

# Harita Mühendisliğinde Proje Hızlandırma Uygulaması

E. Özgür Avşar<sup>1,\*</sup>, Melis Mine Şener Avşar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale.

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 34349, İstanbul.

## Özet

Tüm mühendislik alanlarında olduğu gibi harita mühendisliği projelerinde de kapsamın genişlemesi proje yönetimi kavramını zorunlu hale getirmiş ve planlama ihtiyacını arttırmıştır. Proje planlamada Kritik Yol Metodu (CPM) en bilinen ve kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemin işleyişini temel alarak projelerde sürenin kısaltılması ve maliyetlerin düşürülmesine yönelik proje hızlandırma (sıkıştırma) olarak bilinen çalışmalar yaygınlaşmıştır. Bir projenin süresinin kısaltılması genellikle maliyet artışı anlamına gelir. Ödünleşim problemi olarak bilinen bu çalışmalar eş zamanlı olarak karşıt taleplerin karşılanmasını esas alarak zaman – maliyet – kalite gibi projenin temel öğeleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada, proje kısıtları içerisinde zaman ve maliyeti en aza indirmeyi amaçlayan CPM tabanlı bir proje hızlandırma modeli sunulmuştur. Algoritması Matlab üzerinde geliştirilen model örnek bir inşaat projesine ait derlenmiş verilerle uygulanmıştır. Projeye ait iş akış diyagramı oluşturularak faaliyetler arasındaki öncelik ilişkileri belirlenmiştir. Toplam 512 farklı seçeneğin olduğu proje verilerine göre; projenin tamamlanma süresi en kısa 23 birim, en uzun 36 birim zaman, en düşük maliyeti 4205 birim, en yüksek 5700 birim para olarak hesaplanmıştır. Proje kısıtı olarak seçilen 29 birim zaman ve 5000 birim para ile değerlendirildiğinde 512 seçeneğin 26 tanesinin verilen kısıtları sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Proje kısıtlarını sağlayan tüm seçeneklerin kullanıcıya sunulmasına ek olarak kısıtları sağlayan seçeneklerin kısıtlardan farkına bağlı puanlandırması algoritmaya eklenmiş ve böylece kullanıcının karar verme aşamasının kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Sunulan model çok sayıda faaliyetten oluşan harita mühendislik projelerinde ve harita mühendislerinin de görev aldığı çok disiplinli projelerde planlama aşamasında katkı sunarak sözleşme isterlerinin etkin şekilde karşılanmasını sağlayacaktır.

## Anahtar Sözcükler

Proje Hızlandırma, Ödünleşim, Kritik Yol Metodu, Algoritma

## 1. Giriş

Günümüz koşullarında beklentiler, ekonomik unsurlar ve rekabetin artması tüm mühendislik alanlarında planlamanın önemini ortaya koymaktadır. Planlama; projeye dair amaçlar, projenin kapsamı, projede uygulanacak yöntemler, projede kullanılacak kaynaklar (iş gücü, malzeme, donanım, vb.), projenin tamamlanma süresi, projenin bütçesi, projenin müşteri beklentilerini karşılama seviyesi gibi pek çok konudaki bilgiyi işleyerek yapılacak projenin iş akışını, bu akışın içindeki faaliyetleri ve bu faaliyetlere ait detayları saptamak için yapılan bir dizi çalışmayı ifade etmektedir.

Temeli yeryüzüne dayanan mühendislik faaliyetlerinin her biri birer proje olarak ele alındığında, harita mühendisliği çalışmalarının da bu projelere dâhil olması kaçınılmazdır. Özellikle inşaat sektörü gibi alanlarda maliyet ve teslim tarihi hem işveren hem de yüklenici için rekabet konusunda ayırt edici öğelerdir. Genellikle harita faaliyetleri öncül faaliyetlerden olup, ana projedeki kritik yol üzerinde yer almaktadır. Bu durumda da söz konusu faaliyetlerin tamamlanma süreleri yüksek önem taşımaktadır. Genellikle bir faaliyetin süresi ve maliyeti birbirleriyle ters ilişkilidir. Başka bir ifadeyle, bir faaliyetin süresi azaltılınca, maliyeti artacaktır. Ayrıca bir hizmetin yerine getirilmesi, işin niteliğine göre teknik şartnamelerde önceden belirlenmiş bir doğruluk ve buna bağlı bir hassasiyet gerektirmektedir. Bu doğruluk - hassasiyet gereksinimi ilgili faaliyette kullanılabilecek yöntemleri, donanımı ve iş gücünü belirlemektedir. Bu koşullar dikkate alındığında projelerin yetkin kişilerce planlanması hem proje isterlerinin karşılanmasını sağlanmasını kolaylaştıracak hem de rekabet piyasasında öne geçme şansını arttıracaktır (Akyıldız Çapraz, 2011).

## 2. Proje Planlama ve Yönetimi

Bir proje, özgün bir ürün ya da hizmet üretmek üzere gerçekleştirilen ve belirli bir zaman dilimiyle kısıtlı çalışmadır. Dolayısıyla bir çalışmanın proje olabilmesi için iki özelliğe sahip olması gerekir. Birincisi, projenin sonunda ortaya çıkan ürün, diğerlerinden farklı, özgün olmalıdır. İkinci olarak da proje çalışmaları bir zaman dilimi ile kısıtlı olmalıdır. Yani her projenin bir sonu vardır. Faaliyet projenin alt kavramıdır, proje akışı boyunca yapılan işin elementlerinden her birine faaliyet denir. Bir faaliyet normalde beklenen bir süreye, beklenen bir maliyete ve beklenen kaynak gereksinimlerine sahiptir (İSO – KATEK, 2011). Proje için tanımlanan hedeflere kapsam, maliyet, kalite, zaman, kaynaklar ve riskler gibi kısıtlar doğrultusunda nasıl ulaşılabileceğiyle ilgili ayrıntıların oluşturduğu faaliyetler, proje yönetiminin, projenin planlanmasındaki temel işlevini yerine getirmektedir. Bu işlev yerine getirilirken sorulan sorulardan, özellikle “Kim?”, “Nasıl?” ve “Ne Zaman?” soruları cevaplandırılmaktadır (Suvacı ve diğ., 2013). Bu soruların cevaplandırılması için gereken yöntem ve araçlar proje yönetiminin temellerini oluşturur. Proje yönetiminin en önemli aşaması kuşkusuz ki planlamadır. Proje yönetiminin kapsamı dâhilinde olan planlama, proje metodolojisi ve proje tekniği tüm mühendislik projelerinde projenin başarısına etki eden etmenlerdir. Projelerin ulaşılması düşünülen

\* Sorumlu Yazar: Tel: (02862180018-1420)

E-posta: ozguravsar@comu.edu.tr (Avşar E. Ö.), melismsa@outlook.com (Şener Avşar M. M.)

hedeflere, istenilen tarihlerde ulaşabilmesi, belirlenen planlamanın uygulanması ile gerçekleşir. Bütün detayların, hangi faaliyetin ne zaman ve hangi sırayla gerçekleşeceğini planlanması projenin en verimli, en kaliteli ve en az maliyetle başarıya ulaşmasını sağlayacaktır (Kömürlü ve diğ., 2018).

## 2.1. Proje Planlama Yöntemleri

Günümüz koşullarının getirdiği karmaşa, rekabet ve yüksek beklentiler yürütülen projeleri de etkilemektedir. Bu durum yürütücülerin ve yöneticilerin, projeleri kontrolünü daha önemli hale getirmektedir. Etkili kontrol için daha iyi kontrol tekniklerine olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmaktadır. Proje programlaması için kullanılan teknikler kontrolün sağlanabilmesi konusunda oluşan ihtiyacı gidermeyi amaçlamaktadır. Proje programlaması için yaygın olarak kullanılan yöntem ve yaklaşımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Gantt şeması
  - Ağ diyagramları
  - Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (PERT)
  - Kritik yol metodu (CPM)
  - Öncelik diyagramı yöntemi (PDM)
  - Grafik değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (GERT) (Suvacı ve diğ., 2013)
- Çalışmada bu yöntemlerden “kritik yol metodu (CPM)” kullanılarak model oluşturulmuştur.

### 2.1.1. CPM

1956'da, E. I. Du Pont de Nemours Şirketi, Newark, Delaware'de şirketin mühendislik fonksiyonlarına yeni yönetim tekniklerinin olası uygulamasını incelemek için bir grup kurmuş ve inşaat projelerinin planlanması ve çizelgelenmesi bu grubun çalıştığı ilk alanlardan biri olmuştur. Bu grupta yer alan matematikçiler genel bir yaklaşım geliştirmişti. Bu yaklaşıma göre bilgisayara, işin sırası ve her bir faaliyetin uzunluğu hakkında bilgi beslenirse, bilgisayar bir iş programı oluşturabilmekteydi. 1957'nin başlarında, orijinal kavramsal çalışma revize edilmiş ve ortaya çıkan rutinler CPM'in temel kavramlarını oluşturmuştur. Aynı yılın sonuna doğru, yeni tekniği uygulamak için bir test grubu kurulmuş ve teknik daha sonra Kelley – Walker yöntemleri olarak adlandırılarak CPM literatürünün başlangıcını oluşturmuştur (O'Brien ve diğ., 2006). Zaman içerisinde pek çok araştırmacı bu konuda çalışmış ve CPM proje planlama yöntemleri arasında başat konuma gelmiştir. CPM faaliyet odaklıdır ve özellikle faaliyetlerin tamamlanma oranlarının net olarak ölçülebildiği inşaat ve yapı projelerinde kullanılır. CPM kullanan yöneticiler projenin belirli aşamalarını hızlandırmak için kaynak yüklemesi tekniğini kullanabilir. Kaynak yüklemesi, hızlandırılmak istenen faaliyet için ek insan, malzeme, araç vb. kaynakların projeye ilave edilmesidir. Eklenen ilave kaynakların projeye getireceği ek maliyetler olacaktır. Bu maliyetlerin projenin hızlanmasından kaynaklanan kazançlardan daha düşük olması durumunda kaynak yüklemesi verimli bir yöntem olacaktır (Suvacı ve diğ., 2013). Ancak ilave kaynak kullanımının maliyeti, sıklıkla beklentileri aşacağı için optimum kaynak arayışı ilave kaynak kullanımına tercih edilen bir seçenek olarak ortaya çıkar. Bu durum ödünleşim problemleri diye bilinen ikilemleri yaratır. CPM özellikle inşaat ve süreç sanayilerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. İnşaat endüstrisi, büyük operasyonlardan tek kişilik operasyonlara kadar çeşitli büyüklükteki şirketlerin heterojen bir karışımıdır. Boyutları ne olursa olsun, inşaat şirketleri benzer durumlarla ve bir dereceye kadar benzer süreçlerle karşı karşıya kalmaktadır. Hava durumu, sendikalar, kazalar, sermaye talepleri ve iş yükleri gibi birçok faktör bireysel kontrolün ötesinde ya da kontrol edilmesi zor faktörlerdir. Kamuoyu farkındalığının artması nedeniyle proje onaylarında yeni beklentiler arasında kirlilik ve çevreyle ilgili kontroller de sayılabilir. Tüm bu verilerin ışığında CPM, onaylama sunmaz, ancak tüm bilgileri proje yönetim ekibi için birleştirir (O'Brien ve diğ., 2006).

## 2.2. Harita Mühendisliğinde Proje Planlama

Yeryüzünün kendisi ve üzerindeki yapı, nesne ve olayların konumlarına ilişkin bilgilerin elde edilmesi, analizi, izlenmesi, görselleştirilmesi, iletilmesi, saklanması, yönetimi, modellenmesi ve bu bilgilerden yeni bilgiler üretilmesi harita mühendisliğinin temel çalışma alanlarıdır. Kentsel ve kırsal alan düzenlemeleri, kadaströ, kamulaştırma ve imar çalışmaları, altyapı ve üstyapı alanlarında gerçekleştirilen etüt ve projelendirme çalışmaları, her türlü mekansal bilgi sistemlerinin üretimi / yönetimi, kalite kontrol ve yeniden üretim alanlarında gerçekleştirilen endüstriyel ölçmeler, doğal veya yapay objelerin deformasyon ölçmeleri, sağlık, tarım, kültür, turizm, ormancılık, maden vb. alanlarda yürütülen konuma dayalı veri ihtiyacı olan her tür çalışmalar harita mühendislerinin görev aldığı disiplin içi veya çok disiplinli projelerdir. Günümüzde projelerde kullanımı neredeyse zorunlu hale gelen planlama ve programlama tekniklerinin bilinmesi sadece proje yönetim ekibi tarafından değil, projede görev alan mühendisler ve diğer teknik personel açısından da gereklilik haline gelmiştir. Projede yürüteceği faaliyetlerde istenen başarıyı yakalayabilmesi ve olası sorunlar karşısında zamanında önlemler alabilmesi için harita mühendisinin de bu konuda yeterli bilgi birikimine ihtiyacı vardır. Harita mühendisinin çalışmalarını bir programlama tekniği çerçevesinde planlamadan önce yapacağı ön değerlendirme ve projeye yönelik incelemeler büyük önem taşımaktadır. Bu aşamada harita mühendisi aşağıdaki hususları göz önünde bulundurmalıdır:

- Projede kapsamında yer alan tüm haritacılık faaliyetlerinin belirlenmesi ve birbirleri arasındaki ilişkilerin kurulması,
- Yapılacak çalışmaların standartlarının belirlenmesi,
- Her bir etkinlik için gerekli olabilecek donanım ve personelin belirlenmesi,
- Çalışma bölgesindeki iklim, topografya, bitki örtüsü, ulaşım gibi faktörlerin analizi ve projeye olabilecek etkilerinin ortaya konması.

Hemen her türlü mühendislik çalışmasında önemli görevler üstlenen harita mühendislerinin proje faaliyetlerine yönelik yapmış oldukları klasik ölçme, aplikasyon, hesap ve kalite kontrol gibi değerlendirmeler proje yönetim birimleri için büyük önem taşımaktadır. Para, zaman ve işgücü kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması için haritacılık çalışmalarının da gelişmiş programlama teknikleri kullanılarak etkin bir şekilde yönetilmeleri kaçınılmazdır. Böylece planlama aşamasında projenin amacı, süresi, mali kaynaklarının analizi doğru şekilde yapılabilecektir (Ergün, 2006). Konuma dayalı her türlü verinin üretiminden sonuç ürünün elde edilmesine kadar olan çeşitli aşamalar, bu aşamalarda uygulanacak yöntemler, kullanılacak donanım ve insan gücü, hassasiyet, doğruluk ve tüm bunlara bağlı olarak süre, maliyet, kalite, işçi sağlığı ve iş güvenliği göz önüne alındığında planlama; harita mühendisliği çalışmalarında önemli bir alan teşkil etmektedir.

### 3. Çok Kriterli Karar Verme

Çok kriterli karar verme, karar vericinin sayılabilir sonlu ya da sayılamaz sayıda seçenekten oluşan bir küme içinde en az iki kriter kullanarak yaptığı seçim işlemi olarak tanımlanabilir. Çok kriterli karar verme konusunda birçok yöntem geliştirilmiştir. Çok kriterli karar verme (Multiple criterion decision making) alanındaki sistematik araştırmayı kolaylaştırmak için Hwang ve Yoon çok kriterli karar verme problemlerinin iki ana kategoride sınıflandırılabilirliğini öne sürmüştür: Farklı amaçlara ve farklı veri türlerine bağlı olarak çok ölçütlü karar verme (Multi attribute decision making) ve çok amaçlı karar verme (Multi objective decision making). İlki, genellikle sınırlı sayıda önceden belirlenmiş alternatifler ve farklı tercih derecelendirmeleri ile ilişkilendirilen değerlendirme aşamasında uygulanır. İkincisi, belirli kısıtlamalar dâhilindeki çeşitli etkileşimleri göz önünde bulundurarak en uygun veya amaçlanan hedeflere ulaşmayı amaçlayan tasarım / planlama modeli için özellikle uygundur (Ersöz ve diğ., 2010). Çok ölçütlü karar verme sonlu sayıda seçeneğin seçilme, sıralanma, sınıflandırma, önceliklendirme veya elenme amacıyla genellikle ağırlıklandırılmış, birbirleri ile çelişen ve aynı ölçü birimini kullanmayan hatta bazıları nitel değerler alan çok sayıda ölçüt kullanılarak değerlendirilmesi işlemidir (Tzeng ve diğ., 2011).

Çok amaçlı karar verme ise matematiksel kısıtlar yardımı ile tanımlanan sınırsız sayıdaki alternatifleri içeren amaç problemlerinin çözülmesi işlemidir. Çok amaçlı karar verme yöntemlerinin ortak özelliği amaçların ölçülebilmesi ve iyi tanımlanmış kısıtların olması, en göze çarpan özelliği ise bir amaca ait hedefin bütünü ile başarılabilmesi için bir veya birden fazla amacın hedeflerinin başarısını göz ardı edebilme yeteneğidir. Çok amaçlı karar verme yöntemleri doğrusal programlamanın özel bir uzantısıdır. Doğrusal programlamada amaç fonksiyonu ve kısıtlar doğrusaldır ve karar değişkenleri süreklidir. Çok amaçlı karar verme yöntemlerinde modele aynı anda çoklu amaç fonksiyonları dâhil edilmektedir. Diğer yandan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinde amaç, çoklu ölçütlere göre karakterize edilmiş uygun alternatifler popülasyonunun seçilmesidir (Türkoğlu, 2017). Ödünleşim problemlerinin çözümünde çok amaçlı karar verme yöntemlerinin kullanımına sıklıkla başvurulur. Çalışmamızda çok amaçlı karar verme problemleri için kullanılan hedef programlama yöntemi ağırlıklandırılmış olarak kullanılmıştır.

#### 3.1. Ağırlıklı Hedef Programlama

Hedef programlama; çelişen amaçlara sahip karar problemlerinin çözümünde kullanılan, çok amaçlı karar verme yöntemlerinin en önemlilerinden biridir. Aynı zamanda hedef programlama, doğrusal programlamanın bir uzantısıdır. Fakat doğrusal programlama tek bir amaca odaklanırken, hedef programlama birden çok amacı eş zamanlı olarak dikkate alır (Türkoğlu, 2017).

Hedef programlamada her bir amaca ulaşılması için; göz önünde bulundurulmuş şartlar altında verilen değer veya hedef değer başarılmak istenir. Hedef programlama, doğrusal programlamada olduğu gibi amaç değerini doğrudan maksimize veya minimize etmek yerine, hedefler arasındaki sapmaları minimize eder. Ağırlıklı hedef programlama modelinde, karar verici hedef sapmalara farklı ağırlıklar verir. Bu ağırlıklar, amaçların görece önemlerine sayısal değer verilerek oluşturulur. Ağırlıklı hedef programlama karar vericinin bir dizi hedefe yönelik hedefler (veya kısıtlar) setindeki istenmeyen sapmaların ağırlıklı toplamını en aza indirir. Tüm hedefler bu nedenle eş zamanlı olarak kabul edilir (Şener Avşar, 2018).

#### 3.2. Ödünleşim Problemleri ve Proje Hızlandırma

Zaman-maliyet ödünleşim problemi, proje yönetimi literatüründe çok sık karşılaşılan bir problemdir. Pek çok projede, hemen hemen tüm faaliyetlerin süreleri, ilave kaynak tahsis edilerek azaltılabilir. Fakat bu ilave kaynak tahsisi, faaliyetlerin maliyetlerinde artışa neden olur. Bu durum göstermektedir ki maliyet ve zaman arasında bir uyumsuzluk

vardır. Belli bir proje için daha kısa süreye sahip çözümler genellikle daha maliyetlidir ve düşük maliyetli çözümler genellikle daha uzun sürer (Rahimi ve diğ., 2008). Zaman–maliyet ödünleşimi problemi, pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş, ödünleşim problemlerinin optimizasyonu için matematiksel modeller, sezgisel ve meta–sezgisel algoritmalar kullanılarak çoklu yöntemler incelenmiştir. Ödünleşim problemlerinde kullanılan çözüm yöntemlerinin temel nitelikleri, sağladıkları faydalar ve eksiklerine dair genel sınıflandırma Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1: Ödünleşim problemlerinde kullanılan çözüm yöntemlerinin genel sınıflandırması (Golzarpoor, 2012)

	<b>Sezgisel Yöntemler</b>	<b>Matematik Yöntemler</b>	<b>Evrimsel Tabanlı Yöntemler</b>
<b>Nitelikler</b>	Basit kurallara dayanır (Örneğin, en ucuz kritik faaliyeti kısalt).	Doğrusal programlama Tam sayılı programlama Dinamik programlama	Doğal evrim veya türlerin sosyal davranışını taklit eden en iyileme arama yöntemleri
<b>Faydalar</b>	Anlaması kolaydır. İyi çözümler sunar. Büyük projeler için kullanılabilir.	En iyi çözümü sağlayabilir.	Zaman ve maliyet arasındaki kesikli ilişkiyi kullanabilir. Büyük problemlere uygulanabilir.
<b>Eksikler</b>	Matematiksel doğruluğun eksikliği En iyi çözümü garanti etmez. Zaman ve maliyet arasındaki ilişki çoğunlukla kesikli yerine doğrusal kabul edilir.	Formüle edilmesi zordur. Yerel en iyi ile çözümü sonlandırabilir. Sadece küçük boyutlu problemlere uygulanabilir. Zaman ve maliyet arasındaki ilişki çoğunlukla kesikli yerine doğrusal kabul edilir.	Rasgele arama zaman alıcıdır. En iyi bir çözüme ne zaman ulaşıldığına karar veremez.

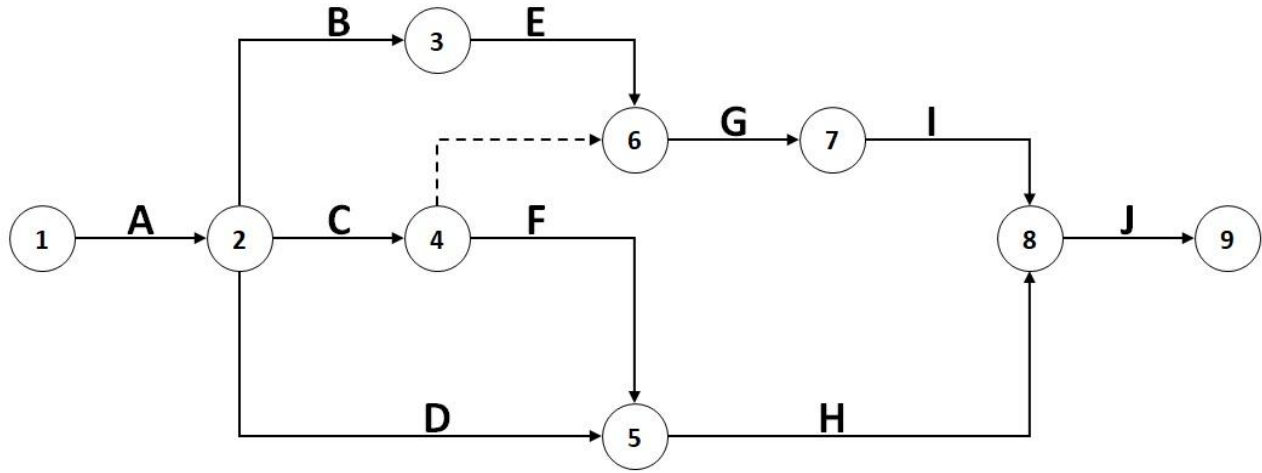
1950'lerin sonlarında, zaman–maliyet ödünleşimi, proje yöneticilerinin dikkatini çekmeye başlamıştır. Kabul edilen ilk model Kelley'nin 1961'de ortaya koyduğu, zaman ve maliyete odaklanan doğrusal bir matematik modelidir. İlerleyen yıllarda ödünleşim problemi literatürde çalışmalarda görülmeye başlanmıştır (Kelley, 1961). Robinson proje tamamlanma süresini en aza indirecek atamaları belirlemek için dinamik programlama yaklaşımı önermiştir. Buna göre zaman–maliyet fonksiyonları ile faaliyetler arasında en iyi olanı belirleme imkânı doğmaktadır (Robinson, 1975). Moore ve arkadaşları çok ölçütlü bir zaman–maliyet ödünleşim CPM proje ağı modellemiştir, bu modelde proje ağı, hedef kısıtlamaları ve ilgili öncelikler olarak çeşitli yönetim hedeflerini içeren bir hedef programlama formülü ortaya konmuştur (Moore ve diğ., 1978). Vrat ve arkadaşları zaman–maliyet ödünleşimi problemine Leksikografik hedef programlama ile çözüm aramıştır (Vrat ve diğ., 1986). Daha sonra Premachandra zaman–maliyet ödünleşimi ve proje hızlandırma için bir ağırlıklı hedef programlama modeli sunmuştur (Premachandra, 1992). Ardından Moselhi "doğrudan sertlik yöntemine" dayanan bir yöntem önermiş, mevcut yöntemlerle karşılaştırmak için, literatürden örnek bir uygulama seçerek önerilen yöntem kullanılmış ve sonuçları analiz etmiştir. Yöntemin CPM ağılarına çözüm sağlayabildiği görülmüştür (Moselhi, 1993). Aynı dönemde Deckro ve diğerleri doğrusal olmayan hedef programlama ile ödünleşim problemini çözmek için araştırma yapmışlardır (Deckro ve diğ., 1995). Başka bir çalışmada, Feng ve diğerleri, optimum çözüme ulaşmak için genetik algoritmayı kullanmışlardır (Feng ve diğ., 1997). Leu ve diğerleri inşaat projelerinde zaman ve maliyeti optimize etmek amacıyla tam sayılı doğrusal programlama kullanarak, faaliyetler için mevcut kaynaklar arasında uygun kaynakları seçecek bir model önermiştir (Leu ve diğ., 2005). Feng ve diğerleri genetik algoritmaları ve benzetim yöntemleri bir araya getiren melez bir yaklaşım ortaya koymuş, bu çalışmada bir inşaat projesini zaman ve maliyet açısından değerlendirirken, en iyi proje programlarını elde etmek için genetik algoritmaların benzetim yöntemleriyle birleştirebileceğini göstermiştir (Feng ve diğ., 2000). Vanhoucke ve diğerleri kesikli zaman–maliyet ödünleşim problemi için hem bir dal sınır algoritması ve hem de sezgisel bir yöntem önermişlerdir (Vanhoucke ve diğ., 2002). İlerleyen zamanda Vanhoucke öncekinden daha iyi performans gösteren yeni bir dal–sınır algoritması önermiştir. Bu algoritma kesikli zaman–maliyet ödünleşim problemi için, düşük bağlı hesaplamayı kullanmıştır (Vanhoucke, 2005). Bidhandi CPM / PERT tipi ağlarda proje zamanını kısaltmak için 0–1 değişkenli karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiş ve modelin analizi için Benders ayrıştırma yöntemini kullanmıştır (Bidhandi, 2006). Kuang ve Ziong zaman–maliyet ödünleşim problemi için karınca kolonisi algoritması kullanan uyarlanmış ağırlık yaklaşımıyla çok amaçlı bir model öne sürmüştür. Model bir bilgisayar programı tarafından uygulanmış ve test örneği yürütülmüştür (Kuang ve diğ., 2006). Ghazanfari belirsizlik ortamında zaman–maliyet ödünleşim problemi için bir optimizasyon modeliyle yeni bir olasılıksal hedef programlama yaklaşımı geliştirmiştir. Bu yaklaşımla, üçgen bulanık sayılarla optimum faaliyet süresini belirlemek mümkündür (Ghazanfari ve diğ., 2007). Ding ve arkadaşları belirsiz bir ortamda zaman–maliyet ödünleşim problemleri için çok amaçlı problemlere uygun olarak geliştirilmiş bir genetik algoritma yöntemi sunmuşlardır. Her bir faaliyet için farklı seçeneklerle zaman ve maliyet belirsizliklerini tanımlamak için yamuk bulanık sayıları kullanmışlardır (Ding ve diğ., 2010). Mokhtari ve diğ.,

olasılıksal kesikli zaman–maliyet ödünleşim problemi için doğrusal olmayan matematiksel 0–1 programlama modelini geliştirmiştir (Mokhtari ve diğ., 2011).

#### 4. Uygulama

Önerilen ödünleşim modelinin uygulama çalışması olarak bir inşaat projesinin iş programı, bütçe kalemleri ve takvimi incelenmiştir. Bu kapsamda faaliyetler tanımlanmış, iş akış diyagramı (Şekil 1) oluşturulmuş ve projenin hazırlık aşamasından teslimine kadar tüm faaliyet bilgileri toplanmıştır. Buna göre projenin genel iş akış diyagramı şu kalemlerden oluşmaktadır:

- A – Hazırlık ve proje planlaması
- B – Şantiyenin kurulması
- C – Boruların ve vanaların satın alınması
- D – Arazi ölçme işlemleri
- E – Boru hafriyatı
- F – Kumanda odası inşaatının tesisat montaja hazır hale getirilmesi
- G – Boruların yerleştirilmesi
- H – Kumanda odasının tamamlanması
- I – Borularda basınç tecrübesi
- J – Şantiyenin kaldırılması



Şekil 1: İş akış şeması

İş akış diyagramına göre hazırlık aşamasından sonra şantiye kurulur. Buna paralel olarak boru ve vanalar satın alınırken arazide ölçme işlemleri başlatılabilir. Şantiyenin kurulmasının ardından boru hafriyatı başlatılabilir. Benzer şekilde satın almalar tamamlandıktan sonra kumanda odası inşaatı tesisat için montaja hazır seviyeye getirilir. Boru hafriyatı tamamlanınca borular yerleştirilir. Borularda basınç testleri yapılır. Montaja hazırlanan kumanda odası tamamlanır. Bütün işler tamamlandıktan sonra şantiye kaldırılır.

Çalışmada kullanılan yaklaşım; bir projenin temel kısıtlarını oluşturan öğelerden zaman ve maliyeti aynı anda istenen kısıtlara uygun olarak gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Bu amaçlar doğrultusunda modelin matematiksel ifadesi aşağıda verilmektedir:

$$\min z = w_T * S_T^- + w_C * S_C^- \quad (1)$$

$$\min T_p = \sum_{i=1}^I t_i * x_n \quad (2)$$

$$\min C_p = \sum_{i=1}^I c_i * x_n + ic * T_p + \alpha * (D - T_p) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I t_i * x_n + S_t^+ - S_t^- = D \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I c_i * x_n + ic * T_p + \alpha * (D - T_p) + S_c^+ - S_c^- = B \quad (5)$$

$$t_j \geq t_i + \sum_{i=1}^I d_i * x_n \quad \forall j \in I \quad (6)$$

Modele ilişkin yukarıda verilen denklem ve eşitliklerde  $z$ : Projenin amaçlarının sapmalarının toplamı, amaç fonksiyonunu,  $T_p$ : Projenin toplam süresini,  $C_p$ : Projenin toplam maliyetini,  $D$ : Projenin tamamlanması için verilen teslim süresini,  $B$ : Projenin tamamlanması için ayrılan bütçeyi,  $t_i$ : Her bir  $i$  faaliyetinin tamamlanma zamanını,  $d_i$ : Her bir  $i$  faaliyetinin gerçekleşme süresini,  $c_i$ : Her bir  $i$  faaliyetinin maliyetini,  $i$ : Faaliyet sayısını,  $i = 1'den I'ya$ ,  $n$ : Her bir  $i$  faaliyetini gerçekleştirebilecek alt yüklenicilerin sayısını,  $n = 1'den N'ye$ ,  $w_T, w_C$ : Her bir amacın ağırlık

katsayısını,  $ic$ : Sabit maliyeti,  $\alpha$ : Erken teslim maliyetini,  $S_t^+, S_t^-, S_c^+, S_c^-$ : sapma değişkenlerini,  $S_T^-$ : Zaman için standartlaştırılmış sapma değerini,  $S_C^-$ : Maliyet için standartlaştırılmış sapma değerini,  $x_n$ :  $i$  faaliyetinin  $n$  alt yüklenicisi ile gerçekleştirilmesi değişkeni ( $x_n = 1$  ise  $i$  faaliyetini  $n$  yapıyor,  $x_n = 0$  ise yapmıyor.) ifade etmektedir (Şener Avşar, 2018).

Çalışmanın amacı; faaliyetlerin farklı yöntemlerinin iş akışı içerisinde farklı senaryolarda farklı zaman–maliyet değerleri alması durumlarını göz önüne alarak en iyi sonucun bulunmasıdır. Hazırlık kısmı dışında her bir faaliyetin ikişer farklı yöntemle yapılabildiği öngörülmüştür. Bu durumda farklı yöntem sayılarına bakıldığında toplam senaryo sayısı:  $(2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2)$  bir başka deyişle  $2^9 = 512$  olarak hesaplanır.

Her bir faaliyetin alternatif yöntemlerin kullanımı ile ortaya çıkacak tamamlanma süresi ve maliyetleri Tablo 2’de verilmiştir:

Tablo 2: Faaliyetlerin farklı yöntemlerle tamamlanma süreleri ve maliyetleri

Faaliyet	1. Yöntem (Süre, Maliyet) (birim zaman, birim para)	2. Yöntem (Süre, Maliyet) (birim zaman, birim para)
A	4, 160	-
B	5, 425	4, 525
C	6, 900	4, 1080
D	13, 390	8, 615
E	4, 440	2, 620
F	9, 540	5, 80
G	6, 360	3, 435
H	8, 400	5, 625
I	10, 450	5, 650
J	7, 140	5, 170

Projenin kritik yolunun hesaplanması için; iş akış diyagramındaki tüm faaliyetlerin erken ve geç tamamlanma süreleri hesaplanmıştır. A – B – E – G – I – J (Hazırlık ve proje planlaması, şantiyenin kurulması, boru hafriyatı, boruların yerleştirilmesi, borularda basınç tecrübesi, şantiyenin kaldırılması) faaliyetleri kritik faaliyetler olarak bulunmuştur. Eldeki verilere göre projenin en kısa tamamlanma süresi 23 birim zaman olarak hesaplanmıştır. Proje tamamlanma süresi 23 birim zaman olduğunda proje maliyetinin 5700 birim para olacağı hesaplanmıştır. Proje en düşük bütçeyle tamamlandığında 4205 birim para ve buna karşılık proje tamamlanma süresi ise 36 birim zamandır.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, ağırlıklı hedef programlama ile oluşturulmuş bir zaman–maliyet ödünleşim modeli sunulmuştur. Yukarıda algoritması açıklanan model Matlab programlama dilinde kodlanmıştır. Kullanıcının girdi verisi olarak proje süre ve maliyet kısıtlarını, her bir iş adımı için mevcut olan tüm alternatifler için maliyetleri ve süreleri, iş adımları arasındaki öncül iş adımlarını tanımlaması beklenmektedir. Öncül işler projenin kritik yolunu ve izleyen işlerin başlayabileceği zamanları belirlemek amacıyla gereklidir. Programın temel yaklaşımı bir projenin kullanıcı tarafından belirlenen kısıtları sağlayan faaliyetler sırası havuzunu hesaplanmak ve bu havuzdaki her bir çözüm akışını puanlandırmaktır. Puanlandırma verilen kısıtlardan olan uzaklığa göre yapılmaktadır. Ayrıca kullanıcının istemesi durumunda zaman veya maliyet temel proje öğeleri arasında ağırlıklandırma yapabildiği de mümkündür.

Yazılan algoritma örnek olarak seçilen proje verileri ile zaman ve maliyetin eşit ağırlıklandırılması ile çalıştırılmıştır. Buna göre model; proje kısıtı olarak seçilen 29 birim zaman ve 5000 birim para ile sınırlandırıldığında toplam 512 seçeneğin 26 tanesinin verilen kısıtları sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 3’te kısıtları sağlayan çözüm kümeleri ve puanlandırılması verilmektedir. Kısıtları sağlayan çözümler alternatif dizisinin aldığı puana göre sıralanmıştır. Verilen sonuçlar ışığında kullanıcı istediği herhangi bir faaliyetler dizisini seçebileceği gibi kısıtları yükselterek oluşacak çözüm sayısında azaltma yoluna da gidebilir.

Önerilen algoritmaya günümüz ödünleşim problemlerinde zaman ve maliyete ek olarak ele alınan kalite ve risk gibi diğer proje öğelerinin de eklenmesi mümkündür. Projenin temel öğelerinden herhangi birinin diğerlerine göre önemli olması durumu da; ağırlıklı hedef programlama yönteminin kullanılmış olması sebebiyle, modele dâhil edilebilmektedir. Çalışmada ortaya konan modelin, herhangi bir projede, farklı proje bileşenleri arasında en iyi ödünleşimi elde etmek için kullanılabilirliği görülmektedir.

Konuma dayalı her türlü verinin üretiminden sonuç ürünün elde edilmesine kadar farklı projelerde görev alan harita mühendislerinin; proje planlama ve yönetimi süreçlerini de öğrenmesi ve uygulaması çağımızın zorunlulukları arasında yer almaktadır. Disiplin içi ve çok disiplinli takımlarda görev almakta olan harita mühendislerinin mesleki formasyonları da planlama yapabilmelerinin doğal sebebini ortaya koymaktadır.

Tablo 3: Kısıtları sağlayan çözüm kümeleri

Alternatif Sıra No	Faaliyet Seçim Sırası	Birim Zaman	Birim Para	Puan
144	1-1-2-1-1-1-2-2-2-2	27	4915	0.086
8	1-1-1-1-1-1-1-2-2-2	29	4660	0.068
46	1-1-1-1-2-1-2-2-1-2	29	4715	0.057
16	1-1-1-1-1-1-2-2-2-2	29	4735	0.053
264	1-2-1-1-1-1-1-2-2-2	29	4760	0.048
392	1-2-2-1-1-1-1-2-2-2	28	4940	0.046
302	1-2-1-1-2-1-2-2-1-2	29	4815	0.037
430	1-2-2-1-2-1-2-2-1-2	28	4995	0.035
272	1-2-1-1-1-1-2-2-2-2	29	4835	0.033
40	1-1-1-1-2-1-1-2-2-2	29	4840	0.032
136	1-1-2-1-1-1-1-2-2-2	29	4840	0.032
72	1-1-1-2-1-1-1-2-2-2	29	4885	0.023
143	1-1-2-1-1-1-2-2-2-1	29	4885	0.023
174	1-1-2-1-2-1-2-2-1-2	29	4895	0.021
48	1-1-1-1-2-1-2-2-2-2	29	4915	0.017
24	1-1-1-1-1-2-1-2-2-2	29	4940	0.012
84	1-1-1-2-1-2-1-1-2-2	29	4940	0.012
110	1-1-1-2-2-1-2-2-1-2	29	4940	0.012
296	1-2-1-1-2-1-1-2-2-2	29	4940	0.012
80	1-1-1-2-1-1-2-2-2-2	29	4960	0.008
31	1-1-1-1-1-2-2-2-2-1	29	4985	0.003
328	1-2-1-2-1-1-1-2-2-2	29	4985	0.003
399	1-2-2-1-1-1-2-2-2-1	29	4985	0.003
167	1-1-2-1-2-1-1-2-2-1	29	4990	0.002
62	1-1-1-1-2-2-2-2-1-2	29	4995	0.001
122	1-1-1-2-2-2-2-1-1-2	29	4995	0.001

## Kaynaklar

- Akyıldız Çapraz, Y., (2011), *Geomatik Mühendisliğinde Proje Yönetimi ve Planlaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Bidhandi, H.M., (2006), *A New Approach Based on the Surrogating Method in the Project Time Compression Problems*, *Annals of Operation Research*, 143, 237–250.
- Deckro, R.F., Hebert, J.E., Verdini, W.A., Grimsrud, P. H., Venkateshwar, S., (1995), *Nonlinear Time / Cost Trade-off Models in Project Management*, *Computers International Engineering*, 28(2), 219–229.
- Ding, C.H., Fujimura, S., Wei, X., Wei, W., (2010), *Time-Cost Trade-off Problem under Uncertainty Incorporating Multi-Objective Genetic Algorithm and Fuzzy Sets Theory*, 17th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IE and EM2010, 29 – 31 October 2010, Xiamen.
- Ergün, Ö., (2006), *Harita Sektöründe Proje Planlama Yöntemlerinin Kullanılması Uluslararası Dekastri Terminal Saha Düzenlemesi Ve Toprak İşleri Projesi Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ersöz, F., Kabak, M., (2010), *Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması*, *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 97 – 125.
- Feng, C.-W., Liu, L., Burns, S.A., (1997), *Using Genetic Algorithms to Solve Construction Time-Cost Trade-off Problems*, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 11 (3), 184–189.
- Feng, C.-W., Liu, L., Burns, S.A., (2000), *Stochastic Construction Time-Cost Trade-off Analysis*, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 4, 117–126.
- Ghazanfari, M., Shahanaghi, K., Yousefli, A., (2007), *An Application of Possibility Goal Programming to the Time-Cost Trade-off Problem*, First Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 29–31 Aug 2007.
- Golzarpoor, B., (2012), *Time-Cost Optimization of Large-Scale Construction Projects Using Constraint Programming*, Master of Applied Science in Management Sciences, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada
- İstanbul Sanayi Odası Kalite Ve Teknoloji İhtisas Kurulu (İSO – KATEK), (2011), *Kolay Bilgi - 9: Proje Yönetim Kılavuzu, Tanımlar Projenin Başlaması / Planlanması Projenin Yürütülmesi Ekip Çalışması Projenin Tamamlanması ve Değerlendirilmesi*, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul, 57 s.
- Kelley, J.E. Jr., (1961), *Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis*, *Operations Research*, 9 (3), 296–320.
- Kömürlü, R., Toltar, L., (2018), *İnşaatta Proje Yönetimi; Projenin Başarısına Etkisi*, *Journal of Architecture and Life*, 3(2), 2018, 249-258
- Kuang, Y.-P., Xiong, Y., (2006), *Construction Time-Cost Trade-off Analysis Using Ant Colony Optimization Algorithm*, *International Conference on Management Science and Engineering Proceedings*'in içinde, 2039 – 2044.

- Leu, L., Burns, S., Feng, C., (2005), *Construction Time–Cost Trade–off Analysis Using LP/IP Hybrid Model*, Journal of Construction Engineering Management, 121(4), 446–454.
- Mokhtari, H., Kazemzadeh, R.B., Salmasnia, A., (2011), *Time–Cost Trade–Off Analysis in Project Management: An Ant System Approach*, IEEE Transactions on Engineering Management, 58 (1), 36–43.
- Moore, L.J., Bernard, T.W. III, Clayton, E.R., Lee, S.M., (1978), *Analysis of A Multi–Criteria Project Crashing Model*, AIIE Transactions, 10 (2), 163–169.
- Moselhi, O., (1993), *Schedule Compression Using the Direct Stiffness Method*, Canadian Journal of Civil Engineering, 20, 65–72.
- O’Brien, J.J., Plotnick, F.L., (2006), *CPM in Construction Management*, Sixth Editioni McGraw-Hill, USA, 651 s.
- Premachandra, I. M., (1992), *A Goal Programming Model for Activity Crashing in Project Networks*, International Journal of Operations & Production Management, 13 (6) 79–85.
- Rahimi, M., Iranmanesh, H., (2008), *Multi–Objective Particle Swarm Optimization for a Discrete Time, Cost and Quality Trade–off Problem*, World Applied Sciences Journal, 4 (2), 270–276.
- Robinson, D.R., (1975), *A Dynamic Programming Solution to Cost – Time Trade–off for CPM*, Management Science, 22 (2) 158–166.
- Suvacı, E., Lezki, Ş., Uysal, O., Önce, S., Er, F., Şıklar, E., (2013), *Proje Yönetimi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 200 s.
- Şener Avşar, M.M., (2018), *Proje Hızlandırma İçin Çok Amaçlı Bir Model Önerisi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Türkoğlu, S.P., (2017), *Karar Vermede Hedef Programlama Yöntemi Ve Uygulamaları*, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 1 (2), 29–46.
- Tzeng, G.H., Huang, J. J., (2011), *Multiple Attribute Decision Making Methods and applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 352 s.
- Vanhoucke, M., Demeulemeester, E., Herroelen, W., (2002), *Discrete Time / Cost Trade–offs in Project Scheduling with Time–Switch Constraints*, Journal of the Operational Research Society, 53, 741–751.
- Vanhoucke, M., (2005), *New Computational Results for the Discrete Time/Cost Trade–off Problem with Time–Switch Constraints*, European Journal of Operational Research, 165, 359–374.
- Vrat, P., Kriengkrairut, C., (1986), *A Goal Programming Model for Project Crashing with Piecewise Linear Time–Cost Trade–off*, Engineering Costs and Production Economics, 10 (1), 161–172.