı, Kolezyum, Taç Mahal gibi, çağlar öncesinden günümüze kadar gerçekleşmiş olan tüm yapıların uygulamalarında yapım yönetimi standartları ve disiplinleri kullanılmadan inşa edilmesinin imkânsız olduğu kuşku götürmez bir gerçektir. Öyle ki Yunanistan'da 1875 yılında bulunan bir yazılı belgeye göre, M.Ö. 5. yüzyılda, bir yapı inşa edilmeden önce, yapının türüne göre o konuda uzman olan kişilerce oluşturulan bir komisyonun kurulduğu belirtilmektedir. Dahası yapılacak olan yapının türü belirlenip, buna göre komisyon kurulduktan sonra yapıya ait maliyet tahminlerinin gerçekleştirildiği, bulunan yaklaşık maliyet üzerinden kamu veya yerel kaynaklar üzerinden yapının inşaat giderlerinin karşılanması için bütçe organizasyonunun

yapıldığı, komisyonun bulunan tahmini maliyet üzerinden işin bir sözleşme ile işin yapımını üstlenen bir müteahhite; işin zamanında teslim edilememesi ya da hatalı tesliminde hangi cezai şartlara uymak zorunda olduğu belirtilerek verildiği, ve yapım işinin garanti altına alınması sağlandığı aktarılmaktadır. Eski Yunan döneminde yapım işlerinden sorumlu olarak mimarların benimsendiği ve yapımcı olarak anıldığı ve tüm yapım uygulama sürecini yönettiği bilinmektedir (Yılmaz & Dikmen, 2012).

Eski Yunan'dan günümüze kadar proje yönetiminin zaman, maliyet ve kaynak bileşenlerinin tahmini, uygulaması ve kontrol süreçleri farklı şekilleriyle karşımıza çıkmışsa da köleliğin 19. yüzyıl sonrasında kaldırıldığı, sermaye-özel şirket düzeninin hâkim kılındığı, liberal ekonomilere geçildiği ve hatta neo-liberalleşme süreçleri ile karakterize olmuş son yüzyılda yaşanan modernite ile birlikte düşünüldüğünde, bu kavramın uygulanışının, uygulama alanlarının ve bugünkü anlamının değişmediği söylenebilir.

Proje yönetimde amaç, bir hedef doğrultusunda çalışırken daha iyi organize olunmasını sağlamaktır. Proje yönetimi kavramı, proje için geçerli olduğunu düşündüğünüz zaman, kaynaklar ya da kısıtlar, benzersiz faaliyetler dizimi, satın alma, karmaşıklık, proje yönetim organizasyonu ya da bütçe ile ilgili kelimeleri ilişkilendiren disiplindir. Bu disiplin, planlama, izleme, takip etme; insanların, zamanın, bütçenin ve projedeki işlerin kalitesini yönetmek için uzmanlık geliştirmektedir.

Özetle proje yönetimi iki amacı yerine getirir:

1. Planı iletmek için teknik ve iş belgelerini ve ardından, planın fiili performansa göre karşılaştırmasını kolaylaştıran durumu sağlar ve
2. İnsanların ve projelerinin daha iyi yönetilmesini kolaylaştırmak için yönetim becerilerinin gelişimini destekler.

Proje yönetimi, proaktif bir yönetim tarzıdır. Müzakere teknikleri sayesinde iyi iletişim ve analitik beceriler bu yaklaşımın ayrılmaz parçalarıdır. Bir diğer önemli bileşen, bu hedeflere göre performansın değerlendirilmesidir. Bu yönetim tarzının merkezinde, proje çalışmasına yüksek kalite standartlarının uygulanması yer alır. Proje yönetimi, proje yapbozunun birçok karmaşık parçasını bir araya getirmenin bir yoludur (Knutson, 1991).

Başka bir deyişle proje yönetimi, sınırlı kaynakları kullanarak faaliyetlerin verimli ve etkili bir şekilde koordinasyonu ve entegrasyonu sürecidir. Proje yönetimi, kaynakları ilgili aktivite kalemlerine tahsis etmekten (resource allocation) ve bunları tüm proje boyunca birleştirmekten oluşur. Kaynak yönetimi de, proje yönetiminin içsel bir unsurudur; kaynak yönetimi, projenin zamanında ve maliyetle tamamlanmasını ve kalitenin önceden tanımlandığı gibi olmasını sağlar. Bu, müteahhitler gibi proje bazlı şirketler için daha da gereklidir. Aslında, proje planlama problemlerinden özellikle projenin öngörülen proje süresini arttırmadan en verimli kaynak tüketimini elde etmeleri gerekliliği yöneticilerin uğraştıkları en önemli konulardan biridir. Ancak kaynakların kıt olması nedeniyle proje faaliyetlerinde kaynak kullanımı programda çakışmalara ve kapasitenin aşılmasına yol açmaktadır (Ponz-Tienda, Salcedo-Bernal, Pellicer, & Benlloch-Marco, 2017).

Proje programlama problemleri, diğerlerinin yanı sıra sadece kısıtlı kaynakları değil, aynı zamanda kaynak dengeleme problemlerini de içerir. Bu iki tür problem, kaynak tüketimini iki farklı şekilde ele alır: ilkinde bir kısıtlama olarak görülür, ikincisinde ise problem onu olabildiğince verimli hale getirmektir. Bu iki yaklaşım benzer görünse de kavramsal olarak farklıdır. Her ne kadar bu iki grup, yaklaşımlar arasındaki farklardan ve ticari yazılımlarda kullanılan sezgisel yöntemlerin getirdiği ciddi sınırlamalardan ayrı olsalar da, her ikisi de araştırmacılar tarafından geniş çapta incelenmiş ve uygulayıcılar tarafından da denenmiştir. Bu iki problem, deterministik olmayan polinom zamanlı zor (NP-zor) problemler olarak tanımlanır. İlk yaklaşım, Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi olarak bilinen normal bir problemdir; amacı, kaynak kullanılabilirliği kısıtlamalarını aşmadan tamamlama süresini azaltmaktır. Kaynak Dengeleme Problemi (KDP) olarak bilinen ikincisi, düzenli olmayan bir problemdir; amacı, projenin öngörülen tamamlama süresini arttırmadan en verimli kaynak tüketimini elde etmektir. İki problem, çok amaçlı bir optimizasyon problemi olarak birleştirilebilir, ancak her zaman ana hedef birincil ve (genellikle tamamlama süresi) diğer hedef ise (genellikle verimli kaynak tüketimi) ikincildir (Ponz-Tienda, Salcedo-Bernal, Pellicer, & Benlloch-Marco, 2017).

Bu çalışmada amaç kaynak kullanılabilirliğini artırmak ve proje süresini değişmemesi kısıtına bağlı olarak sezgisel yöntemle kaynak seviyelerinin düzeltilmesidir. Bu yapılırken ise kaynakların maliyetleri, dolayısıyla projenin bütçesi ve nakit akışındaki iyileşmeler dikkate alınacaktır.

Proje bütçesinin, proje yönetim planının da oluşturulabilmesi için proje yöneticisi veya proje yönetim organizasyonunda yer alan görevli ve gerekli uzmanlığa sahip personel tarafından ile müşteri arasında yapılacak olan müzakere sonucunda belirlenen teknik gerekliliklere, nihai olarak projenin tamamlanması ya da bitiş gününe, diğer bir deyişle son teslim gününe göre analiz edilmesi gerekmektedir. Şekil 2’de proje yönetimi bileşenleri gösterilmektedir. (Knutson, 1991)



Şekil 2: Proje Yönetimi Bileşenleri

Proje gereklilikleri tüm proje hedeflerini kapsamaktadır. Teslimatların özellikleri, tamamlanmadaki hedef maliyetler, hedef tamamlanma tarihi ve tamamlanmadaki hedef kaynak kullanımıdır. İlk üç özellik olmadan proje hedefleri eksiktir; sonuncusu ise isteğe bağlıdır. Tamamlanmadaki hedef maliyet ve hedef tamamlanma tarihi, planın hazırlanmasından sonra müzakere edilebilir veya planlama sürecinin kısıtlamaları olarak proje yöneticisine sağlanabilir.

Teknik Hedefler projenin müşteri tarafından kabul edilmesiyle ilgili proje hedeflerini ele alan alt kümesini ifade etmektedir. Birçok kişi kapsam (scope) terimini teknik hedeflere atıfta bulunmak için kullansa da teknik hedefler iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar; projede geliştirilmekte olan ürün veya hizmetin özelliklerini tanımlayan şartnameler ve proje veya hizmetin karşılaması beklenen resmi, kurumsal ve organizasyonel normları sıralayan standartlara uygunluktur. Gerçekte planlama safhasında proje hakkındaki mevcut bilgi yetersizliğinden dolayı oluşan boşlukların doldurulması için gerçekleştirilen varsayımları da teknik hedeflerin içerisine dahil edebilmeliyiz (Knutson, 1991). Örneğin kaynakların planlama aşamasında varsayıldığı verimle tüketilemeyeceği, atıl durumda kalan kaynak miktarının bile

proje bütçesi üzerinde negatif etkiler yaratacağı koşulların iyileştirilmesi teknik hedeflerin içerisine dahil edilebilmelidir.

Bu bağlamda proje yönetimi ve proje yönetimi bileşenleri ile beraber proje planlaması sırasında gerçekleşebilecek tüm varsayımları içerisine dahil edebilen, kesin sonuç olmasa da optimum sonuca ulaşabilecek çalışmaları gerektirmektedir. Bu nedenle araştırmacılar çalışmalarının çoğunda proje planlamasında yaygın olarak kullanılan Gantt, PERT ve kritik yol metodu tekniklerinin işlevselliğinin bahsi geçen hedefleri kapsayacak şekilde geliştirilecek yöntemler denemektedir.

D. Proje Planlamasında Kullanılan Gantt, PERT ve Kritik Yol Metodu (CPM)

1. Gantt Şeması

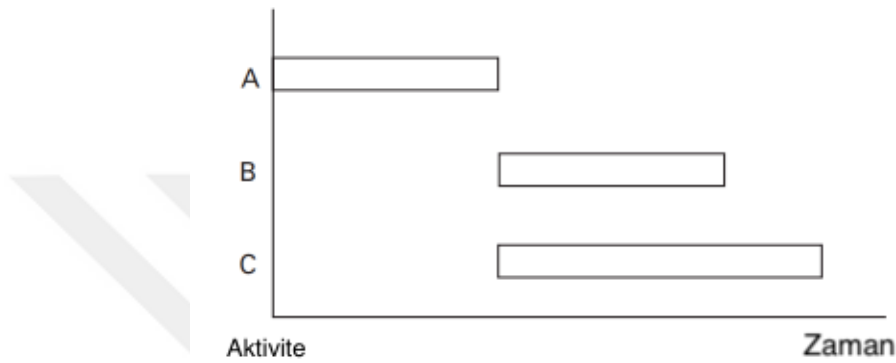
1917 yılında Hanry L. Gantt, iş programı problemlerini çözebilmek için bu kendi adıyla anılan Gantt Diyagramını geliştirmiştir. Geliştirdiği bu araç, faaliyetleri zaman ölçeğinde çubuk grafik şeklinde gösteren grafik tabanlı bir araçtır. Gantt diyagramının en ayırt edici özelliği kolay uygulanabilir oluşudur. 1920'lerde bu gelişme, radikal bir oluşum ve dünya çağında öneme sahip bir yeniliktir. Gantt diyagramı ilk olarak 1931 yılında inşaatı başlayan Hoover Barajının çizelgelemesi ve izlenmesinde kullanılmış ve bunu 1956 yılında yapımı başlayan Eisenhower otoyol ağı izlemiştir. Bu diyagram güçlü bir analitik yönetim aracı olduğunu kanıtlamış ve yıllar geçmesine rağmen herhangi bir değişikliğe uğramamış ve halen projelerin çizelgelenmesi ve süreçlerin izlenmesinde güçlü analitik bir araç olarak kullanılmaktadır. Sadece 1990'lı yıllarda aktiviteler arasındaki ilişkilerin tanımlanması için diyagram üzerine ağ eklemeleri yapılmıştır (Demir, Avunduk, & Güler, 2016).

Bir proje ile ilgili yapılan planın gösterimini en iyi şekilde Gantt diyagramı ile sağlanabilmekte olup, en önemli proje yönetim aracıdır. Gantt Diyagramı, küçük projelerde az sayıda bulunan faaliyetlerin birbirleri ile olan ilişkilerinin planlanması ve programlanması için kullanılan geleneksel yönetim biçimlerinden birisidir.

Gantt Diyagramı faaliyetlerin birbirleri arasındaki ilişkileri zaman temelinde şematik olarak gösterilmesine olanak sağlayan çubuk grafiğidir. Proje faaliyetleri yukarıdan aşağı listelenmekte ve zaman yani süre de yatay olarak grafik üzerinde

gösterilmektedir. Diyagram üzerindeki her bir çubuk yatay olarak faaliyetin başlangıç ve bitiş noktalarını ifade eder. Çubukların uzunluğu faaliyetlerin süreleri ile doğru orantılıdır. Yatay düzlemde ifade edilen zaman değişkeni saat, gün, hafta ya da ay olabilir. Faaliyetler için yapılacak zaman tahminleri ardından Gantt diyagramı oluşturulmaktadır.

Şekil 3’de örnek Gantt şeması gösterimi verilmektedir.



Şekil 3: Örnek Gantt şeması

2. CPM - Ağ Şeması

1950’li yıllardan beri kullanılan Kritik Yol Yöntemi (CPM) proje planlamanın temelini oluşturmaktadır. Bu yöntem ilk olarak 1950’li yıllarda çıkmış ancak 1959 yılında sadeleştirilerek daha kullanılabilir hale getirilmiştir. Amaç daha önceleri küçük endüstriyel planlamalar olsa da günümüzde CPM - kritik yol metodu tüm sektörlerde iş programı yapılabilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Öyle ki teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar ortamındaki iş programı ve takibi için hazırlanan paket programların tamamının ana temasını CPM oluşturmaktadır (Balbir, 2002).

Tüm faaliyetlere atanan sürelerle uygun bir ağ çizildikten sonra, ağdaki en uzun yolun nerede olduğunu belirlemek ve hedef tamamlanma tarihini karşılayıp karşılamayacağını görmek gerekir. Projedeki en uzun yol, minimum proje süresini belirlediğinden, bu yol üzerinde planlanandan daha uzun süren herhangi bir faaliyet, bitiş tarihinin buna göre kaymasına neden olur, bu nedenle bu yol **kritik yol** olarak adlandırılır (Heagney, 2012) (Balbir, 2002).

CPM, proje planlaması için en iyi bilinen teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. CPM metodu ile proje planı hazırlanırken başta iki hedefle ilgilenilmektedir:

- (1) mümkün olan en kısa sürede tamamlanacak şekilde projeyi planlamak ve
- (2) proje yürütülürken meydana gelebilecek bir gecikmenin projenin genel bitiş tarihini veya geciktiğinde kendisinden daha sonraki faaliyetlerin başlangıç tarihlerini etkilemesi muhtemel olan faaliyetleri belirlemektir.

Günümüzde CPM hesaplamaları bilgisayarlarda aktivitelerin başlangıç ve bitiş tarihleri girilerek kolayca hesaplanabilmektedir. Ancak kaynak düzeltmenin temelinde erken başlama, geç bitiş tarihleri gibi kavramlarına sıklıkla başvurulacağı için Heagney'in dediği gibi - algoritma adımlarına hangi adımlarla başlanırsa öyle devam edileceği- için projenin CPM hesaplamalarının doğru yapılması gerekmektedir ve bu nedenle bu bölümde konu ile alakalı verilen detaylı bilgilerin kaynak düzeltme için önemli olduğu tüm araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır.

CPM, bir dizi faaliyetten oluşan projeler için kullanılır. Faaliyet, belirli bir süreye ve projenin diğer faaliyetleriyle öncelik ilişkisine sahip belirli bir görevdir. Faaliyetlerden bazıları, diğer faaliyetlerin başlamadan önce bitmesini gerektiriyorsa, proje karmaşık bir faaliyetler dizisi haline gelir. CPM, bir projenin faaliyetlerini ve olaylarını bir ağ olarak modeller.

Faaliyetler, ağ üzerindeki düğümler olarak tasvir edilir ve faaliyetlerin başlangıcını veya bitişini gösteren olaylar, düğümler arasındaki yaylar veya bağlantılar olarak tasvir edilir.

Aşağıda daha sonra açıklanacak olan bilgileri gösteren ve aktivitelere atanan kutular, Şekil 4'de belirtildiği gibi dört çeyreğe bölünmüştür.

- (1) aktivite adı,
- (2) en erken başlama tarihi,
- (3) en geç başlama tarihi,
- (4) toplam bolluk.

CPM ağ şemasının daha iyi anlaşılmasını sağlayan bu terimler bir sonraki bölümde özel ağ terimleri tablosunda daha detaylı açıklanmıştır.

a. Önemli Ağ Terimleri Tanımları

Proje planlamada kullanılan özel ağ terimleri aşağıdaki Tablo 1’de açıklanmıştır.

Tablo 1: Önemli Ağ Terimleri

Aktivite	Bir etkinlik her zaman zaman tüketir ve ayrıca kaynakları da tüketebilir. Örnek olarak evrak işleri, işçilikler, müzakereler, makine işlemleri ve satın alınan parça tedarigi veya ekipman alımı gibi etkinlikler verilebilir.
Kritik Aktivite	Kritik bir faaliyet veya olay, herhangi bir erteleme imkânı (bolluğu olmayan) olmaksızın, belirli bir zaman içerisinde gerçekleştirilmesi gereken etkinliktir.
Kritik Yol	Kritik yol, bir ağ çalışmasının tamamlanması için gereken ve üzerindeki aktivitelerin tümünün kritik olduğu en uzun yoldur ve proje çalışmasının en erken tamamlanacağı tarihi belirler.
Olaylar-Düğüm	Faaliyetlerin başlangıç ve bitiş noktaları olay olarak bilinir. Bir olay, zamanın belirli bir noktasıdır. Olaylar genellikle grafiksel olarak bir daire ile gösterilir ve olaylara isimlendirme yapılır.(ör. sözcükler, sayılar, kodlar).
Kilometre taşı	Kilometre taşları, bir projede özel öneme sahip bir noktayı temsil eden olaylardır. Genellikle işin önemli bir aşamasının tamamlanmasıdır. Proje gözden geçirmeleri genellikle bu dönüm noktalarında-kilometre taşlarında yapılır.
Ağ	Ağlara ok diyagramları denir. Faaliyetlerin ilişkilerini gösteren bir proje planının grafiksel temsilini sağlarlar.

b. Ağ Kuralları

Ağ başlangıç ve bitiş zamanlarını hesaplamak için tüm ağlara yalnızca iki kural uygulanır. Bunlar aşağıda kural 1 ve 2 olarak listelenmiştir.

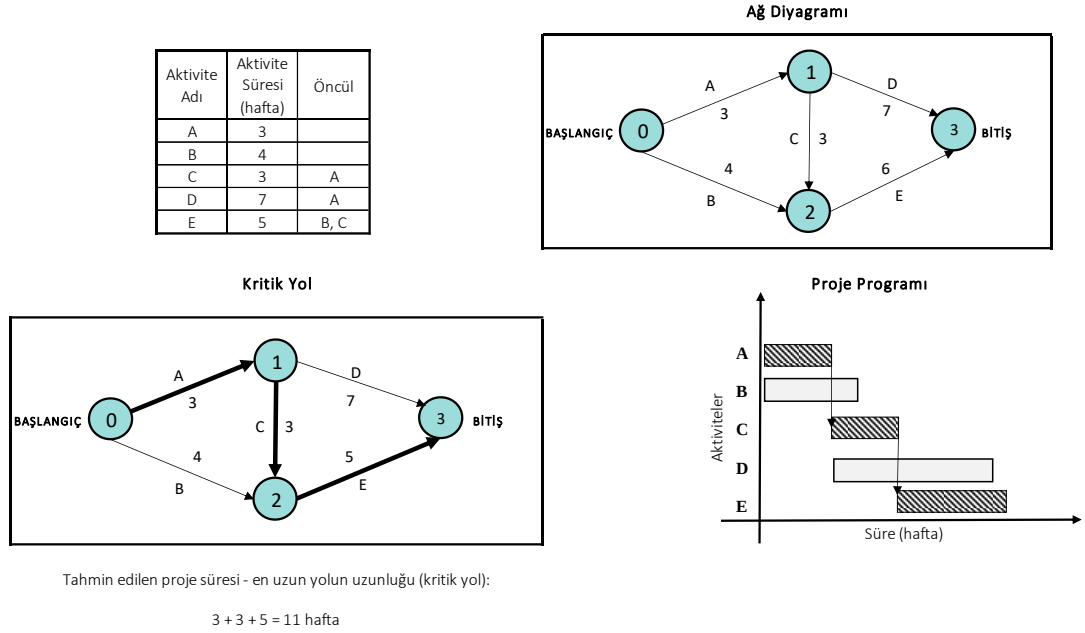
Kural 1: Bir görev başlamadan önce, ondan önceki tüm görevler tamamlanmalıdır.

Kural 2: Oklar aktivitelerin önceliği göstermektedir.

Bu kutucukların tamamlanması için ileri geçiş, her etkinliğin gerçekleştirilebileceği en erken tarihi hesaplamak için gerçekleştirilir. Geriye geçiş, projenin bitiş tarihini geciktirmeden her olayın gerçekleştirilebileceği en son tarihi hesaplamak için kullanılır.

En erken tarih ile en geç tarih arasındaki farka “bolluk” denir. Sıfır bolluğa sahip herhangi bir olay, bu olayın gerçekleştirilmesindeki herhangi bir gecikmenin,

projenin bir bütün olarak tamamlanma tarihini geciktireceği anlamında kritiktir. Her ağda bu kritik olayları birleştiren her zaman en az bir yol bulunmaktadır(Haddad ve ark., 2010). Aşağıda örnek bir kritik yol hesaplaması yapılmaktadır.



Şekil 4: Kritik Yol Metodu (CPM) serimi örneği

Bu yol kritik yol olarak bilinir. İleriye ve geriye doğru geçişler, sırasıyla her bir faaliyetin başlatılabileceği en erken ve en geç tarihleri de gösterecektir. Bir aktivitenin bolluğu varsa, o faaliyet hareket ettirilebilmektedir. Bir faaliyetin bolluk miktarı, o aktivitenin projenin bitiş tarihini etkilemeden başlamasının veya tamamlanmasının ne kadar gecikebileceğini gösterir.

CPM aşağıdaki faydaları sunar:

- (1) projenin grafiksel bir görünümünü sağlar,
- (2) projeyi tamamlamak için gereken süreyi tahmin eder, ve
- (3) programın sürdürülmesi için hangi faaliyetlerin kritik olduğunu ve hangilerinin olmadığını gösterir.

İş kırımlı yapısından, projedeki tüm faaliyetlerin bir listesi yapılabilir. Bu liste, sonraki adımlarda sıra ve süre bilgisi eklemek için temel olarak kullanılabilir.

Bazı faaliyetler diğerlerinin tamamlanmasına bağlıdır. Her faaliyetin öncüllerinin bir listesi, CPM -ağdaki en uzun süreli yol- ağ diyagramını oluşturmak için gereklidir.

Kritik yolun önemi, üzerinden geçen faaliyetlerin proje toplam süresi değişmeden geciktirilememesidir. Tüm proje üzerindeki etkisi nedeniyle, kritik yol analizi, proje planlamasının önemli bir yönüdür.

Bu tekniğin nasıl çalıştığını daha iyi anlamak ve CPM'nin sağlayabileceği grafiksel görünümü göstermek için basit bir proje için CPM serimi örneği Şekil 4'de sunulmuş olup aktivite adı, aktivite süresi ve öncül bilgileri verilmiştir (Haddad ve ark., 2010).

3. CPM Temel Programlama Hesaplamaları

Şekil 5’de gösterilen her bir düğümün ES, LS, EF, LF ve DU gösterimi vardır. Bu kısaltmaların anlamı aşağıdaki gibidir;

ES = Erken Başlangıç

LS = Geç Başlangıç

EF = Erken Bitiş

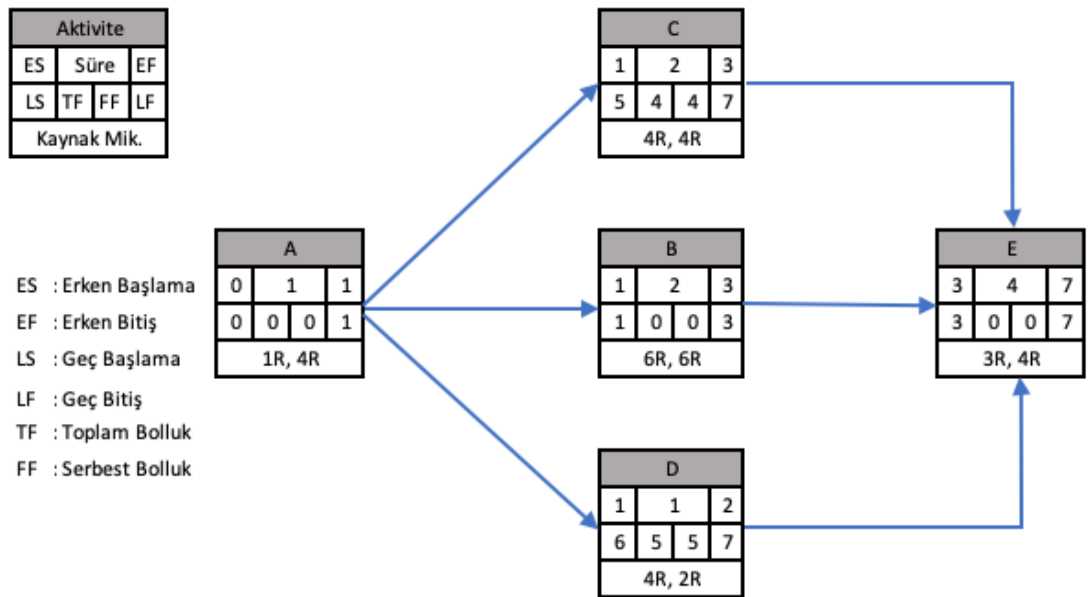
LF = Geç Bitiş

DU = Süre (aktivitenin)

TF = Toplam Bolluk

SF = Serbest Bolluk

Yine bu gösterimde düğüm noktalarında kaynak miktarları da belirtilmiştir.



Şekil 5: Örnek ağ şeması ve kutu gösterimi

Aktivitelerin erken başlama, erken bitiş süreleri ileri geçiş hesaplamaları ile, geç başlama ve geç bitiş süreleri ise geri geçiş hesaplamaları ile bulunmaktadır. Şekil 5’de ileri geçiş ve geri geçiş hesaplamaları ile ES, EF, LS ve LF süreleri hesaplanmış düğüm noktaları verilmiştir. Ayrıca burada aktivitelerin toplam ve serbest bollukları da hesaplanmıştır.

a. İleri Geçiş Hesaplamaları

Olayların Erken Başlangıç, Erken Bitiş hesaplamaları sıralı şekilde ileri geçişler ile yapılır. Önceki görevler için **en son** Erken Bitişin sonraki görev için Erken Başlangıç olduğu kabul edilir. Yani, o aktiviteye kadarki en uzun yol sonraki görevin ne kadar erken başlayabileceğini belirler. Bu kuralı izleyerek, Şekil 5’de gösterildiği gibi her görev için En Erken Başlangıç zamanlarını doldurulmuştur. Burada, tüm işlemler tarif edildiği gibi yapıldığında projenin tamamlanmasının toplam 7 gün süreceğini göstermiştir. Bu işlemle tüm faaliyetlerin En Erken Bitiş zamanlarını belirlemek için ileri geçiş hesaplamaları yapılmıştır. Bilgisayar programları da tam olarak aynı hesaplamaları yapmaktadır. E düğüm noktasının en erken başlangıç zamanı kendisinden önceki aktivitelerin en uzun tamamlanma süresi olan 3 gün bulunmuştur.

Kural olarak; iki veya daha fazla aktivite başka bir aktiviteden önce geldiğinde, o aktivitenin başlayabileceği en erken zaman, kendisinden önceki aktivitelerin sürelerinin en uzun olanıdır.

Bitiş veya nihai olay için belirlenen süre, projenin çalışma süresindeki en erken bitişidir. Programdaki hafta sonları, tatiller ve diğer molalar hesaba katıldığında, bitiş tarihi, çalışma süresinin en erken bitişinden önemli ölçüde daha sonra olabilir. Bilgisayar programlarında iş programı yapılırken bu koşullar göz önüne alınabilmektedir.

Eğer faaliyetin sadece bir tane öncül faaliyeti bulunuyorsa, bu faaliyetin ES zamanı öncül faaliyetinin EF zamanına eşit olacaktır. Eğer faaliyetin birden fazla öncül faaliyeti bulunuyorsa, bu sefer faaliyetin ES zamanı öncül faaliyetleri içerisindeki en büyük EF zamanına eşit olacaktır. Buradaki mantık; faaliyetin başlamasından önce tüm öncül faaliyetlerin bitmesi gerekliliğidir.

$$EF = ES + \text{Faaliyet Süresi}$$

b. Geriye Geçişli Hesaplamalar

Ağıdaki her aktivite için en geç başlangıç ve en geç bitiş zamanlarını hesaplamak için oklar üzerinden geriye doğru bir geçiş yapılmaktadır. Geriye doğru geçiş hesaplaması projedeki en son faaliyetten başlanılarak yapılmaktadır. Her bir faaliyet için ilk önce LF değeri hesaplanmakta ve takiben LS değeri belirlenmektedir. Genellikle bir projenin mümkün olan en erken tamamlanmasından daha geç bitmesi sürenin uzatılması anlamına geldiğinden ve verimsiz olacağından istenmemektedir. Ayrıca proje süresinin kısaltılması isteniyorsa da, bu geri geçiş hesaplamalarında uygulanmamalıdır. Bir projenin hesaplanan erken bitiş tarihinden daha önce tamamlanması isteniliyorsa, ağı yeniden çizilmesi veya bazı faaliyetleri kısaltılması gerekmektedir (örneğin, kritik faaliyetlerin kaynak sayısını artırarak veya daha verimli çalışılması varsayılarak).

En Geç Başlama Zamanı: Faaliyet başlamadan önce faaliyet ile ilgili bütün öncül faaliyetlerin tamamlanması gerekliliği kuralı burada da geçerlidir. Eğer faaliyet sadece bir faaliyetin öncülü ise, faaliyetin LF zamanı kendisinden sonraki faaliyetin LS zamanına eşit olacaktır. Eğer bir faaliyet birden fazla faaliyetin öncülü ise, faaliyetin LF zamanı kendisini takip eden faaliyetler arasından en küçük LS zamanına eşit olacaktır. (Kobu, 2017)

$$LS = LF - \text{Faaliyet Süresi}$$

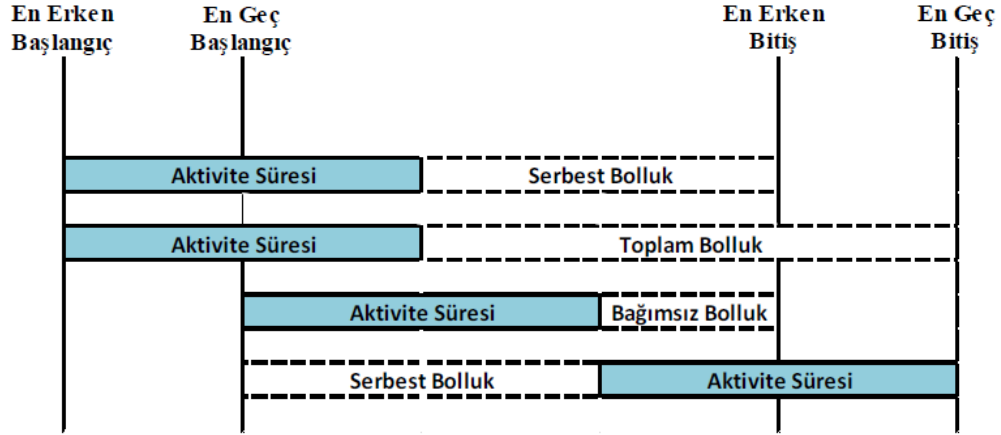
Projenin son aktivitesinin en erken bitiş tarihi, en geç bitiş tarihine eşit kabul edilir ve bu aktiviteden okların tersi yönünde geri geçiş hesaplamaları yapılır. Geriye geçiş hesaplamaları yaparken, bir önceki görev için en son bitiş, sonraki görevler için her zaman geç başlama sürelerinin en küçüğü olacaktır (Demir, Avunduk, & Güler, 2016).

c. Bolluk Kavramları

Tüm faaliyetler için en erken ve en geç zamanlar hesaplandıktan sonra, faaliyetler için *bolluk (serbest)* sürelerin hesaplanması kolaydır. **Bolluk**, projenin tamamında bir gecikme oluşturmada bir faaliyetin gecikebileceği süreyi ifade etmektedir. Sıfır bolluğu olan faaliyet, diğer bir ifadeyle boşluk süresi 0 olan faaliyet kritik faaliyetdir ve kritik yol üzerinde bulunmaktadır (Demir, Avunduk, & Güler, 2016).

Toplam Bolluk (Total Float): Proje Bitiş Tarihini geciktirmeden bir aktivitenin ertelenebileceği süredir.

Serbest Bolluk (Free Float): Bir aktivitenin kendinden sonraki aktivitenin bitiş tarihini geciktirmeden ertelenebilecek süredir



Şekil 6: Bolluk Çeşitleri

Bolluk çeşitleri ile ilgili görsel Şekil 6’da verilmiştir. (Kaplan, 2012)

En basit haliyle genellikle, belirtilen aktivite sürelerinin hesaplamaları ilk başta, sınırsız kaynakların mevcut olduğu ve kaynak verimliliğinin %100 olduğu varsayımı ile yapılır. Bu, en iyimser durumdaki süreleri vermektedir. Ancak etkinlik süreleri, işe uygulanan kaynak veriminin bir fonksiyonudur ve işi yapma zamanı geldiğinde bu verim gerçekten mevcut değilse, görev için planlanan tarihler gerçekleşemez hale gelir. **Bu nedenle, ağ hesaplamaları nihai olarak kaynak sınırlamaları göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.** Bunu söylemenin başka bir yolu da, ne tür bir programın gerçekten ulaşılabilir olduğunu belirlemek için kaynak tahsisinin gerekli olduğudur.

CPM problemlerinde faaliyet sürelerinin bilindiği ve sabit olduğu kabul edilmiştir. Ancak bu varsayım ve kabuller gerçek hayatta nadiren geçerlidir. Çeşitli faktörlerin etkisi ile sabit varsayılan sürelerden sapmalar olması muhtemeldir. CPM ile hesaplanan değerlerin uygulama sırasında farklılık göstermesi kritik yolun da değişmesine neden olur. Böyle bir durumda kesin denilebilecek optimal bir çözümden bahsedilememektedir. Ayrıca proje planlama problemlerini gerçeğe uygun

biçimde çözebilmek için PERT (belirsizlik halinde izlenecek yöntem - program evaluation and review technique) diyagramları kullanılır.

CPM ve PERT arasında diyagram çizimi, kritik süre ve faaliyetlerin hesaplanması açısından bir fark yoktur. Ancak PERT'te tüm veri ve bulgular olası (probabilistik) değerlendirilmektedir. Kaynak düzeltme problemine ilişkin sezgisel yöntem ile çözüm çalışmalarında PERT yönteminin kullanılmasına gerek duyulmamıştır (Kobu, 2017).



III. KAYNAK YÖNETİMİ ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

A. Önceki Çalışmalar

Kaynak yönetimi, bir projenin zamanında ve maliyetle tamamlanmasını ve kalitesinin daha önce tanımlandığı gibi olmasını sağlar; bununla birlikte, kaynaklar kıttır ve bunların proje faaliyetlerinde kullanılması programda çakışmalara yol açar. Kaynak düzeltme ve ya dengeleme problemleri, kaynak tüketiminin mümkün olduğunca verimli hale getirilmesini dikkate alır. Heagney, kaynakların dikkate alınmadığı bir programda faaliyet sürelerinin neredeyse hiçbir zaman tahmin edildiği gibi olmayacağını belirtmiştir (Heagney, 2012).

Gerçek hayattaki tipik bir inşaat projesinin planlanmasında yaşanan kaynak kullanılabilirliğindeki kısıtlamalar proje yöneticisinin projeyi başlangıçta planladığı gibi yürütme ve teslim etmesini zorlaştıran bir durumdur. Bu nedenledir ki proje planlayıcıları, proje çizelgelemelerini yaparlarken, yalnızca çok iyi düşünülmüş projenin ardıl/önceki aktivite ve faaliyet sürelerine ait bilgilere değil, aynı zamanda ağdaki her bir faaliyet için kaynak atamalarına da (maliyet dahil) yer verirler. Böylece projedeki kaynak kısıtlamalarının etkileri görülür ve azaltılabilir. Ayrıca projenin maliyetine ilişkin durumlar muhasebeleştirilebilir.

Proje yönetim araçlarının geliştirilmeye başlanması ve bu konudaki çalışmaların yönetim süreçlerinin uygulamada iyi sonuçlar getirmesiyle birlikte “kaynak dengeleme ve kaynak düzeltme” konusu ön plana çıkmıştır. Verimliliğin en doğru şekilde sağlanabilmesi için üretim öncesinde kaynak planlamasının doğru yapılması en önemli koşuldur.

Üretim öncesinde planlanacak olan kaynakları beş gruba ayrılabilir:

- 1- Hammadde
- 2- İşgücü
- 3- Makine
- 4- Teçhizat
- 5- Finansman

Bu kaynakların etkin ve gerçekçi tüketiminin sağlanması bir önceki bölümde anlatılan proje planlama ve zamanlama faaliyetleri kullanılarak mümkün olmaktadır.

Proje planlaması sadece faaliyetlerin başlangıç ve bitiş tarihlerinin saptanması değil; bu faaliyetlerin gerçekleşme aşamasında oluşan maliyetlerin, kaynak kullanımının, güvenilir ve daha esnek kullanım imkânı sağlayan sonuçlar üreten Kurumsal Kaynak Planlama (Enterprise Resource Planning) adı verilen bilgi sistemlerini kullanmaktadır.

Örnek olarak bir inşaat projesini ele aldığımızda, bu projede belirli bir süre içinde hedefe ulaşabilmek için kaynakları kullanan bir dizi faaliyet için verimli bir kaynak yönetimi o projenin başarısı için ön koşuldur. Kaynak yönetiminin iki ana tekniği, *sınırlı* kaynak kullanılabilirliğine odaklanan *kaynak kısıtlı çizelgeleme* (RCS) ve proje tamamlama *süresinin sınırlı* olması koşulu ile serbest bir kaynak kullanım modeline odaklanan kaynak dengeleme ya da düzeltme çalışmalarıdır. Bu kısıtlar ve serbestlikler ile kendi hedeflerini gerçekleştiren programları başarılı bir şekilde oluşturabilseler de, bu yöntemin uygulandığının literatürde aşağıdaki şekillerde farklılıkları olduğu görülmektedir.

Önceki çalışmalarda iş programlarındaki kaynak yönetimi çalışmalarında birtakım yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler genel olarak üç kategoriye ayrılabilir:

(1) analitik yöntemler,

(2) sezgisel yöntemler ve

(3) meta-sezgisel yöntemler.

Analitik yöntemlerde, çözüm tekrarlı olarak veya sonlu sayıda adımda (örneğin, doğrusal programlama, dal ve sınır algoritmaları gibi) optimuma yakınsamaya çalışmaktadır. Bu yöntemler, küçük ölçekli problemlerde optimum çözümü bulmak için yararlı olabilmektedir fakat optimal çözümü bulmak için çok fazla zaman gerektirdikleri için büyük ölçekli problemlerde verimsiz olabilirler. Sezgisel yöntemler (örneğin, pratik kurallar kullanmak – bu çalışmada denenilen gibi), küçük ölçekli problemlerde çözüm bulabilirken bu çalışmalar da büyük projelerde verimsiz olabilmektedir. Bu nedenle bahsi geçen yöntemlerin hiçbirisi optimal bir çözümü garanti etmemektedir.

Bu çalışmadaki gibi kullanılan sezgisel yöntemler ise genellikle bir optimizasyon problemi için geliştirilmiş basit yöntemlerdir. Temelde bu yöntemleri adım adım inşa ederek iyi bir çözüm oluşturmak veya problem parametrelerini değiştirerek de birkaç

deneme yaparak mevcut bir çözümü geliştirmek için kullanılan problem çözme stratejileridir.

Önceki çalışmaların genelinde kaynak dengeleme ve kaynak düzeltme uygulamaları KDP olarak tanımlanmış, terminolojik fark gözetilmemiştir.

Burgess ve Killebrew (1962), KDP'yi çözmek için ilk sezgisel yöntemlerden birini önerdi. Bu yöntem, kritik olmayan faaliyetlerin başlangıç tarihlerini, en iyi sonucu bulana kadar birkaç döngü için bazı sıralı adımlarda değiştirir.

Metasezgisel algoritmalar ise problem türünden bağımsız yöntemlerdir ve çeşitli optimizasyon problemlerine uygulanabilir. Daha karmaşık yöntemlerdir ancak genellikle daha zor sorunları çözmede daha güçlüdürler.

Sezgisel yöntemden daha karmaşık problemlere uygulanan ve arama uzayı daha geniş olan metasezgisel yöntemlere örnek olarak genetik algoritma, parçacık sürüsü optimizasyonu, karınca kolonisi, benzetilmiş tavlama vb. verilebilir.

Burgess ve Killebrew'in (1962) önerdiği sezgisel yöntem, öncelik tabanlı ve basit bir kaydırma yöntemidir. Burgess ve Killebrew'den (1962) sonra, çalışmaların çoğu önceliğe dayalı kaydırma tekniklerine de odaklanmıştır (Galbreath 1965, Woodworth ve Willie 1975, Wiest ve Levy 1977, Harris 1978, Martinez ve Ioannou 1993). Bu çalışmalar arasında, kaynak dengeleme ya da kaynak düzeltme uygulamaları için çok projeli çok kaynaklı bir durum da incelenmiştir (Woodworth ve Willie, 1975). Harris (1990), kaynak profili momentini en aza indirerek KDP'yi çözmek için Paketleme Yöntemi (PACK) adlı yeni bir yöntem tanıtmıştır.

Martinez ve Ioannou (1993) ve Hiyassat (2000) da kaynak profilinin moment minimizasyonunu değiştirerek PACK yöntemini çalışmışlardır. Hiyassat (2000), kaydırılacak faaliyetlerin seçimi için faaliyet kaynak gereksinimlerini ve serbest bollukları dikkate almıştır. Hiyassat'ta (2001) minimum kaynak momenti, yöntemde yapılan bir değişiklik ile çok kaynaklı projeler için iyi sonuçlar göstermiştir. Cristodoulou ve ark. (2010), aktivitelerin esnetilmesine veya sıkıştırılmasına izin vererek minimum moment ve PACK yöntemlerini geliştirmiştir. Faaliyetlerin kaynak kullanım oranlarının daha iyi kaynak kullanım profilleri elde etmek için ayarlanabileceğini belirtirken aynı zamanda maksimum günlük kaynak talebini de göz önünde bulundurarak KDP'yi çözmeye çalışmışlardır.

1. Burgess-Killebrew Sezgisel Yöntemi

Burgess-Killebrew sezgisel yöntemi (BK) (Burgess & Killebrew, 1962), sabit süreli projelerin kaynaklarını düzeltmek için bilinen bir sezgisel yöntemdir. En iyi kaynak profili elde edebilmek için temeli bolluğu olan aktivitelerin kaydırılmasına dayanan bu basit sezgisel yöntem bir çok araştırmacı tarafından uyarlanmıştır.

Elsik (1970) değiştirilmiş BK sezgisel yöntemini kullanarak kaynak düzeltme (resource smoothing) probleminin çözümü üzerine çalışmıştır (Elsik, 1970). Elsik, değiştirdiği yeni sezgisel yöntemde proje süresini CPM ile bulunan süreden başlayarak süre üst sınırına ulaşılana kadar yinelemeli olarak artırmaktadır. Her yinelemede, her aktivitenin geç başlama süresi bir zaman birimi artırılır ve elde edilen aktivitelere BK sezgisel yöntemi uygulamış tüm yinelemelerden en iyi çözüme götüren süre daha sonra rapor edilmiştir. Algoritmada aktivitelerde rastgele belirlenen önceliklere göre kaydırma denemeleri yapılarak kaynak profili hesaplamaları yapılmıştır.

Leachman'ın çalışmasında gemi bakım planlamalarının proje ağlarında çoklu kaynak iş yüklerinin düzeltilmesi için sezgisel yöntem kullanılmıştır. Çalışmasında projeler, kritik yol analizi etkinlik ağı kullanılarak modellenir. Faaliyet kaynak gereksinimleri verildiği gibi alınır ve faaliyet yükünün sabit olduğu varsayılır. Faaliyet süresi değişkenleri, daha sonra faaliyet başına kaynak talep oranlarını belirleyecek şekilde tanımlanır. Doğrusal olmayan programlama prosedürü, proje son tarihlerini karşılamaya bağlı olarak kaynak zirvesini en aza indirmek için aktivite sürelerine (ve sonuç olarak aktivite kaynak talep oranlarını) atanır. Leachman'ın çalışmasında kaynak düzeltmesine ilişkin bir büyük ölçekli gemi projesi uygulama örneği açıklanmıştır (Leachman, 1981).

2. Meta Sezgisel Yöntemler

Analitik ve sezgisel yöntemler, karmaşık proje ağlarına sahip problemlerde başarısız olabilmektedir. Literatürde bu tip çok aktiviteli ve karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için metasezgisel yöntemler (örneğin, genetik algoritmalar, tabu arama, benzetilmiş tavlama) kullanılmıştır.

Kaynak dengeleme problemi (KDP) konusundaki önemli ve öne çıkan çalışmaların sahibi Rieck ve Zimmermann(2015) araştırmalarında problemin çözümü için kesin

yöntemleri incelemektedir ve karma tamsayıli lineer modeller için kapsamlı bir hesaplama çalışması sağlamaktadır.

Metasezgisel yöntemlerin uygulanmasıyla başarılı sonuçların üretildiği bu çalışmalardan birçoğunda genetik algoritmaları KDP'nin çözümünde kullanıldığı görülmektedir.

Sen Leu vd. (2000) çalışmasına göre yapısal kaynak dengeleme problemlerini çözerken geleneksel analitik ve sezgisel yaklaşımlar yetersiz (inefficient) ve esnek(inflexible) değildir. Geleneksel inşaat kaynak dengeleme algoritmalarının sakıncalarının üstesinden gelmek için bir hesaplama optimizasyonu tekniği olan genetik algoritmalar (GA) kullanılmıştır. Önerilen algoritma, birden fazla inşaat kaynaklarının optimal veya optimale yakın kombinasyonunu ve kaynak düzeyini belirleme amacına bağlı faaliyetlerin başlangıç ve bitiş tarihlerini etkili bir şekilde sağlayabilmektedir. Ayrıca, inşaat kaynaklarının dengelemesi için bir karar destek sisteminin (KDS) prototipi geliştirilmiştir.

Mutlu (2010) tarafında yapılan tez çalışmasında ise, Kaynak Dengeleme Problemi (KDP), kaynak çizelgelerindeki istenmeyen dalgalanmaların azaltılması amaçlamaktadır. Bu çalışmada kaynak dengeleme problemi için en optimal çözümü bulmayı amaçlayan bir dal ve sınır algoritması geliştirilmiştir. Çalışmada ek olarak küçük ölçekli kaynak dengeleme problemlerinin çeşitli ölçütler için optimal çözümleri sunularak gelecekte geliştirilecek sezgisel yöntemlerin performanslarının değerlendirilmesi amacıyla bir örnek problem seti oluşturulmuştur. Yakın zamanda önerilmiş olan “atıl kaynak günü” kaynak dengeleme ölçütü için pek çok problemin en optimal çözümleri literatürde ilk defa bulunmuştur. (Mutlu, 2010)

Kaynak Dengeleme Problemi (Resource Levelling Problem) ile ilgili çalışmalar proje yönetimi içerisinde en verimli kaynak tüketiminin sağlanmasını amaçlamakta olup, aynı zamanda projenin öngörülen süresini çok fazla artırmadan kaynak dalgalanmalarını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Kaynak dalgalanmalarının olduğu bir proje verimsiz ve maliyetlidir. Bu nedenlerdir ki literatürde bu konu ile alakalı araştırmalar bu sorunun üstesinden gelebilecek etkili bir yol bulmaya çalışmışlardır.

Araştırmacılar KDP'nin çözümünü çoklu kaynaklarla geliştirmek için “Improved and Adaptive Harmony Search” (IAHS); türkçesi Geliştirilmiş ve Uyumlu Uyum Arama

(GUUA) adını verdikleri yeni bir algoritma sunmuşlardır. KDP için önerilen GUUA algoritması, inşaat proje yöneticileri için gerçekçi, hızlı ve iyi çözümler sağlamak amacıyla kullanıcı dostu ve pratik bilgisayar uygulamaları geliştirmek için bir başlangıç noktası olmuştur (Ponz-Tienda vd., 2017).

Markou vd. (2017) ye göre proje planlama, proje yönetiminde en önemli süreçlerden biridir. Proje faaliyetlerinin yürütülmesi için gerekli olan kaynaklar sınırlı kullanılabilirliğe sahiptirler. (İnsan gücü, makineler, malzemeler ve diğer ekipmanlar) Proje kaynakları, bir projenin tamamlanma zamanını aşabilir veya azaltabilir.

Kaynakların doğru tahsis edilmesinin proje yöneticilerinin değerlendirilmesinde sorunlar yaratmaktadır. Bunun nedeni, kaynak kullanımındaki artış ve azalışların, personelin işe alınması, işten çıkarılması ve eğitilmesi nedeniyle de oluşan maliyet aşımından sorumlu olmasıdır. Ayrıca, büyük işçi artışlarının dalgalanmalara sebep olmasının maliyeti arttırdığı göz önüne alındığında, mevcut kaynakların etkin yönetimi ile ilgili sorunlar ortaya çıkabilir.

Bir projenin yaşam döngüsü veya inşaat dönemi boyunca kaynak tahsisi ve bu konuları ele almak için kaynak dengelemesi; kaynakların düzgün bir şekilde kullanılması için kaynakların verimli bir şekilde yönetilmesini sağlayan prosedürler ve çerçeveler sunar. Kaynak Dengeleme Prosedürleri zaman ve maliyet kısıtlamaları altında kaynakların aşırı yüklenmesiyle oluşan “yığılma” problemlerini çözmek için gecikmesi gereken faaliyetleri tespit etmeye çalışır.

Çalışmacılar proje yöneticilerinin faaliyetleri öncelik sırasına göre değerlendirebilmeleri için takip edebilecekleri çeşitli kuralların varlığı göz önüne alındığında, *Multi-Attribute Karar Modelleri* kullanarak proje kaynakları çizelgeleme ve seviye belirleme modelinin uygulanmasını ve proje planlanmasında nasıl bir performans sergilediklerini incelemişlerdir. Bu modeller adlandırdığında, Ağırlıklı Toplam Metodu, Analitik Hiyerarşi Süreci, PROMETHEE, TOPSIS, Sıralı Ağırlıklı Ortalama ve Hibrid Ağırlıklı Ortalama modelleridir. Bu modeller bu çalışmada kullanılan kaydırma sırasında karar verme modlarına eşlenebilir.

B. Kaynak Dengeleme ve Kaynak Düzeltme (Resource Smoothing and Resource Leveling)

İnşaat projelerinin planlanması ve kontrolü her zaman karmaşık bir görevdir: karmaşık inşaat projelerinin verimli yönetimi için, yönetimin diğer tüm planlama fonksiyonlarının temelini oluşturan bir çizelge analizi hazırlaması gerekir, çünkü tüm faaliyetlerin, olayların ve ispatların bir zaman yönü vardır. Kaynaklar, herhangi bir proje yönetiminin verimli ve dengeli sürdürülmesi için hayati önem taşır. Her bir proje için, gereken kaynak miktarının tahmin edilen zaman ve bütçe içinde tamamlanması önemlidir. Proje süresi önemli bir kısıt olduğu için, başta tahmin edilen proje süresi uzatılmadan kaynakların yönetilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, planlayıcılar genellikle aynı anda iki (veya) daha fazla faaliyet için gerekli olan belirli bir kaynağı kullanma sorunuyla karşılaşır ki bu "Kaynak Dengeleme" ile çözülmektedir (Selvam & Tadeipalli, 2019).

Kaynak dengeleme ve kaynak düzeltme probleminin çözümüne yönelik çeşitli analitik ve sezgisel yöntemler geliştirilmiştir (Hegazy, 1999) (Kim, Kim, Jee, & Yoon, 2018). Analitik yöntemler, minimum proje süresi açısından optimum çözüme ulaşmaya meyillidir. Ancak ne yazık ki bu yaklaşım gerçekteki inşaat projeleri için pratik değildir (Kim, Kim, Jee, & Yoon, 2018).

Kaynak dengeleme proje süresi içerisinde kaynak gereksinimlerinin gösterildiği kaynak profilinin düzenlenmesi tekniğidir (Ponz-Tienda, Salcedo-Bernal, Pellicer, & Benlloch-Marco, 2017). Kaynak dengeleme genelde proje süresini geciktirmeden, kritik yol dışında kalan, başka bir deyişle bolluğu olan aktivitelerin yeniden planlanması ile gerçekleştirilmektedir (Selvam & Tadeipalli, 2019). Kaynak dengeleme süreci, kaynak ihtiyacındaki dalgalanmalar nedeniyle oluşan dahil etme ve çıkarma maliyetlerinin minimize edilmesi için oldukça önemlidir.

Bu çalışmanın aksine bazı kaynak dengeleme çözümlerinde, sabit bir proje süresi ve sınırsız kaynak koşulu ile proje ömrü boyunca kaynak kullanımı dengelenmeye çalışılır. Kaynak dengelemenin zaman kısıtı ile kaynak kısıtsız oluşunun doğası gereği deterministik olmayan polinom-zamanlı zor (NP-zor) bir problem olduğundan; analitik olarak çözüm elde etmek zordur. Bu nedenle, optimal veya optimale yakın çözümler elde etmek için sayısal stratejiler veya sezgisel yöntemlerin dışında meta-sezgisel yöntemlerin kullanımı son yıllarda ciddi şekilde ele alınmıştır. Kaynak dengeleme problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılan meta sezgisel

yaklaşımlar; Genetik Algoritma (GA), karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) ve Parçacık sürüsü optimizasyonudur (PSO). Bu yaklaşımlara ek olarak, RLP'nin çözümü için hibrit yaklaşımlar da denenmektedir (Selvam & Tadepalli, 2019).

Şüphesiz ki sadece inşaat projelerinin değil; tüm işletmelerin de karşılaştığı en büyük sorun, kaynakların optimal kullanımıdır. Tek başına kaynak optimizasyonu için olmasa da toplu üretim sistemlerinde de verimliliğin artırılması için doğrusal programlama ve diğer matematiksel teknikler gibi pek çok çözüm tekniği önerilmiş, hatta "Kurumsal Kaynak Planlama" adı verilen Endüstri 4.0 gelişimine bağlı bilişim sistemlerine geçiş gerçekleşmiştir.

Birçok yazar bazen kaynak yumuşatma (resource smoothing) ile kaynak dengeleme (resource levelling) arasında bir ayrım çizgisi çizmeye çalışmıştır. Bazıları kaynak düzleştirmeyi kısıtlanmamış kaynak durumlarına atfederken, diğerleri kaynak dengelemeyi sınırlı kaynak durumlarında uygular. Kaynak dengelemenin amacının, herhangi bir zamanda kaynak ihtiyacını mevcut kaynak kapasitesinde veya altında sınırlamak olduğu öne sürülmektedir. Bu iddiayı haklı çıkarmak için, ağ çizelgelemedeki sınırlı kaynak sorununun amacı açıkça anlaşılmalıdır. Sınırlı olmasına rağmen kaynaklar yeterli miktardaysa, projenin kritik yol hesaplaması belirlenerek sınırsız bir kaynak durumuna ilişkin kaynak profili elde edilir. Öte yandan, kaynak durumu gerçekten sınırlıysa, asıl amaç bu maksimal problemin minimum yolunu bulmak olduğu için dengeleme sorunu ortaya çıkmaz.

Lockyer (1984) şunları belirtir: kaynak dengeleme, gerekli kaynakların kayda değer ölçüde sabit olmasını sağlamak için bir ağ içindeki değişkenlerin kullanılmasıdır; kaynak düzeltme ise, faaliyetlerin kaynak gereksinimlerindeki dalgalanmaları en aza indirecek şekilde toplam bolluk sınırları dahilinde programlanması olarak tanımlanır. İki tanıma da oldukları gibi bakıldığında, amaçlar aynıdır. Kaynak yumuşatma ve kaynak seviyelendirme bir ve aynı şeydir, bu bir terminoloji meselesidir (Akpan, 2000).

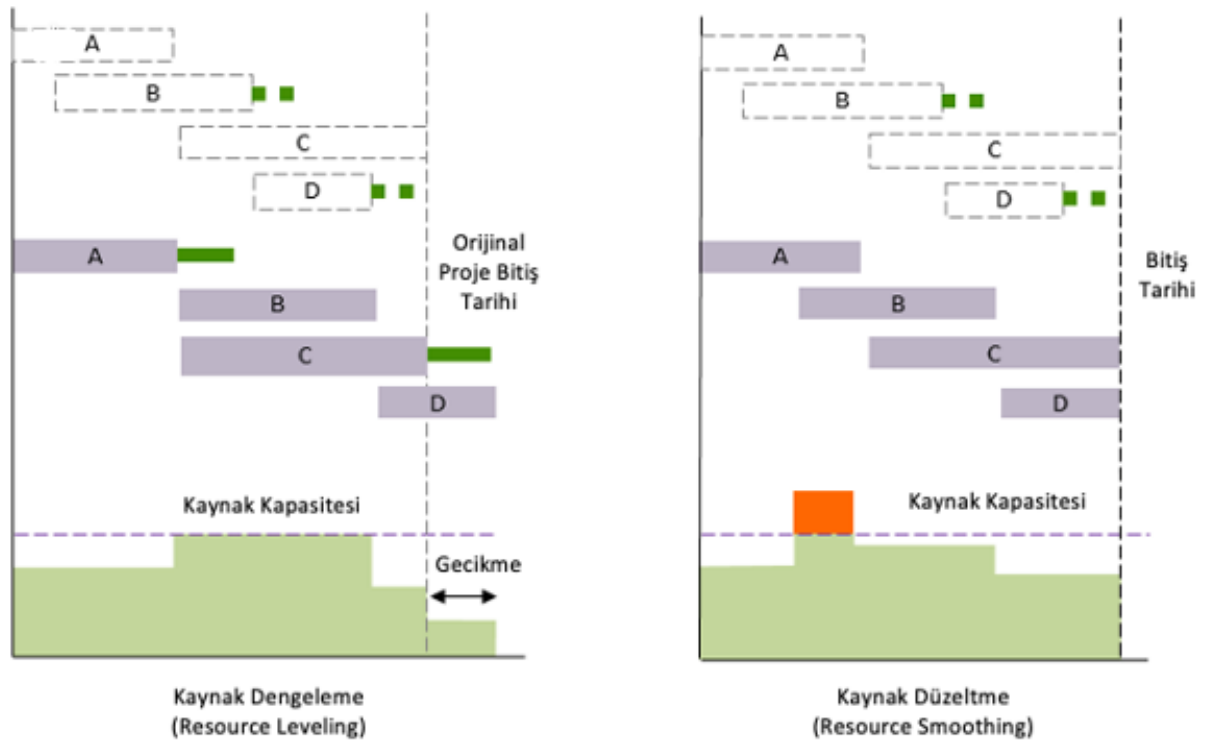
David L. Cleland 2002'de kapsamlı bir şekilde proje yönetimi konusunda çalışmış tanınmış bir proje yönetimi uzmanı olarak KDP'yi araştırmıştır ve "Proje Yönetimi: Stratejik Tasarım ve Uygulama" adlı kitabında bu konu hakkında yazmıştır. Çalışmaları, proje yönetiminde kaynak yumuşatmanın öneminin anlaşılmasının temeli atmıştır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan sonra kaynak dengeleme ile yumuşatma/düzeltilme arasındaki fark şu şekilde ayrılabilir:

Kaynak dengeleme (resource leveling) – Bu, mevcut kaynakların üretiminin planlanması sınırlı olduğunda ve en uygun şekilde kullanılması gerektiğinde kullanılır.

Kaynak yumuşatma/düzeltilme (resource smoothing) – Bu, zaman kısıtlamalarının üretimi engelleyen en önemli faktör olduğu durumlarda kullanılabilir. Hedef, bir projeyi zamanında bitirirken, kaynak talebindeki iniş ve çıkışlardan kaçınmaktır.

İki metodun da kullanım alanları uygulama özelliklerine, projenin kısıtlarına göre değişmektedir. Yöneticiler hangi metodun projeleri için daha uygun olduğuna Şekil 7’de anlatılmak istenen özelliklere göre karar verebilmektedir.



Şekil 7: Kaynak dengeleme ve kaynak düzeltme

Kaynak düzeltmede genellikle asıl amaç projenin kritik yol süresi boyunca kritik olmayan aktivitelerin bollukları öncülünde uygulanmasıdır. Kaynak kısıtlı durumlarda uygulanan kaynak dengeleme metodlarındaki gibi kapasite sınırındaki

kaynak tahsislerinin proje süresini uzatabilmesi ve bu durumdaki optimal sonucunun bilgisayar destekli yazılım programları ile yüksek sayıda kombinasyon denemesi yapılmadan tanımlanmasının oldukça zor olmasıdır. Bu nedenle kaynak düzeltme amacımız proje süresi içerisinde bolluğu olan aktivitelere yapılacak kaydırma denemelerinin en kısa sürede iyi sonuçlara ulaşmasıdır.

Kaynak düzeltmede Şekil 7’deki gösterimde anlatılmak istendiği gibi, proje süresi uzamaz. Orijinal proje bitiş tarihi, kaynak miktarı, aktivite süreleri değişmez.

Kaynak dengeleme metodlarında genellikle optimum proje uzama süresi üzerine odaklanan çalışmalar denenmektedir.

C. Kaynak Düzeltme’de Maliyet Minimizasyonu

Bu tez çalışmasında incelenen kaynak düzeltmenin temelinde bulunan kaynaklara aşağıdaki şekilde belirtildiği gibi, bir önceki bölümde CPM metodunun detayları ile planlamasının açıklandığı “zaman” etkisi olmayıp, kaynakların verimliliği (performansı) ve kaynakların maliyeti de etki etmektedir.



Şekil 8: Zaman, maliyet, performans üçgeni

Maliyet minimizasyonu genel anlamda bir firmanın belirli bir üretim miktarını olası en düşük maliyetle üretebilmek için girdi miktarını ayarlamasıdır. (Kobu, 2017) Aynı zamanda bir işletmenin belirli bir dönemde gerçekleştirilen üretim miktarı yani fiili kapasitesi, normal kapasitenin altında ise aradaki farka işletmenin “atıl (boş) kapasitesi” denir. Dolayısı ile atıl kapasitenin maliyeti, atıl maliyet olarak tanımlanır. Maliyet minimizasyonunun bir alt dalı kapasitenin tamamının verimli kullanılabilmesi için boştaki (atıl) maliyetlerin de minimize edilmesidir.

IV. KAYNAK DÜZELTME (RESOURCE SMOOTHING)

İnşaat yatırımlarının yönetiminde planı hazırlanmış bir projede işgücü, makine, ekipman gibi önemli kaynakların kapasitelerine en uygun şekilde dağıtımıdır. Yatırım süresi boyunca planlanan kaynakların verimli çalışmaları esas olup boşta bekleme, plansız ve düzensiz işçi alıp çıkarmanın, makine çalışmalarının kesintiye uğrayıp beklemede kalması projeye ek maliyet yaratmaktadır. (Özdemir & Bıçkıcılar, 1993)

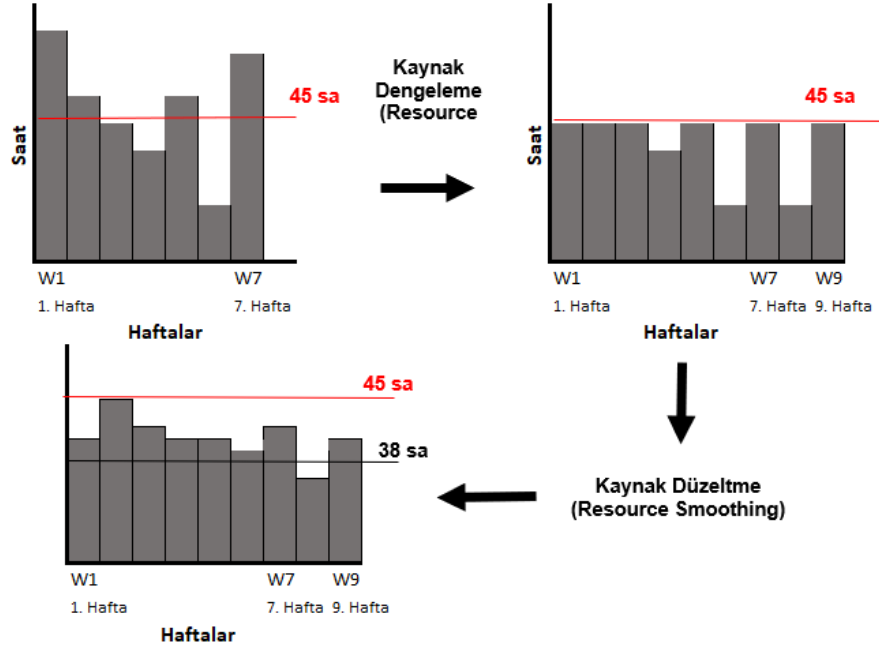
Bu yöntemde,

1. Projenin kaynak sayısını ve diğer parametrelerinin de görüldüğü CPM diyagramı hazırlanmalıdır.
2. Karışık verilebilen düğüm numaraları ayırık oku yönünde artan biçimde değiştirilmelidir.
3. Serimin her işleminde birden fazla kaynağın kullanımı mümkün olabilmeli ve izlenebilmelidir. (Özdemir & Bıçkıcılar, 1993)

Geleneksel kaynak düzeltme (smoothing) tekniği, proje süresi boyunca kaynak kullanım verimliliğini artırmak için bir kaynak kullanım modelinin iniş ve çıkışlarını en aza indirmeye çalışır. Ancak, sabit bir proje bitişini varsayıldığında proje süresini uzatmadan kaynak profilinde görülen bazı yüksek zirveleri veya vadileri iyileştiremeyebilir ve Şekil 9.(a)'da gösterildiği gibi, bazen de kaynak kapasitesinin üstüne çıkmış yüksek bir zirveyi çözemez. Gelişmiş kaynak dengeleme teknikleri bu sorunun üstesinden proje süresini optimal uzatacak şekilde üstesinden gelir. Şekil 9.(b)'de gösterildiği gibi proje tamamlanma süresini uzatarak minimum moment algoritmasının (MMA) (Harris 1978) özelliklerini geliştirir. Kaynak kullanımı açısından en iyi proje zamanlamasını belirlemek için daha önce tanıtılan dört sezgisel indeks uygulanır. (Kim, Kim, Jee, & Yoon, 2018) Kullanılan bütün algoritmalar ve bilgisayar programları bu şekilde çalışır.

Kaynak düzeltme kavramının ise, kaynak dengeleme kavramından bazı farklılıklar barındırırken, kaynak düzeltmede ana hedef kaynak profilindeki derin vadi ve zirveleri doldurmaktır. Kaynak düzeltmenin verimliliği de anlatılacak olan dört sezgisel indeks kullanılarak ölçülebilir.

Kaynak yumuşatma ayrıca kaynak dengeleme sonrasında da proje serimine uygulanan bir yöntemdir. Aşağıdaki şekilde aynı serime kaynak dengeleme ve kaynak düzeltme uygulamasının gösterimi yer almaktadır.



Şekil 9: Kaynak dengeleme sonrası kaynak düzeltme

Kapsamlı çalışmalar sonucunda çıkan ve proje süresinin uzamasına karar verilen bir örnekte, dengeleme sonrasında kaynak düzeltme (resource smoothing) uygulanması daha iyi sonuçların elde edilebileceğini göstermektedir. Bu nedenle de kaynak düzeltme uygulamaları ve amaçlarının iyi kavranması önemlidir.

A. Kaynak Kullanım Verimliliğinin Değerlendirme İndeksleri

Programlama sürecinde kaynakları uygulamak için çeşitli analitik ve buluşsal yöntemler geliştirilmiştir (Ahuja 1976; David ve Patterson 1975; Hegazy 1999; Kelly 1963; Wiest 1967) Analitik yöntemler, minimum proje kaynakları ve/veya süresi açısından optimum çözümü belirlemeye çalışır (Kim, Kim, Jee, & Yoon, 2018). Ancak, büyük miktarda hesaplama süresi gerektirirler ve bu nedenle gerçek inşaat projeleri için pratik değildirler. Öte yandan, sezgisel yaklaşımlar pratik bir süre içinde makul çözümler sunar (Boctor 1990; Hegazy 1999).

Kaynak düzeltme veya dengeleme yaparken bulunan sonuçların ölçülmesi ve kaynak kullanım verimliliğini değerlendirmek için tipik sezgisel yaklaşımların önemli indeksleri aşağıda açıklanmıştır.

- Maksimum kaynak sayısı (D_{max})
- Toplam Kaynak Kapasitesi (A):

$$A = \sum_{i=1}^n (D_i)$$

Toplam kaynak kapasitesi proje süresi boyunca her gün için ihtiyaç duyulan kaynakların toplanması ile elde edilir. Toplam kaynak kapasitesi kaynak düzeltme sonrası değişmez.

- Kullanılan Kaynak Kapasitesi:

$$\text{Kullanılan Kaynak Kapasitesi} = \frac{\text{Kümülatif Çalışan Kaunak}}{\text{Kümülatif Toplam Kaynak}} \leq 1$$

Amaç kapasite düzeyinde kaynağın kullanımını sağlamak ve Kullanılan Kaynak Kapasitesi'ni 1'e yaklaştırmaktır.

- Ortalama kaynak sayısı (A_{ort}):

$$A_{ort} = \frac{A}{n}$$

- Yığılma Oranı (φ_A):

$$\varphi_A = \frac{A_{max}}{A_{ort}} \geq 1$$

A_{max} (Maksimum kaynak sayısı) küçültülerek φ_A 1'e yaklaştırılmalıdır.

Her bir kaynak için yapılacak dengeleme, eğer aynı serimde birden fazla kullanımı durumunda da geçerlidir. Yaklaşımdaki hedefler diğer kaynak türleri için de uygulanır.

- Kaynak değişim momenti (Mv)

$$Mv = \sum_{i=1}^n (D_{i-1} - D_i)^2$$

- Kaynak momenti - x eksenine veya zaman eksenine göre (Mx)

$$Mx = \sum_{i=1}^n (D_i)^2$$

- Kaynağın y eksenine göre momenti (My)

$$My = \sum_{i=1}^n (D_i * i)$$

- Kaynak kullanım oranı (RR)

$$RR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_i}{n * \text{Max of } D_i} \right)^2$$

$D_i = i$ günündeki kaynak gereksinimi (resource demand on day i)

$n =$ proje süresi (project duration)

Kaynak profilinin değerlendirilmesi ile ilgili Ekim 2004'te bir çalışma için çoğu Kore'deki büyük inşaat şirketlerinde 10 yıl veya daha uzun süre planlama mühendisi olarak çalışan 49 mühendisle bir anket yapılmıştır. Anket öncesinde basit bir iş programı örneği ile detaylı açıklamanın ardından, dört indeks hakkındaki görüşleri için bireysel olarak mülakat yapılmıştır. Profesyoneller diğerlerine kıyasla Mx'in (kareler toplamı ya da kaynak momenti) en önemli ve Mv'nin (kaynak değişim momentinin) en az önemli olduğuna inanmaktadır (Kim, Kim, Jee, & Yoon, 2018).

Nitekim bu anketin yapılış tarihinden önceki çalışmalarda da, minimum moment algoritması üzerinde durulmuştur.

1. Problemin Tarifi

Yönetimler sıklıkla ortak kaynak gereksinimleri olan birden çok projeyi çizelgeleme sorunuyla karşı karşıya kalır. Bu durum, genellikle bir projenin aynı anda farklı kaynaklarla gerçekleştirilebildiği bir ortamda ortaya çıkar. Bir projede, birbirinden bağımsız birkaç farklı kaynak aynı başlangıç ve bitiş zamanları olan bir olaylar ve faaliyetler ağı tarafından temsil edilebilir. Bu tip çok kaynaklı projelerde yer alan aktiviteler çoğunlukla insan gücü (mühendisler, matematikçiler, teknisyenler, bilgisayar programcıları, idari destek, özel danışmanlar, işçiler) ve ekipman (bilgisayarlar, test araçları, çoğaltma tesisleri) gibi ortak fiziksel kaynakları paylaşmaktadır. Bu tür projeleri planlarken ana hedef, belirlenen tamamlanma tarihlerini aşmadan kaynak profilindeki dalgalanmaların (düşük ve aşırı kullanım) en aza indirilmesini sağlamalıdır. Ana hedef; tamamlanma tarihlerini karşılamak için, bir proje başladıktan sonra, kritik faaliyetlerin zamanı belirlenmelidir ve kaynak

dalgalanmalarını en aza indirmek için, gerekenden daha fazla zamanı olan faaliyetleri (bolluğu olan veya kritik olmayan faaliyetler) yeniden planlamaya çalışmalıyız, öyle ki gereken kaynaklar mümkün olduğunca düz (pürüzsüz) olsun.

Faaliyetlerin yeniden planlanması başlamadan önce bazı temel kurallar belirlenmelidir. Herhangi bir kaynak, diğerlerine göre daha maliyetli midir? Herhangi bir aktivite esnek midir, yoksa bölünebilir mi? (kritik/kritik olmayan) Başlangıçta bu sorularla birlikte karar verilen varsayımlar problemin çözümünü daha basit hale getirirken bize yol gösterici olacak ve bu varsayımlardan olabilecek sapmaları en aza indirecektir.

Bu çalışmada öncelikle, projenin süresinin uzatılmasına izin verilmeyecek ve “süre kısıtlı” proje olarak varsayımda bulunulacaktır. Çünkü genel olarak yöneticilerin istediği bir projenin başladıktan sonra, kritik süre içinde tamamlanması ve hatta bu sürenin olabildiğince kısaltılmasıdır. Çünkü çoğu yönetici bir projenin gecikmesine izin vermeden önce, bu gecikmeden dolayı oluşan kayıplarla, proje süresinin uzatılmasından dolayı ötelenen kaynak kullanımlarından elde edilebilecek yeterli bir kar olup olmadığını karşılaştırılmakta ve sonuçta zarar ediliyorsa, bu durumda yöneticinin istediği projenin belirlenen teslim tarihlerinde tamamlanması olmaktadır.

İkinci olarak, problemimizdeki faaliyetlerde günlük kaynak kullanımında maliyeti artırmak pahasına belirlenen kaynak kullanımından daha fazla veya daha az kaynak kullanımına izin vermeyeceğiz. Yine, bu koşul, yönetimin bir çizelgeleme probleminde oluşturabileceği en katı koşulları karşılayacaktır: belirli zaman dilimlerinde kaynakları "ikiye katlamadan" veya “eksik harcamadan” tahmin edildiği gibi bir faaliyetin tamamlanmasıdır.

Üçüncü olarak, tüm gerekli kaynaklara bir maliyet atayarak eşit değer verilecektir.

Aynı faaliyete atanan farklı kaynaklar gerçekte farklı maliyetlere sahiptir. Eşit değerde olan iki farklı kaynakta ise önce hangisinin dikkate alınarak kaynak düzeltme yapılacağına karar vermek ise oldukça karmaşıktır. Ancak kaynaklar üzerindeki eşit olmayan ağırlıklar göz önünde bulundurulursa, belki de en maliyetli olandan başlanılarak her seferinde yalnızca birini düzeltmeye veya dengelemeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada daha önce maksimum atıl maliyetin minimize edilmesi üzerine kurulu olarak geliştirilen model denenmiştir. (Akpan, 2000) Özellikle çoklu kaynak durumları için tasarlanmış olsa da, yaklaşımda doğrudan kaynak profiliyle

ilgilendiğinden yaklaşım tek kaynaklı bir projeye de eşit derecede uygundur. Problemden ana ilke olarak her bir kaynak kullanımının maliyetleri birbirine eşitlenmiştir. Böylelikle daha basit bir şekilde kaynak düzeltme çalışması yapılabilecektir.

Kesirli parçalar yerine zamanı ve kaynakları yalnızca tamsayı birimlerinde incelenmesi sorunu basit ve pratikleştirmiştir. Gerçekte, örneğin bir inşaat projesinde bu envanterlerin oldukça karmaşık olduğu unutulmamalıdır. Ancak bu çalışmaların odak noktası, kaynak profillerini düzeltirken değerlendirmeye çalıştığımız, aktivitelerin olabildiğince daha doğru başlangıç ve bitişlere kaydırılmasıyla etkin olmayan insan gücü ve ekipmanın hesaplanmasıdır.

Son olarak bir kaynak bir aktiviteye atıldığında, o aktiviteyi kesintisiz olarak tamamlanması gerektiği varsayılmaktadır. Diğer bir deyişle, hiçbir faaliyetin bölünmemesi istenmektedir. Bu varsayımın aksine aktivitelerin bölünmesi yine gerçek bir projede olağan bir durum olduğu da bilinmektedir.

Kaynak düzeltme yapılırken zaman/maliyet değiş tokuşu dikkate alınmayacaktır.

Problemden ana ilke olarak her bir kaynak kullanımının maliyeti belirlenmelidir. Farklı tip kaynakların parasal açıdan aynı olduğu varsayıldığında, hepsine tek tip bir maliyet uygulanabilir.

Nihayetinde, zaman periyodunda her bir kaynağın karelerinin toplamı ve önceki bölümde açıklanan kaynak kullanım verimliliği indeksleri değerlendirme ölçütü olarak kullanılmaktadır. Kaynak karelerinin toplamı genelde en çok kullanılan kaynak profili değerlendirme ölçütü olup, kaynak düzeltmeden sonraki sonucu ile gösterilecektir.

2. Örnek CPM Serimi Karakteristiği

Aşağıda (Tablo 2) 12 aktiviteli tek tip kaynaklı bir problem seti ve bu setin CPM serimi verilmiştir (Şekil 10). (Kim, Kim, Jee, & Yoon, 2018).

Kaynak düzeltme yaklaşımı yapılmadan önce işlemler bazı adımlardan oluşmaktadır. Tablo 1, bahsedilecek adımların uygulandığı örnek programı göstermektedir. Bu tabloda, her aktiviteye bir kimlik, süre, kaynak gereksinimi ve öncül(ler) atanır.

Problemimiz 12 aktiviteli olup Şekil 10 ‘da bu sete ait CPM serimi hazırlanmıştır.

Tablo 2: Örnek Problem Seti

İsim (ID)	Süre (Duration)	Kaynak (A,B) (Resource)	Öncül (Predecessors)
A	1	1, 4	-
B	2	6, 6	A
C	2	4, 4	A
D	1	4, 2	A
E	4	3, 4	B
F	1	4, 5	E
G	3	5, 1	C,D,E
H	2	4, 2	E
I	2	1, 1	G
J	2	3, 3	I
K	2	4, 4	F,J
L	1	2, 1	K,H

Tablo 3’de (Kim, Kim, Jee, & Yoon, 2018) belirtilen CPM serimine ait erken başlama (ES-Early Start) , erken bitiş (EF- Early Finish), geç başlama (LS-Late Start) ve geç bitiş(LB-Late Finish) tarihleri ile toplam kaynak gereksinimlerine ait bilgiler verilmiştir.

Kritik olan aktiviteler işaretlenmiş olup, kaynak düzeltme çalışmaları toplam ve serbest bollukları olan kritik olmayan aktiviteler üzerinde gerçekleştirilecektir. Bu işlemler yapılırken bir sonraki bölümde açıklanan metodoloji takip edilerek kaynak kullanım verimliliğini değerlendiren indekslerdeki değişimler takip edilecektir.

Buna göre toplam 12 aktivenin 8’nin kritik aktivite olduğu görülmüştür.

- Projenin kritil aktiviteleri A-B-E-G-I-J-K-L’dir.
- Projenin kritik yolunun; A-B-E-G-I-J-K-L’dir.
- C, D, F ve H aktivitelerinin kritik olmayan ve bolluğu olan aktiviteler olduğu görülmüştür.

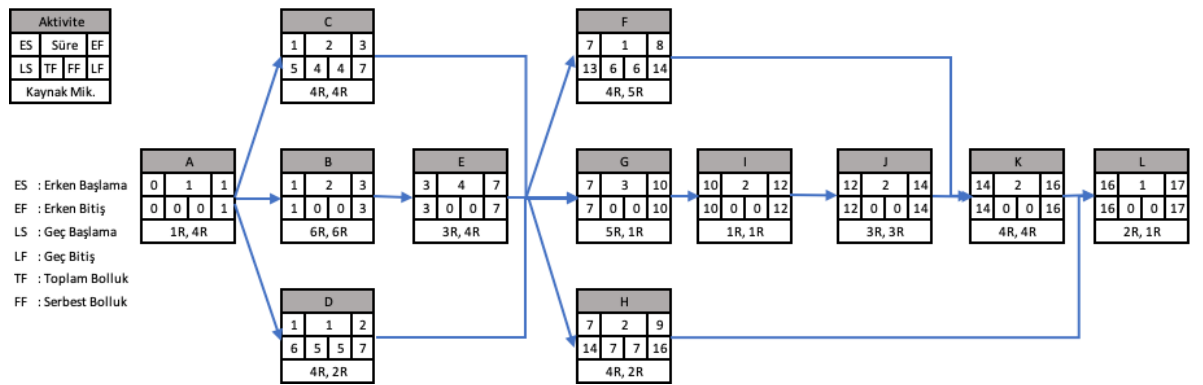
- Serimin tamamlanması için gereken minimum süre 17 gün olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3: Örnek CPM Serimi ve Kaynak Gereksinimleri

ID	SÜRE	ERKEN		GEÇ		BOLLUK		KAYNAK GEREK- SİNİMİ A	KAYNAK GEREK- SİNİMİ B	TOPLAM KAYNAK GEREK- SİNİMİ A	TOPLAM KAYNAK GEREK- SİNİMİ B
		BAŞ- LANGIÇ	Bİ- TİŞ	BAŞ- LANGIÇ	Bİ- TİŞ	TOP- LAM	SER- BEST				
A	1	0	1	0	1	0	0	1	4	1	4
B	2	1	3	1	3	0	0	6	6	12	12
C	2	1	3	5	7	4	4	4	4	8	8
D	1	1	2	6	7	5	5	4	2	4	2
E	4	3	7	3	7	0	0	3	4	12	16
F	1	7	8	13	14	6	6	4	5	4	5
G	3	7	10	7	10	0	0	5	1	15	3
H	2	7	9	14	16	7	7	4	2	8	4
I	2	10	12	10	12	0	0	1	1	2	2
J	2	12	14	12	14	0	0	3	3	6	6
K	2	14	16	14	16	0	0	4	4	8	8
L	1	16	17	16	17	0	0	2	1	2	1

KRİTİK AKTİVİTELER •

Proje için kritik yol süresini, her faaliyet için en kısa ve en geç başlangıç zamanlarını ve en erken ve en geç arasındaki farkı (slack) yani aktivitenin programlanmasında mümkün olan esneklik derecesini hesaplamak için bir kritik yol (CPM) grafiği (Şekil 10) oluşturulmuştur.



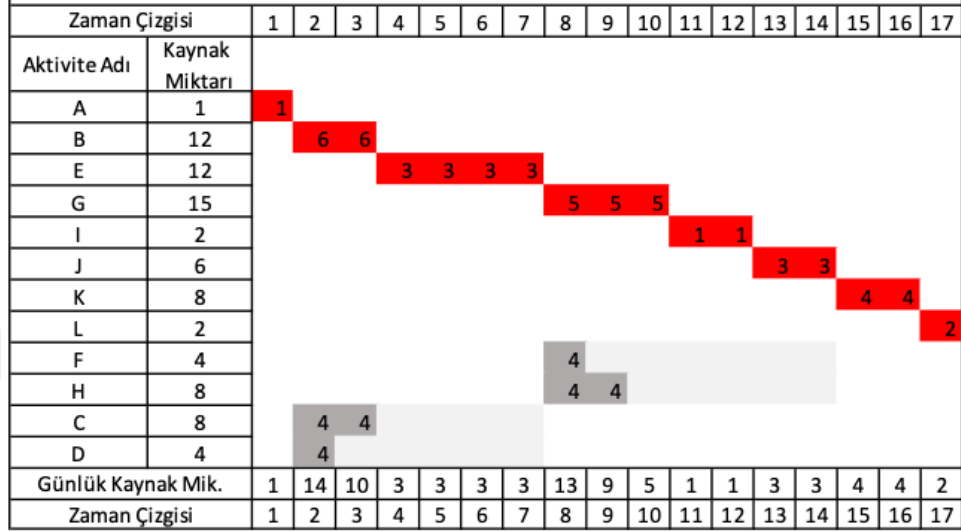
Şekil 10: Örnek Bir Projenin CPM Serimi (Erken Başlangıç)

Ayrıca tüm faaliyetler ve projeler en erken başlangıç zamanları, CPM serimine ait aktivite adı, aktivite süreleri, kaynak miktarları (A, B), ES, EB, FS, FF değerleri verilmiştir.

Tüm aktivitelerin erken başlama (ES) tarihlerine göre çizelgeleme yapılmış iş programında A ve B kaynaklarına ait kaynak profilleri hesaplanmıştır.

B. Çoklu Kaynak Profili İncelemesi

1. Kaynak Profili (A)



Toplam Kullanılan Kaynak A = 82 ortalama A = 82/17 = 4,82
Maksimum Kaynak Miktarı = 14

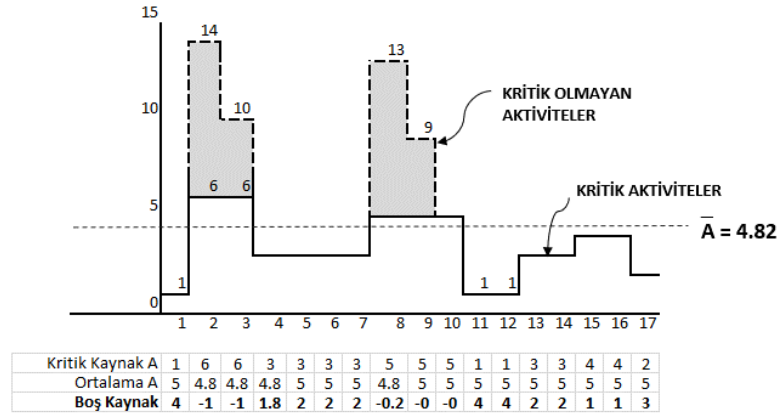
Şekil 11 Gantt Şeması - A kaynağı

Şekil 11’de Gantt şeması belirtilen A kaynağı için projede maksimum kaynak miktarı 14 bulunmuştur. Ortalama kaynak miktarı 4.82, toplam kullanılan kaynak ise 82’dir. Tablo 4’de kaynak profiline ait indeks değerleri belirtilmiştir. Kaynak profil eğrisi oluşturularak kritik olan aktiviteler değerlendirme dışı bırakılacaktır.

Tablo 4: Kaynak Profili A için indeks değerleri

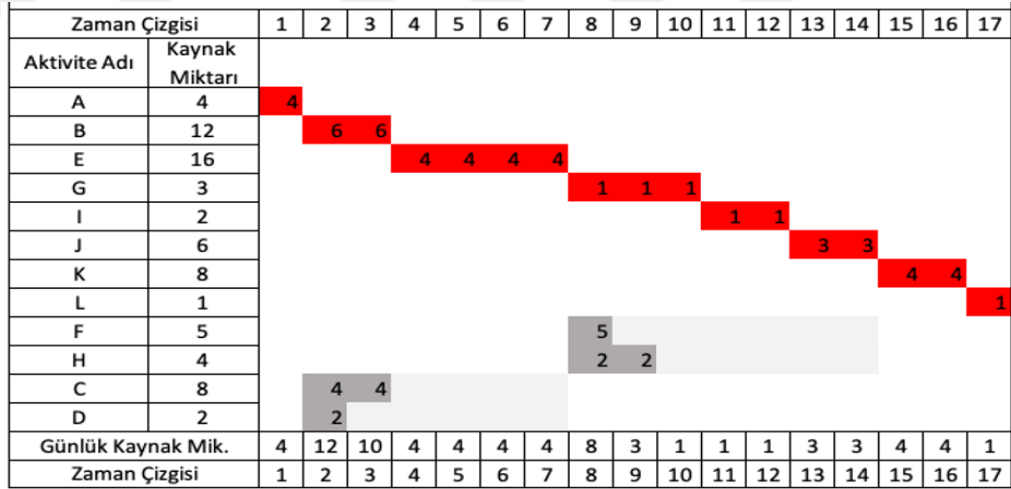
İndeks	Mx	My	Mv	RR
Değer	664	622	396	34%

Şekil 12’de gösterilen kritik olmayan aktiviteler üzerinde kaynak düzeltme çalışması yapılacaktır. Bu aktiviteler F, H, C ve D aktiviteleridir.



Şekil 12: Kaynak Pofil Eğrisi - A

2. Kaynak Profili (B)



Toplam Kullanılan Kaynak B = 71 ortalama B = 71/17 = 4,18
Maksimum Kaynak Miktarı = 12

Şekil 13: Gantt Şeması - B kaynağı

B kaynağı için projede maksimum kaynak miktarı 12 bulunmuştur. Ortalama kaynak miktarı 4.18, toplam kullanılan kaynak ise 71'dir. Şekil 13'de B kaynağı için Gantt şeması, Şekil 14'de kaynak profili ve Tablo 5'de bu kaynak profiline ait indeks değerleri belirtilmiştir.

B kaynağı için indeks değerlerinin A kaynağına göre farklı olduğu görülmektedir. Çok kaynaklı projelerin kaynak düzeltme işlemlerinde bir kaynak için düzeltme yapılması, diğer kaynak tüketiminde negatif sonuçlar doğurabilmesinin sebebi bu farklılıklardır.

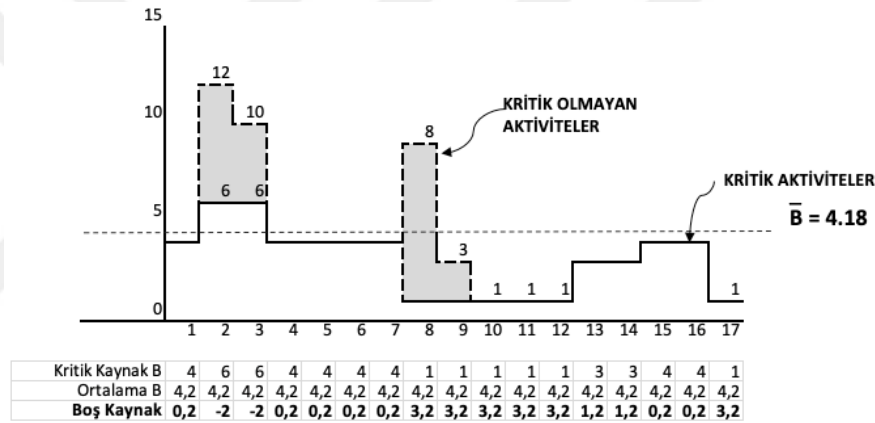
Bu nedenle kaynak düzeltme çalışmaları yapılırken, her aşamada A ve B kaynakları için kaynak profili indeks değerleri karar ve takip edilebilmesi için kayıt altına alınacaktır.

Tablo 5: Kaynak Profili B için indeks değerleri

İndeks	Mx	My	Mv	RR
Değer	451	492	180	35%

B kaynağı için çizilen Gantt şemasında da kritik olan ve kritik olmayan aktiviteler ayrı ayrı gösterilmiştir.

Şekil 14’de gösterilen kritik olmayan aktiviteler üzerinde kaynak düzeltme çalışması yapılacaktır. Bu aktiviteler F, H, C ve D aktiviteleridir.



Şekil 14: Kaynak Pofil Eğrisi - B

C. Metodoloji

Rastgele aktivite seçimine dayalı kaynak düzeltme çalışması aşağıdaki adımlarda belirtilen kurallara göre CPM seriminde bolluğu olan aktivitelerin ileri ve geri geçişleri ile gerçekleştirilir. Aktivitelere atanan A ve B kaynaklarının ayrı ayrı kaynak profilleri oluşturulacaktır. Aynı aktiviteye atanan farklı kaynaklara bu çalışmada farklı maliyetli değerlendirilmiş olup her birine sırasıyla 5.00\$ ve 10.00\$ 'lık maliyet atanmıştır. Her adımda ve en sonunda proje süresi boyunca oluşan yeni kaynak profili ve bu profile ait indeks değerleri hesaplanacaktır. Her bir faaliyetin iyi sonucu veren ve kaynak profilindeki iyileşmenin takibi için toplam kaynak kullanımı ve proje süresi değiştirilmeden, kaynak değişim momenti (Mv), kaynak momenti ya da kareler toplamı (Mx), kaynakların y eksenine göre momenti (My) ve

kaynak kullanım oranı (RR) için kaynak indeks hesaplamaları eklenecektir. Kaydırma denemelerinin sonucunda en iyi kaynak profilini veren ve artık indeks değerlerinin değişmediği durumda çalışma sonlandırılacaktır.

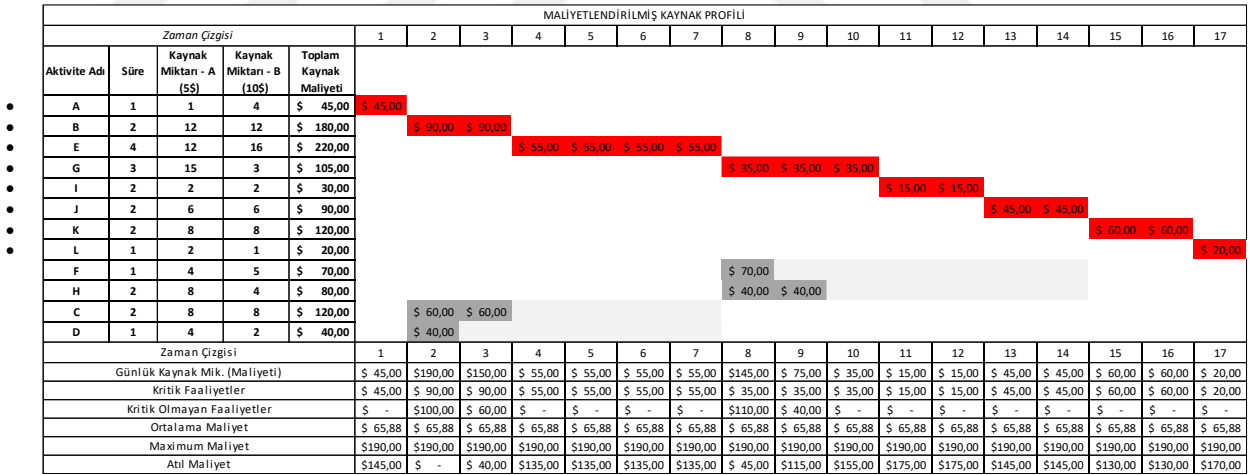
D. Sezgisel Yaklaşım ve Yöntemin Ana İlkeleri (Algoritma Prosedürleri)

Tablo 4 ve Tablo 5 incelendiğinde, çoklu kaynak kullanan CPM serimlerinde, kaynak profilleri incelenirlerken her iki farklı kaynak için farklı indeks değerlerinin ve dolayısıyla farklı kaynak profillerinin elde edilmesi, kaynak düzeltme işleminin hangi profile göre yapılması gerektiği konusunda karmaşa yaratmaktadır.

Kaynak profili A için kullanım verimliliği %34 iken, B kaynağı için %35’dir. Kaynak kareleri toplamı Mx A kaynağı için 664 iken, B kaynağı için 451’dir.

A ve B kaynakları için benzer ancak farklı olan kaynak profillerini tek başına değerlendirmek için bu kaynaklara maliyet atayarak bir çalışma gerçekleştirilecektir.

Her bir A kaynağı için bu örnekte 5 \$, B kaynağı için 10\$ ‘lık bir maliyet atanmıştır. Bu atama sonrasındaki durum Şekil 15’de verilmiştir.



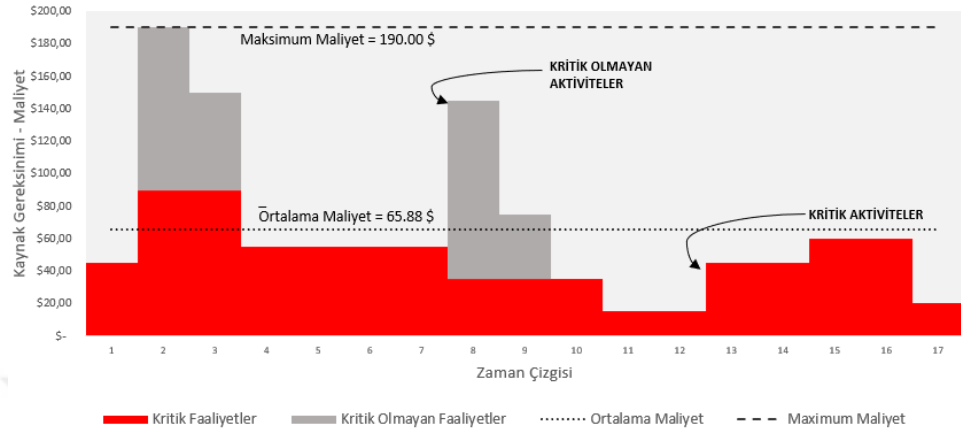
Şekil 15: Aktiviteler Gantt Şeması (maliyetlendirilmiş)

Tablo 6 düzeltme öncesi toplam kaynak profili indekslerini göstermektedir.

Tablo 6: Düzeltme Öncesi Toplam Kaynak Profili İndeksleri

ΣM_x	ΣM_y	ΣM_v	ΣRR
112.700,00	8.030,00	51.800,00	35%

Şekil 16’da toplu kaynak-maliyet profili görülmektedir. Maliyetlerin projenin 2. gününde zirve yaptığı, 11. ve 12. günlerde ise en düşük seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 16: Projenin Çoklu Kaynak Profili (Maliyet atanmış)

Maksimum maliyetin 190 \$ olduğu durumda toplam maliyet ve atıl maliyetler aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_{max} = \$190,00$$

R_{max} : Maksimum Toplu Kaynak Maliyeti

$$\text{Toplam Maliyet} = R_{max} * n$$

$$\text{Gerçekleşen Maliyet} = \sum_{i=1}^n (R_i)$$

$$\text{Boşta Kalan Maliyet} = R_{max} * n - \sum_{i=1}^n (R_i)$$

R_i = i günündeki kaynak gereksiniminin maliyeti (resource cost demand on day i)

n = proje süresi (project duration)

Yapılacak her adım için toplam maliyet, atıl maliyet hesaplanacaktır. Kaynak miktarları ve projenin süresi değiştirilmediği için gerçekleşen kaynak miktarında herhangi bir değişiklik olmayacaktır.

Kaynak düzeltme için yukarıdaki çalışmalar tamamlandıktan sonra maliyet minimizasyonu yaklaşımı bir sonraki bölümde açıklanan adımların sırasında uygulanacaktır.

E. Maliyet Minimizasyonu Yaklaşımı

Adım 1: Maksimum atıl (boşta) maliyeti olan kaynak belirlenir.

Adım 2: Maksimum kaynak miktarına sahip olan kaynak zirveleri seçilir. Kaynak tepe noktasının birden fazla yerde olduğu durumlarda ilk zirve noktası olarak **en soldaki tepe noktası alınmalıdır.**

Adım 3: Bu noktadan geçen tüm faaliyetleri göz önünde bulundurulur ve ileri kaydırma işlemini karşılamak için yeterli "bolluğu" olan etkinlik rastgele seçilir. Seçilen aktivitenin "Kaydırma miktarı", en son başlangıç zamanından faaliyet süresi ve tepe noktasının konumu çıkarılarak hesaplanır. Zirvelerden olabildiğince uzaklaşabilmek için ve tepe noktasının bir aralık olarak birden fazla dönemi kapsadığı durumlarda (**bir aralık içerisinde** art arda devam ettiği durumda) pik noktası olarak **en sağdaki** nokta kabul edilmelidir.

Adım 4: Seçilen aktivite bir zaman periyodu ötesinde hareket ettirilir ve 3. adıma uygun olarak en "yoğun" konumun ötesindeki zaman aralığına kaydırılarak planlamaya başlanılır. Bu kaydırma sonucunda oluşan indeks değerleri kaydedilir.

Adım 5: En erken başlangıç zamanı ile zirve konumu arasındaki farkı alarak yapılan kaydırma işlemi ile, kaydırılan işlemin bolluğu süresince en fazla atıl maliyete sahip alanlara ötelenmesi istenilmektedir.

Ancak bu durum erken başlama tarihlerine göre yapılan kaynak yüklemelerinde göz ardı edildiğinden sadece kaynak düzeltmedeki bu tip dalgalanmaların iyileştirilmesi sırasında dikkate alınmaktadır. Bu işleme "doldurma" denilir. (Akpan, 2000)

Adım 6: Kaydırma aktivitenin orijinal zaman süresi içerisindeki bolluğuna göre mümkün olduğu kadar en soldan gerçekleştirilmelidir. Tüm aktiviteler için kaydırma yapıldıkça yeni bollukların hesaplanması (aktivitenin yeni bolluğu o aktivitenin kaydırma ile elde edilen başlangıç tarihi ile en sağa kaydırılabileceği zaman dilimi arasındaki farktır.) gerekmektedir. Aynı zamanda yeni maliyet dağılımları kaydedilir.

Adım 7: Kaydırma yapılan tüm bolluklar 0'a eşit olana kadar 1-6 adımlarını tekrarlanabilir.

Adım 8: Deneme yapmak istenen çalışmanın sayısına bağlı olarak yeni bir deneme seti daha başlatılır ve 1-7 adımları tekrarlanır.

Adım 9: Deneme setleri tekrarlandıkça kaynak profili değerlendirme indeksleri değişmeyecek ve artık en düşük maliyetli program oluşacaktır.

Tablo 7: Kaynak Düzeltme Öncesi İndeks Değerleri

Toplam Kaynak Miktarı		Kaynak A	Kaynak B
		82	71
1	Mx	664	451
2	My	622	492
3	Mv	396	180
4	RR	34%	35%

Tablo 7’de belirtilen indeks değerlerinin değişimi yapılan her düzeltme işleminde takip edilecektir.

V. KAYNAK DÜZELTME: MALİYET MINİMİZASYONU YAKLAŞIMI UYGULAMASI

A. Kaynak Maliyetleri

Atıl (Boşta kalan) maliyetler hesaplanılırken, o kaynak profiline ait maksimum seviye, kapasite olarak kabul edilir. Kullanılmayan kapasite atıl kapasite olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmada A ve B kaynakları farklı maliyetlere sahiptir.

A kaynağı için 5, B kaynağı için 10 dolar maliyet atanmıştır. Bu hesaba göre; aşağıdaki Tablo 8’de görüleceği üzere, en fazla atıl (boşta) maliyeti olan kaynak B kaynağıdır. Bu nedenle ilk aşamada B kaynağındaki zirve noktaları (en soldaki) dikkate alınacaktır.

Tablo 8: Kaynakların atıl (boşta kalan) maliyetlerinin karşılaştırılması

Kaynak	Kaynak Miktarı	Toplam Maliyet (Kapasite)	Kullanılan Maliyet	Boştaki Maliyet (Atıl Kapasite)	Maksimum Kaynak
A	82	1190	410	780	14
B	71	2040	710	1330	12

B. Aktivite Kaydırma Aşamaları

B kaynağına ilişkin kaynak profilinin en soldaki zirve noktası 2. gündür. Bu güne ait kritik olmayan aktiviteler C ve D aktiviteleridir. C aktivitesinin ilk adımda 1 gün, zirve noktasının 3. günde görülmesi sebebiyle bir sonraki adımda da 1 gün daha ötelenmesi sağlanır ve 3. adıma geçilir. Her ötelemede indeks değerlerindeki değişiklikler kaydedilir.

3. adımda da zirve noktasının 2., 4., 5., ve 8. günde olduğu görülmektedir. Bu durumda Adım 3’de anlatıldığı gibi zirve noktasının en sağdaki gününden uzaklaşmaya çalışılacaktır. 8. günden geçen kritik olmayan aktiviteler F ve H aktiviteleridir. Bu nedenle bu iki aktivite üzerinde bollukları boyunca kaydırma gerçekleştirilebilmektedir. Bu adımda H aktivitesinin bolluğu içerisinde 1 gün ötelenmesi sağlanır.

Zirve noktası olan 5. Gününde C aktivitesinin 4. günden 6. güne kaydırılır. Bu kaydırmanın uzaklığı 1 gün'dür. Bu adımda sonrasında zirve noktasının 2., 6. ve 7. günde olduğu görülmektedir. 6. ve 7. Günde kaydırılabilen bolluğu olan aktivite kalmadığından; 5. adımda zirve noktasının olduğu 2. gün'den geçen ve bolluğu olan tek aktivite olan D aktivitesi bu adımda 2. günden 4. güne kaydırılır.

Bu adımda zirve noktasında kaydırılabilecek aktivite kalmadığından en düşük kaynak kullanımının olduğu bölgeye kaydırma sağlanarak “**doldurma**” (padding) gerçekleştirilecektir.

Bunun için maksimum atıl maliyetin gerçekleştiği 11. ve 12. Güne aktivite kaydırılacaktır. Bunun için seçilen aktivite olan H aktivitesinin başlangıççı 9. günden 11. güne 2 gün kaydırılır.

Sırasıyla D ve F aktiviteleri ile doldurma denemesi gerçekleştirilir ve işlem sonlandırılır.

İşlem adımları Tablo 9'da belirtilen tablodaki sırayla gerçekleştirilmiştir.

Tablo 9: Kaynak Düzeltme Aşamaları

Aşama	Aktivite	Başlangıç	Ötelenen Gün	Uzaklık*
1	C	2	3	-
2	C	3	4	-
3	H	8	9	-
4	C	4	6	1
5	D	2	4	1
6	H	9	11	-
7	D	4	5	-
8	F	8	10	1

*Uzaklık aktivitenin kaydırma öncesi bitişi ile, kaydırma sonrasındaki başlangıççı arasındaki mesafedir.

C. Kaynak Profili Değerlendirme

Kaynak profillerinin tamamen olmasa da önemli ölçüde düzeltildiği görülmektedir. Kaynak profilindeki iyileşme düzeltme sonrası hesaplanan Tablo 10'da 8. adımda bulunan günlük kaynak karelerinin toplamı (Mx), kaynakların y eksenine göre momenti (My), kaynak momenti (Mv) ve RR değerlerinin 0. adım ile karşılaştırılması ile görülebilir.

Tablo 10: Kaynak Profili Düzeltme Adımları ve İndekslerin Değişimi

Aşama	Kaynak	Toplam Maliyet	Gerçekleşen Maliyet	Atıl Maliyet	Maks. Kaynak Seviyesi	Mx	My	Mv	RR (%)
0	A	1190	410	780	14	664	622	396	34%
0	B	2040	710	1330	12	451	492	180	35%
1	A	1105	410	695	13	608	630	268	37%
1	B	1700	710	990	10	419	500	116	42%
2	A	1105	410	695	13	584	638	276	37%
2	B	1360	710	650	8	403	508	116	52%
3	A	850	410	440	10	552	646	228	48%
3	B	1360	710	650	8	383	512	88	52%
4	A	850	410	440	10	552	662	204	48%
4	B	1360	710	650	8	383	528	88	52%
5	A	765	410	355	9	528	670	140	54%
5	B	1360	710	650	8	375	532	72	52%
6	A	765	410	355	9	464	686	92	54%
6	B	1360	710	650	8	375	540	84	52%
7	A	765	410	355	9	464	690	84	54%
7	B	1360	710	650	8	375	542	76	52%
8	A	765	410	355	9	464	698	100	54%
8	B	1360	710	650	8	375	552	126	52%

Aşama 5'den sonraki iyileşme bize kaydırmalar tamamlandıktan sonra yapılan doldurma işlemlerinin ardından kaynak profilinde iyileşmenin devam ettiğini göstermiştir.

Aşama 6, 7 ve 8 doldurma kaydırmalarıdır. Bu işlemlerde Aşama 7'den sonra kaynak profilinin indeks değerlerinde daha kötü bir sonuca ulaşıldığı da görülmektedir.

VI. SONUÇLAR

Proje yönetimi, sınırlı kaynakları kullanarak faaliyetlerin verimli ve etkili bir şekilde koordinasyonu ve entegrasyonu sürecidir. Başka bir deyişle proje yönetiminin genel konsepti şöyledir: kaynakları ilgili teslimat kalemlerine bağlamaktan ve bunları tüm projede birleştirmekten oluşan organizasyondur. Bu nedenle proje yönetiminin içsel bir unsuru olan kaynak yönetimi, projenin zamanında ve maliyetle tamamlanmasını ve kalitenin önceden tanımlandığı gibi olmasını sağlamakla kalmaz, doğru kaynak tahsisleri projedeki atıl maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olarak basit yollarla artı değerler sağlar.

Kaynak düzeltme çalışmaları, özellikle projenin öngörülen tamamlanma süresini arttırmadan en verimli kaynak tüketimini elde etmeleri gerektiğinde, proje yöneticilerinin iş programı hazırlanması aşamasında uğraştıkları en önemli problemlerden biridir. Ancak hemen hemen her projede olduğu gibi kaynakların kıt olması nedeniyle proje faaliyetlerinde kaynak kullanımı programda çakışmalara yol açmaktadır. Aynı zamanda kaynakların iş programında bazı tarihlerde kullanımının azalması da atıl maliyet oluşturmaktadır. Bu da istenmeyen bir durumdur. Özellikle bu durum kapasite sınırı olan proje tipi üretim gerçekleştiren tersaneler gibi fabrikalar için gereklilik arz etmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen kaynak düzeltme tekniği ile kaynak profilinde iyileşmeler yapılan her aşamada kaydedilmiştir.

M_x , M_y , M_v ve RR 'nin her bir yüzde değeri A ve B kaynakları için ayrı ayrı olmak üzere Tablo 11'de listelenmiştir. 8 adım boyunca yapılan kaydırmalar sonucunda farklı değerler elde edilmiştir.

Bu çalışmada kaynak düzeltme çalışmaları sırasında her aşama için Tablo 11'de indeks değerleri A ve B kaynakları için ayrı ayrı gösterilmiştir. A kaynağında M_v indeksi için en iyi sonuç 7. aşamada gerçekleşmiş olmasına rağmen B kaynağında M_v indeksi için en iyi sonuç 5. Aşamada gerçekleşmiştir. Bu da kaynak düzeltme uygulaması çoklu kaynaklı projelerde her iki kaynağa aynı aşamada optimum sonucu veremeyeceğini ispatlamakla birlikte, her iki kaynak için de ilk durumdan daha iyi indeks değerlerinin bulunduğu görülmektedir.

Tablo 11: Dönüştürülen İndeksler ve Birleştirilmiş Ağırlıklı Değerler

Aşama	Kaynak	Toplam Maliyet	Gerçekleşen Maliyet	Atıl Maliyet	Maks. Kaynak Seviyesi	Mx	My	Mv	RR (%)
0	A	1190	410	780	14	0.000	90%	0.000	34%
1	A	1105	410	695	13	0.280	91%	0.410	37%
2	A	850	410	440	10	0.400	92%	0.385	37%
3	A	935	410	525	11	0.560	94%	0.538	48%
4	A	765	410	355	9	0.560	96%	0.615	48%
5	A	935	410	525	11	0.680	97%	0.821	54%
6	A	595	410	185	7	1.000	99%	0.974	54%
7	A	595	410	185	7	1.000	100%	1.000	54%
8	A	595	410	185	7	1.000	101%	0.949	54%
0	B	2040	710	1330	12	0.146	71%	0.000	35%
1	B	1360	710	650	8	0.506	72%	0.593	42%
2	B	1360	710	650	8	0.685	74%	0.593	52%
3	B	1700	710	990	10	0.910	74%	0.852	52%
4	B	1360	710	650	8	0.910	77%	0.852	52%
5	B	1700	710	990	10	1.000	77%	1.000	52%
6	B	1360	710	650	8	1.000	78%	0.889	52%
7	B	1360	710	650	8	1.000	79%	0.963	52%
8	B	1360	710	650	8	1.000	80%	0.500	52%

Sonuç olarak geliştirilmiş olan bu algoritmanın çoklu kaynaklı bir projede uygulanmasının sonuçları için indeks değerlerine bakıldığında orta ve küçük ölçekli inşaat projelerinde etkin bir kaynak kullanımı sağlayarak, inşaatta planlama sürecinin verimliliğini arttırabileceği söylenebilmektedir.

Yapılan düzeltme çalışması sonucunda atıl maliyetler azaltılmıştır.

- A kaynağı için atıl maliyet 780'den 6. Adımdan 8. adıma kadar 185'e en düşük seviyesine düşmüştür.
- B kaynağı için atıl maliyet 1330'dan 6. Adımdan 8. adıma kadar 650'e en düşük seviyesine düşmüştür.

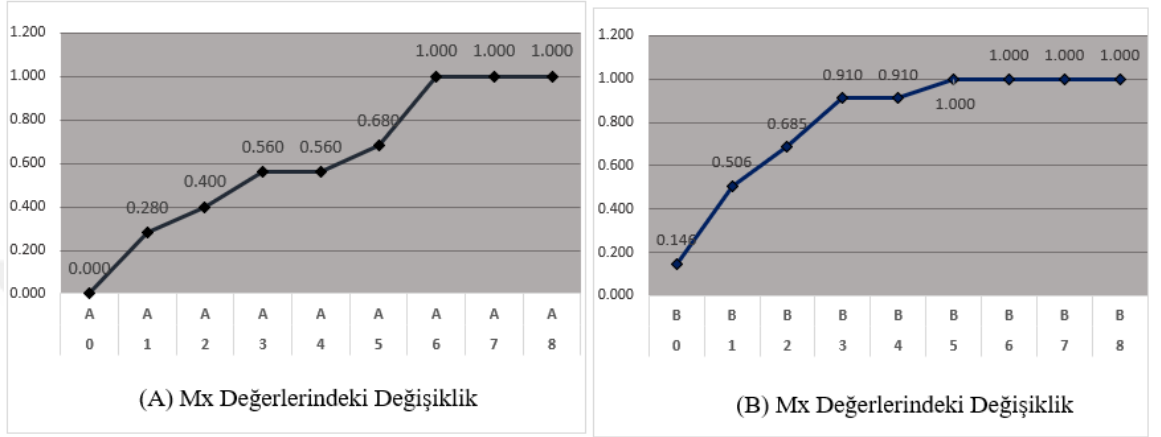
Yapılan düzeltme çalışması sonucunda toplam kapasite azaltılmıştır.

- Erken başlangıç tarihlerine göre yapılan planlama göre A kaynağı için atıl maliyet 1190'dan 6. Adımdan 8. adıma kadar 595'e düşmüştür.
- Erken başlangıç tarihlerine göre yapılan planlama göre B kaynağı için atıl maliyet 2040'dan 6. Adımdan 8. adıma kadar 1360'a düşmüştür.

Kaynak miktarında değişiklik yapılmadığından kullanılan kaynak miktarı değişmemiştir.

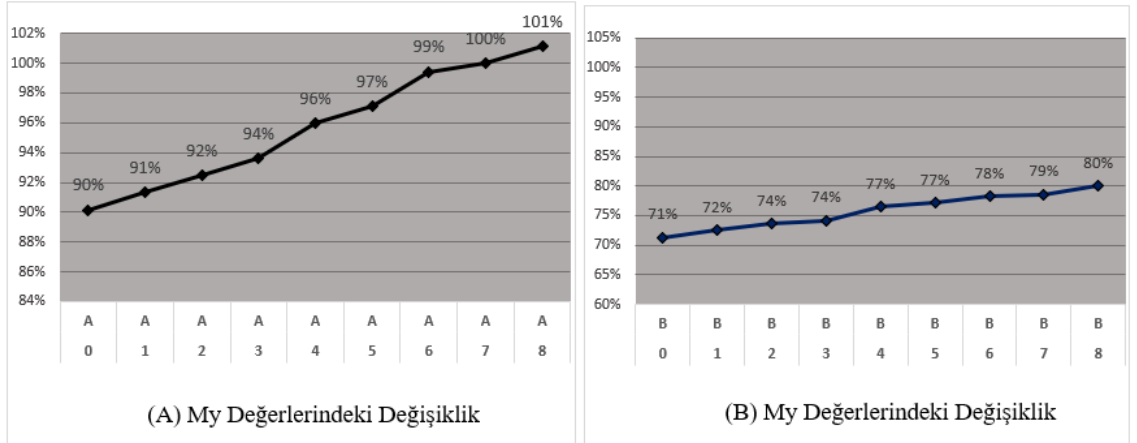
A ve B kaynak profilinde yapılan 8 adımlı kaydırma sonucunda indeks değerindeki değişiklikler Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19 ve Şekil 20’de belirtildiği gibidir.

- **Kaynak momenti - x eksenine veya zaman eksenine göre (M_x)**



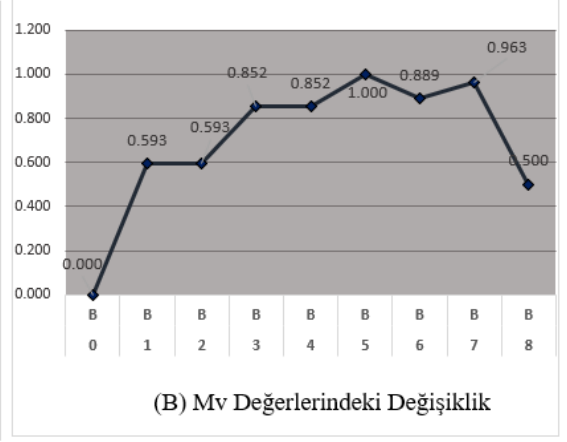
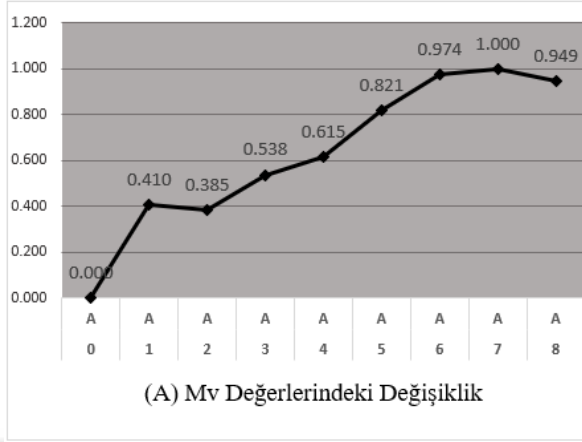
Şekil 27: M_x Grafiği

- **Kaynağın y eksenine göre momenti (M_y)**



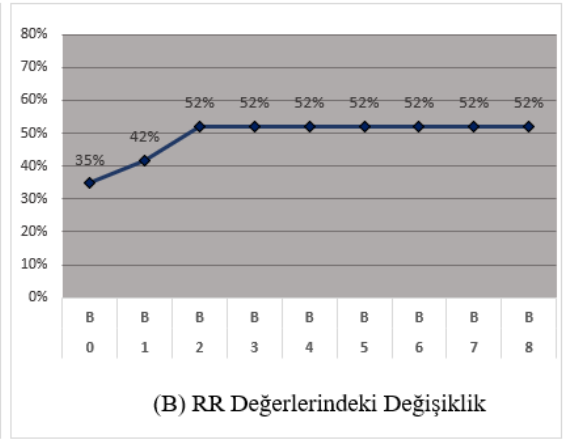
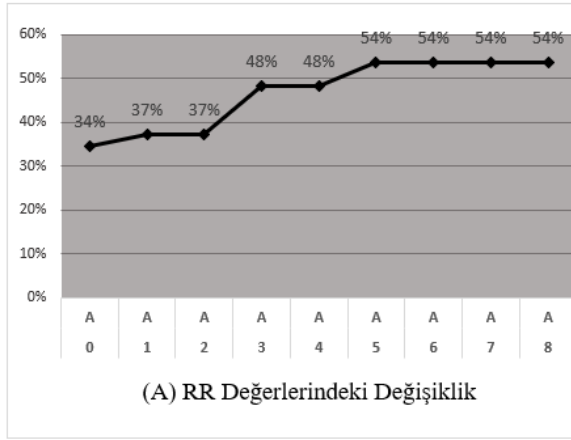
Şekil 18: M_y Grafiği

- *Kaynak değişim momenti (Mv)*

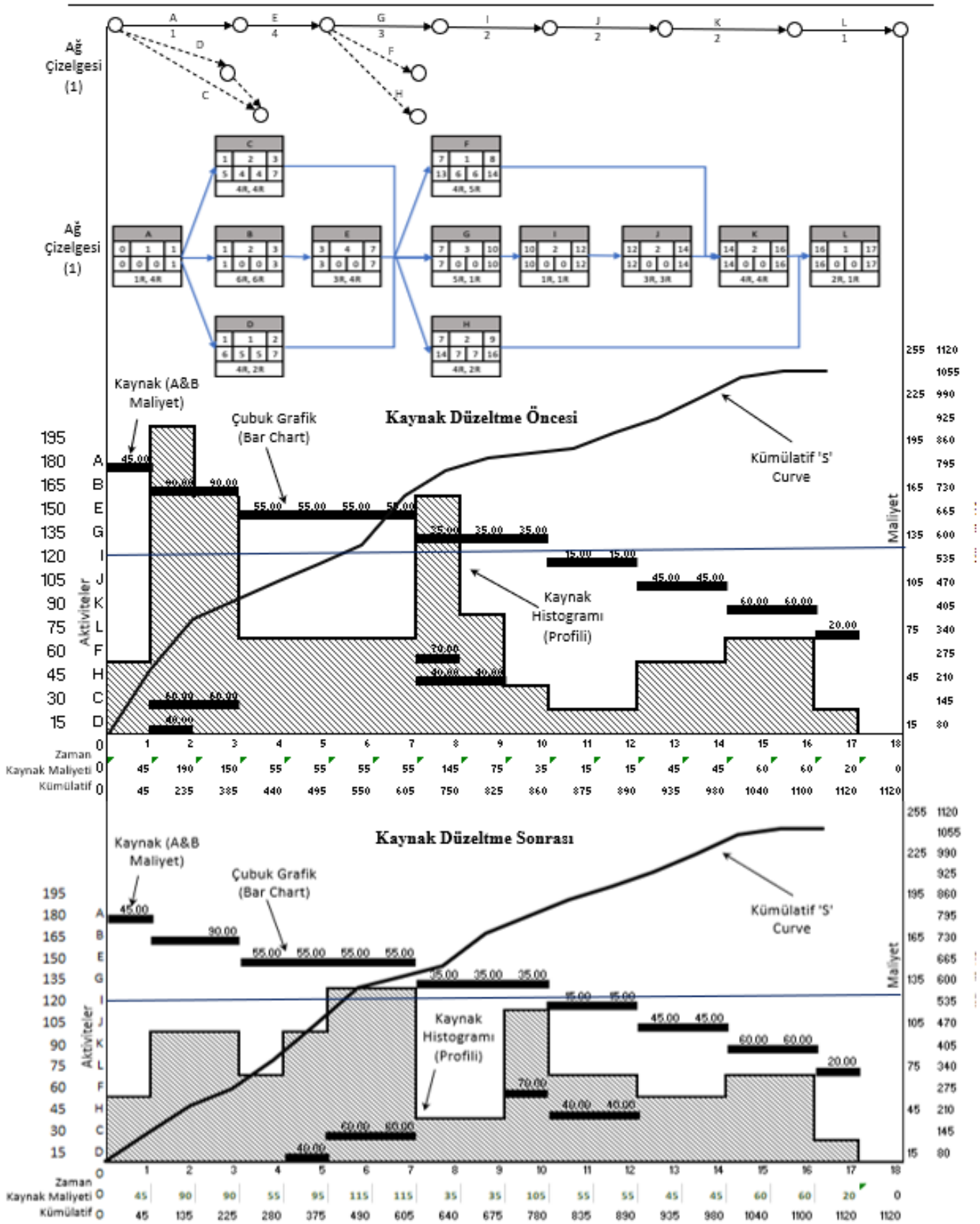


Şekil 19: Mv Grafiği

- *Kaynak kullanım oranı (RR)*



Şekil 20: RR Grafiği



Şekil 21: Örnek CPM seriminin kaynak düzeltme sonrası durumu

KAYNAKÇA

- Akpan, E. O. (2000). Resource smoothing: a cost minimization approach. *Production Planning & Control*, 11, 775-780.
- Archive, W. (2005). *What is Civil Engineering*, The Canadian Society for Civil Engineering. Web Archive: <https://web.archive.org/web/20150419024439/http://whatiscivilengineering.sce.ca/civil1.htm> adresinden alındı
- Arditi, D., Tokdemir, O., & Kangsuk, S. (2002). Scheduling System for Repetitive Unit Construction Using Line-of-Balance Technolgt. 8(2), 90-103. Engineering, Construction and Architectural Management.
- Baker, K. (1974). Introduction to Sequencing and Scheduling.
- Burgess, A. R., & Killebrew, J. (1962). Variation in activity level on a cyclic arrow diagram. *J. Industrial Engrg*, 13(2), 76-83.
- Christodoulou, S. E., Ellinas, G., & Michaelidou-Kamenou, A. (2010). Minimum Moment Method for Resource Leveling Using Entropy Maximization. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(5), 518-527.
- Cleland, D., & King, W. (1983). *Systems Analysis and Project Management*. McGraw-Hill Companies.
- Çelikçapa, F. O. (2015). *Üretim Planlaması*. Ekin Yayınevi.
- Demir, H., Avunduk, H., & Güler, H. E. (2016). *Proje Plalama ve Yönetimi*. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- Eldosouky, A. (2021). An Efficient Technique for Smoothing Project's Demand for Multiple Resources. *Mansoura Engineering Journal*, 17(3).
- Elsik, C. A. (1970, Ağustos). Multiple Resource Allocation (Smoothing) Among Multiple Projects. Houston, ABD: The Faculty of the Deartment of Industrial Engineering University of Houston.
- Galbreath, R. (1965). Computer program for leveling resource usage. *Journal of the Construction Division*, 91(1), 107-124.
- Haddad, O., Mirmomeni, M., Mehrizi, M., & Marino, M. (2010). Finding the shortest path with honey-bee mating optimization algorithm in project management problems with constrained/unconstrained resources. *Computational Optimization and Applications*, 97-128.
- Harris, R. B. (1990). Packing Method for Resource Leveling (PACK). *Journal of Construction Engineering and Management*, 125, 167-175.
- Heagney, J. (2012). *Fundamentals of Project Management*. Amacom.

- Hegazy, T. (1999). Optimization of Resource Allocation and Leveling using Genetic Algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management. Journal of Construction Engineering and Management*, 167-175.
- Hiyassat, M. A. (2000). Modification of Minimum Moment Approach In Resource Leveling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(4), 278-284.
- Hiyassat, M. A. (2001). Applying Modified Minimum Moment Method to Multiple Resource Leveling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(3), 192-198.
- Kaplan, O. (2012). Proje Yönetiminde Maliyetlerin Minimizasyonu ve İnşaat Sektöründe Uygulanması. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Kim, J., Kim, K., Jee, N., & Yoon, Y. (2018). Enhanced Resource Leveling Technique for Project Scheduling. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 461-466.
- Knutson, J. B. (1991). *Project Management*. Amacom.
- Kobu, B. (2017). *Üretim Yönetimi*. İstanbul: Beta Basım Yayım.
- Koçel, P. D. (2020). *İşletme Yöneticiliği* (18 b.). İstanbul: Beta.
- Leachman, R. C. (1981). Multiple Resource Smoothing in Shipyard Planning. University of California.
- Lethaby, W. (1912). *Architecture An Introduction to the History and Theory of the Art of Building (2nd Revised ed.)*. London: Thornton Butterworth Ltd.
- Lethaby, W. R. (1912). *Architecture An Introduction to the History and Theory of the Art of Building (2nd Revised ed.)*. London: Thornton Butterworth Ltd.
- Marion, J. W. (2019). *Project Management : A Common-Sense Guide to the PMBOK Program, Part Two–Plan and Execution*. New York: Momentum Press Engineering.
- Markou, C., Koulinas, G., & Vavatsikos, A. (2017). Project resources scheduling and leveling using Multi-Attribute. *Expert Systems With Applications*, 160-169.
- Martinez, J., & Ioannou, P. (1993). Resource Leveling Based on the Modified Minimum Moment Heuristic. *5th Int. Conf. Computing in Civ. and Build. Engrg.* (s. 287-294). Reston: ASCE.
- Mutlu, M. Çağdaş (2010). A Branch And Bound Algorithm For Resource Leveling Problem, Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi
- Özdemir, İ., & Bıçkıcılar, N. (1993). Bina İnşaatında Bilgisayar Destekli Kısıtlı Süre - Sınırsız Çoklu Kaynak Dengelemesi. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi*, 671-684.

- Ponz-Tienda, J., Salcedo-Bernal, A., Pellicer, E., & Benlloch-Marco, J. (2017). *Improved Adaptive Harmony Search algorithm for the Resource Leveling Problem with minimal lags, Automation in Construction*.
- Scham, S. (2008). *The World's First Temple Archaeology Archive*. Archaeology Magazine Archive: <https://archive.archaeology.org/0811/abstracts/turkey.html> adresinden alındı
- Selvam, G., & Tadepalli, T. (2019). Genetic algorithm based optimization for resource leveling problem with precedence constrained scheduling. *International Journal of Construction Management*.
- Sen Leu, S., Huang, J.-C., & Yang, C.-H. (2000). Resource leveling in construction by genetic algorithm-based. *Automation in Construction*, 27-41.
- Top, A., & Yılmaz, E. (2018). *Üretim Yönetimi*. İstanbul: İdeal Kültür Yayıncılık.
- Wiest, J. a. (1977). A management guide to PERT/CPM. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Woodworth, M. W., & Willie, C. J. (1975). A Heuristic Algorithm for Resource Leveling in Multi-Project, Multi Resource Scheduling. *Decision Sciences*, 6(3), 525-540.
- Yeniocak, H. (2013). An Efficient Branch And Bound Algorithm For The Resource Leveling Problem. Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi.
- Yılmaz, H., & Dikmen, S. (2012). Osmanlı Döneminde Kullanılan Yaklaşık Maliyet. *e-Journal of New World Sciences Academy*, (7(1)), 73-83.