

## **BİNA İNŞAATINDA EN AZ MALİYETLİ YAPI TESLİM SÜRESİNİN BULUNMASI**

İlker ÖZDEMİR<sup>1</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, en düşük maliyetli proje tamamlanma süresinin belirlenmesinde literatürde Süre/Maliyet Optimizasyonu olarak bilinen algoritmanın bina inşaatına sayısal uygulanmasında PC bilgisayarlarda kullanılmak üzere hazırlanmış ve geliştirilmiş bir program ve çıktıları değerlendirmeli olarak verilmeye çalışılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Süre-Maliyet Optimizasyonu, Proje Planlaması, Direkt ve Endirekt Gider Analizi

## **DETERMINATION OF BUILDING CONSTRUCTION DUE DATE HAVING MINIMAL COST**

**ABSTRACT:** In this study, explained of a computer program and its applications to determine building construction completing time with known as Time/Cost Trade-off Algorithm in literature. A numerical application is prepared and developed for having minimum cost project duration adjusted for PC's and it has been aimed to give an interpretation of outputs.

**KEYWORDS:** Time/Cost Trade-off Algorithm, Project Planning, Direct and Indirect Cost Analysis

---

<sup>1</sup> İlker ÖZDEMİR, Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. İnşaat Müh. Bölümü, 26480 Batı Meşelik ESKİŞEHİR Tel: (0222).2392840/213; Fax: (0222).2393613; E-mail: iozdemir@ogu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

İnşaat yatırımlarında önemini hiç yitirmeyen öncelikli problemlerden birisi de yatırımın en az giderli sürede gerçekleştirilmesidir. Projede uygun işlemlerin kısaltılması yoluyla yapılan bu eniyilemede direkt işçilik giderleri artarken endirekt giderler azalmakta, bu gider artış ve azalışlarının ordinat değerleri toplamının oluşturduğu toplam üretim giderleri eğrisinin minimum noktasına karşı gelen süre de en az maliyetli yatırım süresini vermektedir [1].

Proje süresi ile toplam yatırım gideri arasında en uygun noktayı bulmayı amaçlayan ilk çalışmalardan bu iki parametre arasında fonksiyonel bir bağıntı kurmaya yönelik [2] ve bir serim akış çözümü öneren [3] araştırmalara değinmek yerinde olacaktır. Her iki çalışmada da yapılan kabuller şunlardır:

- Tipik bir proje işleminde doğru şekilde bir süre-gider bağıntısı, sürekli ve içbükey bir fonksiyon vermektedir.

- Çeşitli fonksiyonlar birbirinden bağımsızdır.

- Gerçekçi bir doğrusal veya parçalı doğrusal yaklaşım, içbükey fonksiyona sahip her bir işlem için elde edilebilir.

Günümüzde kullanılan bilgisayarlardaki gelişim, tekniklerdeki ilerlemeler ve yenilikler yukarıda sözü edilen pek çok sorunun ortadan kalkmasıyla birlikte ülkemizde olduğu gibi gelişmekte olan birçok ülkede konunun ve yöntemin önemi henüz tam olarak anlaşılmış değildir. Bu nedenle, yöntemin özellikle inşaat sektöründe bir parça tanıtımını, getireceği faydaları vurgulamak; yapım alanında uygulayıcılara mesaj vermek amacıyla yapılan bu çalışmada Out-off Kilter Algoritması'nın bir özel uygulaması olan Time-Cost Trade Off yönteminin bir büyük kentte yapımı sürdürülen toplu konut inşaatının 97 işlemlerini kapsayan CPM seriminde, hazırlanan bir bilgisayar programı çerçevesinde, amaca uygun ve şantiye koşullarında kullanım ve uygulaması verilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma 1997 yılında Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi'nde sunulmuştur [4].

## **II. SÜRE PLANLAMASI VE İŞ PROGRAMLARI**

Proje, işin bütünü tamamlanmadan önce belirli bir sırala gerçekleştirilmek zorunda olan, birbirleriyle ilişkili işlemlerin bir kombinasyonu [5]. Projeyi oluşturan işlemlerin yerine getirilebilmesinde zaman ve kaynağa gereksinim vardır. İnşaat yatırımlarının en önemli amaçlarından birisi, projeyi zamaında bitirip teslim etmek olduğuna göre yapılacak ilk işin yatırım süresinin planlaması dduğu söylenebilir.

İş programı hazırlanmasında amaç, projeye ait zaman aralıklarının ve kaynakların tespit edilmesidir. Bu yönüyle inşaat işletmelerinde süresel plalama yöntemleri diğer işletmelerden farklılık göstermektedir. Sanayi ve endüstride üretimi yapacak makine ve araçların kapasiteleri bellidir. İş programı başlangıçta bir kez yapılır ve yönetici de bu programa uymakla sorumludur. İnşaat işlerinde ise, işin tamamlanma süresi başlangıçta saptanır. Dolayısıyla kullanılacak araç, gereç işgücü ve kaynak miktarı projenin her aşamasında yeniden hesaplanmak ve gözden geçirilmek zorundadır [6]. Yönetimin farklı seviye, amaç ve dönemlerinde önem kazanan süre planlaması, master plan ve iş programı olarak iki aşamada yapılır. Üst yönetim, projenin master plan hedefleriyle ilgilenirken şantiye yönetimi iş programı ve kısa vadeli planlara ağırlık vermektedir [7].

## **III. İNŞAAT MALİYET BİLEŞENLERİ**

Yatırımcı ya da yapımcı kuruluşlar açısından bakıldığında inşaat şinde önemli olan temel maliyet bileşenleri ;

- . Direkt (dolaysız) maliyetler
- . Endirekt (dolaylı) maliyetler
- . Fırsat ve alternatif maliyetleri olarak üç ana grupta toplanabilmektedir [5].

Olmakla makalede ilk iki maliyet bileşeni üzerinde durulmuş, "Fırsat ve alternatif maliyetler" daha ayrıntılı ve uzun diğer parametreleri de içerdiğinde esas çalışma içinde gözönüne alınmamıştır.

### **III.1. Dolaysız Maliyetler**

Herhangi bir işlemin tamamlanması için gerekli işçilik ücretleri ve makine kiralrı ya da sahip olunan makinelerin amortisman değerleri (DG), yapının bünyesinde kullanılan her türlü malzeme bedelleri (DG<sub>1</sub>) ve yapım sırasında eksik kapasite kullanımından doğan ek parasal giderler (DG<sub>2</sub>) bu maliyet gurubunu oluşturmaktadır.

Dolaysız işçilik giderleri;

$$DG_1 = \sum_{i=1}^n (A_i \times t_i \times d_i \times k_A + B_i \times t_i \times d_i \times k_B) \quad (1)$$

formülüyle özetlenebilir. Burada;

$DG_1$  : Projenin dolaysız işçilik ve makine maliyet toplamı (TL)

$t_i$  : İşlemin normal tamamlanma süresi (gün)

$d_i$  : Her işlem için günlük çalışma süresi (saat)

$k_A$  : İşçilik saat ücreti (TL/saat)

$k_B$  : Makine kirası (TL/saat)

$A_i$  : İşlem için gerekli işçi sayısı (adet)

$B_i$  : İşlem için gerekli makine miktarı (adet)

parametrelerini ifade etmektedir.

Dolaysız malzeme maliyetleri, belli bir işlemle ilişkisi kurulabilen, belirli bir süre içerisinde tüketilen veya ilgili işlem için satın alınarak diğer malzemelerden nesnel olarak ayrılabilen tüm malzemelerin maliyetleri toplamıdır ve  $DG_1$  ile simgelenmiştir. Eksik kapasite kullanımından ortaya çıkan maliyetler olarak, boş kalan işgücü, makine, enerji kesintileri, malzeme teminindeki güçlükler ve iş kazaları vb. faktörler sayılabilir.

Bu tür maliyetler;

$$DG_2 = \sum_{i=1}^n c \cdot DG_1 \quad (2)$$

formülüyle özetlenebilir. Burada tanımlanan "c", aşağıda verilen (3) nolu eşitlikte sınırları gösterilen ve olasılık hesapları veya tecrübeye bağlı olarak belirlenen bir katsayıdır.

$$0 < c < 1 \quad (3)$$

### **III.2. Dolaylı Maliyetler**

İnşaatın bünyesine girmekle birlikte belirli bir işleme ait olmayan, ancak gözönüne alınmadan da bir inşaatın tamamlanması olanağı bulunmayan ikincil maliyet gurubudur.

- Sabit dolaylı maliyetler, ihale tarihi ile inşaatın fiilen başladığı (işyeri teslimi) tarih arasındaki kısa zaman dilimi içerisinde yapılan giderler toplamıdır. Proje süresinden bağımsız olan bu maliyetler, ilk tesvi ve kuruluş giderleri, sözleşme ve noter harçları ve şantiye altyapı tesisleri gibi unsurları kapsamaktadır,  $EG_1$  ile simgelenmişlerdir.

- Değişken dolaylı maliyetler, inşaatın gerçekleştiği süre içerisinde yapılan fakat işlemlere yüklenemeyen harcamaların toplamıdır. Bu maliyetler, inşaatın büyüklüğü ve yapım süresine bağlı olarak değişmektedir.

$$EG_2 = c_e \cdot DG_1 \frac{S_g}{S_p} \quad (4)$$

(4) formülüyle tanımlanan bu maliyet gurubunda;

$EG_2$  : Dolaylı değişken maliyetler toplamı (TL)

$c_e$  : Şantiye ve inşaat büyüklüğüne bağlı bir katsayı

$S_g$  : Gerçekleşen yatırım süresi (gün)

$S_p$  : Planlanan yatırım süresi (gün)

olarak ifade edilmektedir.

## V. YÖNTEM VE ALGORİTMA

Yatırım projelerinde kullanılan para, işgücü, makine ve malzeme gibi kaynakların kısıtlamaları gözönüne alınmadan bu kaynakların bir miktar daha fazla kullanımıyla projenin teslim süresini kısaltarak sonuçta ortaya çıkacak maliyetler ve toplam maliyetteki azalmanın belirlenmesi bir süre-maliyet eniyilemesi çalışmasını gündeme getirmektedir. Bu doğrultuda dolaysız ve dolaylı maliyetleri ayrı ayrı ele almak daha anlamlı olmaktadır. Nitekim bu maliyet guruplarının değişimi de birbirlerinden farklılık göstermektedir. Dolaysız maliyetler, işlemlerin yapılış şekilleri, yöntem ve yapılan iş miktarlarına göre değişiklik gösterirken dolaylı maliyetler ise projenin bütünüyle ilgili ve süreyle değişen bir özellik ortaya koymaktadır [8].

Projenin en az giderle tamamlandığı sürenin bulunabilmesi için, maliyetlerin normal ve erken gerçekleşme süreleri arasındaki değişiminin belirlenmesi önemli olmaktadır. Dolaylı giderlerin sabit ya da değişken olması, giderlerin zamanla değişimine bağlıdır. Dolaysız giderler ise bunların tersine bir değişim göstermektedir. Dolaysız malzeme giderleri yatırımın toplam süresine bağlı olmadığına göre değişikliği meydana getiren faktör işçilik giderlerinden ortaya çıkmaktadır. Projeyi oluşturan işlemlerin sürerini maliyet artışı olmadan kısaltmak için;

-Ekip büyüklüğünü artırmak ( ekip içinde 5 yerine 7 işçi çalıştırmak)

-Ekip sayısını artırmak ( 2 ya da daha fazla ekip çalıştırmak) gibi uygulamalar düşünülmelidir.

Doğrusal olmayan biçimde dolaysız maliyetleri artıran süre kısaltıcı çözümler ise;

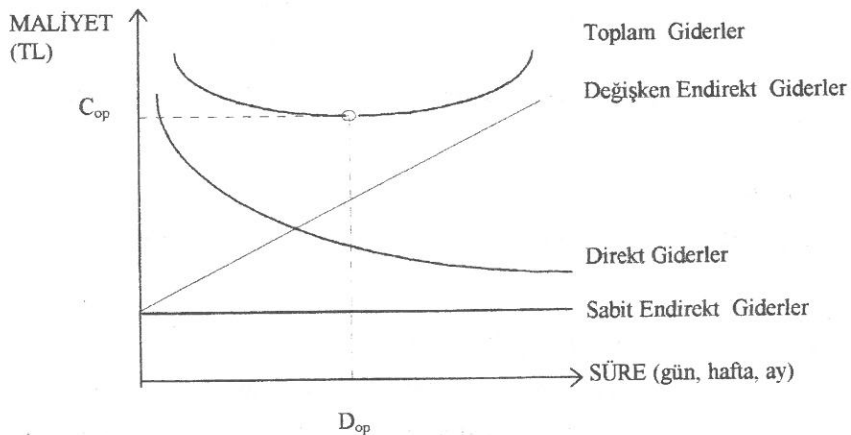
- Aynı ekibe fazla çalışma yaptırmak (bu fazla ödemeyi gerektiren bir etkidir)
- Ekiplere vardiya (ikinci, üçüncü posta çalışmaları) yöntemiyle çalışma uygulamak
- İşleri parça sayısı hesabıyla işyeri dışında (siparişe) yaptırmak
- Standart üzeri üretimde bulunan ekibe prim vermek

olarak özetlenebilir. Ancak yukarıda sıralanan çözümlerde üretimin hızı kısıt teşkil etmekte ve sonuçta gider büyük ölçüde artmaktadır [1].

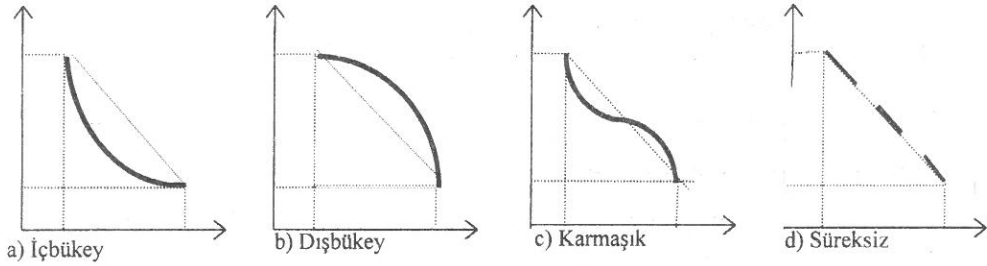
Sipariş maliyet sistemine göre çalışan inşaat sektöründe işin bitiş tarihi genellikle önceden belirlenmektedir. Dolaylı giderlerdeki değişkenlik maliyet muhasebesinde üretim miktarına, serim planlamalarında ise süreye bağlı olmaktadır. Söz konusu gider değişimleri Şekil 1 de grafik olarak ve birarada gösterilmiştir.

Grafiğin oluşturulmasında amaç, en az gideri veren yatırım süresini bulmaktır. Grafikte enflasyon, fiyat ve ücret değişimleri ve belirsizliklerin gözönüne alınmadığına dikkat edilmelidir. Ayrıca endirekt giderlerin de doğrusal olmayabileceği düşünülmelidir.

Şekil 2a'da gösterilen, normal işlemin direkt işçilik giderinin süre-maliyet grafiği doğrusal olarak değişebileceği gibi aşağıdaki gibi değişimler de söz konusu olabilmektedir (Şekil 2b,c,d,e). Bu durum, her zaman süredeki değişimin giderde aynı oranda bir değişim meydana getirmemesinden kaynaklanmaktadır. Gerçekte karşılaşılan modeller de bunlardan birine benzemektedir.



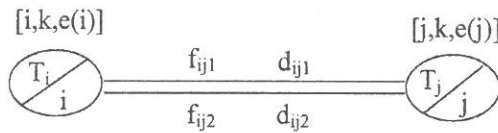
Şekil 1. Süre maliyet değişim eğrileri.



Şekil 2. Değişik işlem dolaysız işçilik süre-maliyet eğrileri.

Yukarıda bahsedilen eniyileme işlemini gerçekleştirebilmek için CPM Serim Akış Algoritması kullanılmaktadır. Temelde Out-off Kilter Algoritmasının bir uygulaması olan yöntemde esas amaç, serim işlemleri arasında bu işlemleri kapasitelerine bağlı olarak başlangıç düğümünden bitişe enbüyük akımın gönderilebilmesidir. Yöntemin tanımı kısaca şöyle yapılabilir:

$i$  ve  $j$ , yatırım seriminin herhangi iki düğümü ve bunları birleştiren ayrıt da işlemin özelliklerini tanımlayan parametreleri içeren bir akım yolu kesimi olsun (Şekil-3);



Şekil 3. Bir serim işleminde ayrıt ve düğüm parametreleri.

Burada;

- $e(i)$ ,  $e(j)$  : Düğümden çıkan ve düğüme gelen akım miktarları
- $k^{\pm}$  : Akımın geldiği yol ve yön ( $k = \pm 1, \pm 2$ )
- $i$  : Akımın geldiği düğüm
- $S_1, S_2$  : Düğümlerin işaretlenme durumuna göre ayrıt kümeleri
- $\Delta_1, \Delta_2$  :  $S_1$  ve  $S_2$  deki enküçük  $|d_{ijk}|$  değerleri ;  $\Delta = \min(\Delta_1 \vee \Delta_2)$
- $\tau$  : İlk Proje Süresi

$D_{ij}, (d_{ij})$	: İşlemlerin normal, (zorlanmış) süreleri
$T_i, T_j$	: Düğümlerin erken tamamlanma zamanları
$f_{ij1}$	: Ayrıtın 1.yolundan geçen akım miktarı
$f_{ij2}$	: Ayrıtın 2.yolundan geçen akım miktarı
$C_{ij1}$	: Ayrıtın 1.yolunun kapasitesi ( $=C_{ij}$ )
$C_{ij2}$	: Ayrıtın 2.yolunun kapasitesi ( $=\infty$ )
$d_{ij1}$	: Ayrıtın normal süresi ( $=D_{ij}$ )
$d_{ij2}$	: Ayrıtın zorlanmış süresi ( $=d_{ij}$ )
$d_{ij1}$	: $T_i + d_{ij1} - T_j$ ( $d_{ij1} \neq d_{ij1}$ )
$d_{ij2}$	: $T_i + d_{ij2} - T_j$ ( $d_{ij2} \neq d_{ij2}$ )
$C_{ij}$	: Birim zorlanma bedeli
$K_{ij}$	: $C_{ij}$ nin ordinatı kestiği yer
$X_{ij}$	: İşlemin gerçekleşme süresi ( $d_{ij} \leq X_{ij} \leq D_{ij}$ )

#### IV.1. Yöntemin Matematiksel Modeli

$$C_{ij} = \frac{-(C_d - C_D)}{D_{ij} - d_{ij}} \quad (5)$$

$$C = - C_{ij} \cdot X_{ij} + K_{ij} \quad (6)$$

$$\text{Amaç fonksiyonu } Z_{\min} = \sum \sum (K_{ij} - C_{ij} \cdot X_{ij}) \quad (7)$$

$$\text{veya } Z_{\max} = \sum \sum C_{ij} \cdot X_{ij} \quad (8)$$

$$\text{Kısıtlayıcılar } T_i + d_{ij} - T_j \leq 0 \quad (\text{Tüm işlemler için}) \quad (9)$$

$$T_N - T_1 \leq \tau \quad (10)$$

$$X_{ij} \leq D_{ij} \quad (\text{Tüm işlemler için}) \quad (11)$$

$$X_{ij} \geq d_{ij} \quad (\text{Tüm işlemler için}) \quad (12)$$

Algoritmanın özünü teşkil eden akım gönderme yöntemi eşitliklerle gösterilecek olursa;

$$k^+ \text{ için } e(j) = \min[e(i) \vee C_{ij} - f_{ijk}] \text{ ok yönünde akım varsa} \quad (13)$$



$$k \text{ için } e(j)=\min[e(j) \vee f_{ijk}] \text{ tersi yönde akım varsa} \quad (14)$$

İki düğüm arasında kapasitenin uygun olmaması nedeniyle akım gönderilememesi durumunda oluşturulacak akım kümeleri ise;

$$S_1 = [(ijk) \mid i \text{ işaretli, } j \text{ işaretli, } d_{ijk} < 0], \Delta_1 = \min [-d_{ijk}] \quad (15)$$

$$S_2 = [(ijk) \mid i \text{ işaretli, } j \text{ işaretli, } d_{ijk} > 0], \Delta_2 = \min [d_{ijk}] \quad (16)$$

#### **IV.2. Yöntemin Algoritması**

Yöntemin algoritma adımları şu şekilde tanımlanabilir :

**Adım 1:** Proje işlemlerinin (t) sürelerinden yararlanarak yatırımın CPM modeli, I. keşfi ve işlem giderleri belirlenir.

**Adım 2:** Tüm proje düğümlerinin ve işlemlerin en erken ve en geç başlama ve tamamlanma zamanlarıyla serbest ve toplam bollukları, toplam yatırım süresi ( $T_y$ ) hesaplanır.

**Adım 3:**  $T_i$  ve  $T_j$  den yararlanarak  $d_{ijk}$  (süre) değerleri bulunur.

**Adım 4:** Tüm proje düğümleri işaretlenir,  $f_{ijk}$  (akım) değerleri hesaplanır.

**Adım 5:** Projenin son düğümü işaretlenemiyorsa 7. adıma, işaretleniyorsa izleyen adıma geçilir.

**Adım 6:** Bitiş düğümüne gelen akım sonsuz ise 8. adıma gidilir. Değilse yeni toplam yatırım süresi ( $T_y$ ) hesaplanır.  $T_y$  bir önce hesaplanan değerden büyükse 8. adıma değilse izleyen adıma geçilir.

**Adım 7:** Akım yolu boyunca  $S_1$  ve  $S_2$  kümeleri oluşturulur. Buradan  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  ve  $\Delta$  lar hesaplanır. İşaretlenemeyen düğümlerde  $T_i$  değerleri  $\Delta$  kadar azaltılır ve 3. adıma dönlür.

**Adım 8:** Bir önceki yatırım süresi ( $T_y$ ) ve Toplam Yatırım Maliyeti (TG) değerleri yazılır. Yeni süreler göre projenin CPM serimi oluşturulur.

**Adım 9:** İşlem sona erer.

#### **IV.3. Program Hakkında Açıklama**

İnşaat yatırımlarında iş ölçeklerinin büyümesi bunlara ait serim boyutlarına da yansımıştır. Bunun doğal sonucu olarak söz konusu serimlerin elle çözümü giderek olanaksız hale gelmiş ve bu noktada bilgisayarların kullanımı sözkonusu olmuştur. Veri yazılımlarıyla birlikte 240 satırdan oluşan orijinal program, ilk kez gerçek verilerle bir

toplu konut projesine uygulanmış, optimizasyondan sonraki yeni işlem sürelerine bağlı “Dengelenmiş CPM çözümü” bölümü sonradan eklenmiştir. Ayrıca, uzun işlem verileriyle listeler arasından, aranan değer kolayca bulunmasını teminen son kısımda bir alt program olarak “Binary Search” eklenmiştir.

Yazılım, çıktılar ve sonuç tabloları ile CPM Diyagramları bu çalışmanın kapsamına sığmayacağı için verilmemiş, yalnızca süre ve giderin en iyi değerlerinin hesaplanıp yazıldığı çıktı tablosu ve grafik gösterimine yer verilmiştir.

#### **IV. ÖRNEK PROJEYLE İLGİLİ AÇIKLAMALAR**

##### **V.1. Çalışma Yöntemi**

Örnek toplu konut projesi verilerinin toplanmasında şantiyede tutulan kayıtlar esas alınmıştır. Buna göre;

- Proje, 4 adet 3 daireli, 6 adet de 4 daireli, bitişik dubleks bloklardan oluşmaktadır. İnşaata 3 daireli bloklardan başlanmıştır [9]. Örnekte yalnızca kaba inşaat işleri gözönüne alınmıştır.
- Bütün bloklardaki işlem tamamlanma süreleri birbirlerine çok yakındır. Bu sonuç hazırlık ve işe alışma dönemlerinde ciddi süre kayıpları bulunduğu şeklinde açıklanabilir.
- İşlemlere ait imalat miktarları kontrollük teşkilatı tarafından onaylanmıştır.
- Malzeme miktar ve bedelleri, şantiye’ye gelen faturalardan, işçilik ücretleri bordrolarından alınmıştır.
- Şantiye’de çalışan ekiplere ait bilgiler çalışmanın kapsamını fiziksel olarak büyük ölçüde artıracığı düşüncesiyle makalede yer almamış, sayısal sonuçların ortaya konulmasına öncelik verilmiştir.

##### **V.2. Projenin Zorlama Bedelleri**

Şantiyenin küçüklüğünden dolayı ekip sayısını veya ekipteki işçi sayısını arttırmak mümkün değildir. Yatırımın normal teslim süresinden önce tamamlanabilmesi için düşünülen diğer çözümler şunlardır:

- Ekiplere fazla mesai yaptırmak
- İşlemlere ait yapım teknolojilerini değiştirmek

Uygulamanın yapıldığı örnek projeye ait şantiyenin çok yakınında aynı firma tarafından yürütülen ikinci bir inşaat daha bulunmaktadır. Söz konusu bu inşaat da birçok yönüyle örnek projenin özelliklerini taşımaktadır. Zorlama bedellerinin hesabında yukarıda sözü edilen ikinci inşaatdaki uygulamalar esas alınmıştır. Kalıp, duvar ve demir ekiplerine fazla mesai yaptırarak, beton ekibinde de teknolojiyi değiştirerek(-ör. fabrikasyon hazır pompa betonu kullanarak) işlerin hızlandırılacağı görülmüştür. İmalatlara ait zorlama bedellerinin hesabı da örnek olarak kalıp imalatında, toplu olarak aşağıda Çizelge 1’de gösterilmiştir. Zorlanmış süre maliyeti malzeme, işçilik ve fazla çalışma giderleriyle birlikte toplam (2.614.031.520 TL.) dir. Bu durumda zorlama bedeli (crashing cost):

$$\text{Zorlama bedeli } (C_{ij}) = \frac{2.614.031.520 - 2.534.831.520}{40 - 32} = 9.900.000 \text{ TL/gün}$$

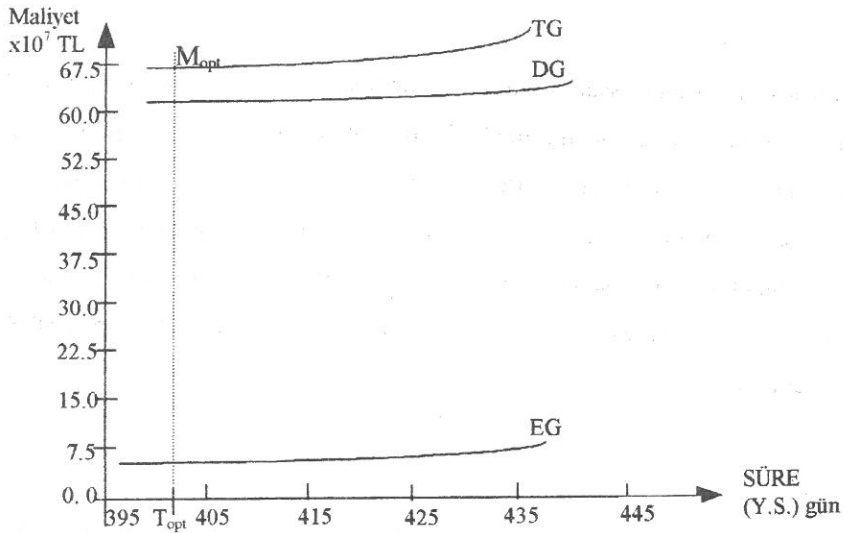
Çizelge 1 : İşlemlerin zorlama bedellerine karşı gelen süre maliyetleri

İmalatın Cinsi	Normal Tamamlanma Süre Maliyeti	Zorlanmış Süre Maliyeti	İşlem Zorlama Bedeli (C <sub>ij</sub> )
Kalıp	2.534.831.520	2.614.031.520	9.900.000 TL/gün
Beton	1.301.550.000	1.374.975.000	14.685.000 TL/gün
Yuvarlak Demir	1.339.350.000	1.070.250.000	7.740.000 TL/gü
Tuğla Duvar	629.250.000	645.450.000	n
			5.400.000 TL/gün

Örnek projenin çıktıları Çizelge 2’de, maliyet ve sürenin değişim eğrileri Şekil-4’de verilmiştir.

Çizelge 2. Örnek projenin süre maliyet bilgisayar çıktıları

YS	Dolaylı Giderler EG	Dolaysız Gider. DG	Toplam Giderler TG
438	6.672.360	62.745.000	69.417.360
434	6.618.480	62.754.600	69.373.080
433	6.605.010	62.759.400	69.364.410
427	6.524.190	62.813.400	69.337.590
424	6.483.780	62.840.400	69.324.180
421	6.443.370	62.875.950	69.319.320
417	6.389.490	62.923.350	69.312.840
413	6.335.610	62.970.750	69.306.360
406	6.241.320	63.053.700	69.295.020
404	6.214.380	63.077.400	69.291.780
399	6.147.030	63.136.650	69.283.680
396	6.106.620	63.179.400	69.286.020



Şekil 4. Örnek projenin süre - maliyet değişim grafiği.

## VI. SONUÇ

Uygulanan eniyileme yönteminin, teorik ve akademik denemelerden daha çok gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin çözümüne yardımcı olacak şekilde, yordamlama dışında, bilgisayar destekli ve sayısal verilerle sonuçlandırılmasına gayret edilmiştir. Yöntem ve bunun uygulamasından elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Birim zorlama bedellerine bağlı olarak yatırımın tamamlanma süresi ve toplam maliyeti değişmektedir.

- İşlemlerin birim zorlama bedelleri azaldıkça projenin toplam maliyeti düşmektedir. Bu da her iki faktörün doğru orantılı olarak değiştiğini göstermektedir.

- Örnek projedeki yatırım normal süresi 39 günlük bir azalmayla 438'den 399 güne düşmektedir. %9' luk bu azalmaya (zorlamaya) karşılık toplam maliyette (dolaysız giderlerdeki artışa rağmen) 69.417.360.000 TL. den 69.283.680.000 TL.'ye % 0.2'lik bir gerileme görülmektedir. Normal süreyle zorlanmış süre arasındaki maliyet farkı 133.680.000 TL.'yi bulmaktadır.

- Optimum yatırım süresinin karşılığı olan maliyetin normal süre maliyetine oranı ilk bakışta küçük bir değer gibi görünebilir. Ancak, yüklenici işi alırken yaklaşık 2.342.640.000 TL. lik bir kazanç beklemektedir. Bu beklenen kazanç, % 6 gibi bir oranı ortaya koymaktadır.

Örnek çözüm, projenin kaba inşaat işlerine uygulanmıştır. Kaba işlerin bitmiş yapıya oranı yaklaşık %35'dir. Bu da inşaatın tümü için uygulandığında bu yöntemin önemini ortaya koymaktadır. İterasyonlarda zorlama aralığı programca (algoritma gereği) belirlenmekte, her periyotta yeniden CPM sonuçları (süreler) hesaplanmakta; kritik yol/yollar bulunmaktadır. Zorlamalarda erken başlama değerleri küçük olan işlemler ve süreleri fazla olanların öncelikleri vardır. Proje süresindeki toplam süre kısaltmaları çıktılarda görülebilmektedir.

### **KAYNAKLAR**

- [1] İ. Özdemir, "Yatırımlarda Süre Maliyet Optimizasyonu", Yöneylem Araştırması XI. Ulusal Kongresi, 23 – 25 Eylül 1987 , İstanbul, Bildiri Kitabı, s. 120 – 130.
- [2] J. E. JR. Kelley and M. R. Walker, "Critical Path Planning and Scheduling", Proceeding of the Eastern Joint Computer Conference, 1959.
- [3] D. R., Fulkerson " A network flow computation for project cost curves" *Management Science*, Vol.7, 1961, pp.167 - 174.
- [4] İ. Özdemir, "Bina İnşaatında Yapı Teslim Süresinin En Az Maliyetli Hesabı", Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, 23 – 25 Ekim 1997, Bildiriler Kitabı s. 325 – 340.
- [5] O. Halaç, "*Kantitatif Karar Verme Teknikleri*", Arpas Matbaacılık, İstanbul, 1982
- [6] F. Bigat, "*Yapı İşletmesi*", Bozak Matbaası, Cilt II, İstanbul, 1980
- [7] E. Çetmeli, "*Yatırımların Planlanmasında Kritik Yörünge (CPM) ve PERT Metotları*", Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1972
- [8] T.M. Özsu, "*Proje Planlama ve Denetim Teknikleri*", Türkiye Bilişim Derneği Yayınları, Ankara, 1986.
- [9] F. Yavuz, "İnşaat Yatırımlarında Süre- Gider Optimizasyonu- Bir Uygulama", Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Eskişehir, 1992.