

Yapı Projelerinin Süre-Maliyet Optimizasyonunda Metasezgisel Algoritma Kullanımı

Gülçağ ALBAYRAK*¹, İlker ÖZDEMİR¹

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET

Yapı projelerinin belirlenen zaman ve bütçe çerçevesinde tamamlanabilmesi proje yöneticileri açısından en önemli konulardan biridir. Bunun sebebi projelerde kullanılan tüm kaynakların uygulamada sınırlı olarak bulunmasının yanı sıra sürenin de problemin bir kısıtlayıcısı olmasıdır. Böylelikle, toplam proje maliyetini oluşturan malzeme ve işçilik gibi tüm kaynakların hedeflenen proje süresiyle uyumlu olacak şekilde en baştan değerlendirilerek planlamanın yapılması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu aşamada en kritik nokta proje yöneticilerinin bütçe ile süre arasında bir denge kurabilmesidir. Optimizasyon adı verilen ve bir problem üzerinde en iyi sonucu elde edebilme teknikleri olarak tanımlanan çalışmalar proje planlama ve uygulama alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Optimizasyon teknikleri geçmişten günümüze oldukça büyük değişim göstermiştir. Geçmişte yapı projelerinde karşılaşılan süre-maliyet optimizasyon problemlerine kesin hesap yöntemleri gibi geleneksel yöntemlerle yaklaşmış, problemin içerdiği karmaşıklık çözüme ulaşmayı güçleştirdiğinden daha gelişmiş yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple yeni tekniklerin birbiri ardına ortaya konulduğu ve var olan tekniklerin durmaksızın geliştirildiği optimizasyon alanında son yıllarda adına topluca “metasezgisel algoritmalar” denilen çok sayıda yöntem üretilmiştir. Metasezgisel algoritmalar kesin çözümü garanti etmemekle birlikte yakınsama özelliği ile optimuma yakın çözümleri elde etmede oldukça kullanışlıdır. Bu çalışmada evrimsel algoritmalar, doğadan esinlenen algoritmalar ve melez algoritmalar gibi süre-maliyet optimizasyon probleminin çözümüne yönelik algoritmalar tanıtılmakta ve literatürdeki çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Metasezgisel Yöntemler, Süre-Maliyet Optimizasyon Problemi, Proje Yönetimi, Literatür Taraması.*

Application of Metaheuristic Methods in Time-Cost Optimization of Construction Projects

ABSTRACT

Completion of a project on time and within the budget is one of the important issues for the project managers. In addition to the fact that, the resources used in the project are limited in practice, also time is another constraint of the problem. This sophisticated relationship among time and cost has been one of the challenging problems among project managers at all times. Therefore balancing of these two factors is very crucial. These types of problems were formerly defined and solved by traditional exact methods such as crashing method and linear programming. However, the complexity of the trade-off problem makes difficult to solve. Hence a number of methods called metaheuristics have evolved over the past few years. Although a few algorithms can be applied to time cost trade-off problem to make it more useful and valid with less computational time, some algorithms have not been studied adequately. This paper summarizes the existing metaheuristic methods and algorithms which are applied for solving time-cost trade-off problem, including evolutionary algorithms, nature-inspired algorithms, hybrid algorithms and etc. The potential contribution of this paper is to provide the current literature for researchers.

Keywords: *Metaheuristic Methods, Time-Cost Trade-off Problem, Project Management, Literature Review.*

* Sorumlu yazar: galbayrak@ogu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzün gittikçe artan rekabetçi ve değişken piyasa ortamında, inşaat firmalarının kısıtlı kaynaklar dâhilinde proje planlarını oluşturma ve gözlemleyebilme becerileri önem kazanmaktadır [1]. Bu durumda, proje temelinde yürütülen bütün işlerde olduğu gibi inşaat projelerinde de proje yöneticileri işgücü, malzeme, ekipman ve makine gibi kaynakları, öngörülen sürelerde en uygun şekilde kullanmayı hedeflemektedirler. Bu noktada proje yöneticilerinin, projeye ayrılan bütçe ile projenin tamamlanma süresi arasında bir denge kurabilmesi proje planlamasının en önemli aşamalarındandır. Süre-maliyet optimizasyonu olarak ifade edilen bu dengeleme ve ödünleşme, inşaat projelerinin istenilen sürede, mümkün olan en düşük maliyet ile tamamlanabilmesine yönelik yapılan çalışmaları kapsamaktadır.

Süre-maliyet optimizasyonu içerisinde karmaşık bir problemi barındırmaktadır. Problemin temeli, süre ile maliyetin birbiriyle çelişen unsurlar olmasına dayanmaktadır. Diğer bir ifade ile proje süresinin kısaltılabilmesi için daha yüksek sayıda ya da daha nitelikli çalışana, ekipmana ve makineye ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece yapım maliyetine ilave olarak, artan kaynak talebini karşılamaya yönelik proje hızlandırma maliyetleri ortaya çıkmaktadır.

Projelerdeki süre-maliyet ilişkisi, geçmişte projeye ait her bir işlemin faaliyet süreleri ile maliyetleri arasında doğrusal bir fonksiyon olarak varsayılmaktaydı ve esas amaç faaliyet sürelerini belirlemek ve proje maliyetlerini minimize etmek için işlemleri çizelgelemektir [2]. Ancak problemin yapısında teoride uygulanan sadeleştirme ve kabullerin gerçek projelerdeki çeşitli olasılıkları doğru yansıtamaması ve pratikte kullanışlı bulunmaması, araştırmacıları yeni çalışmalara yönlendirmiştir. Böylelikle süre-maliyet optimizasyonu, gerçekte bir kombinatoryal (birleşimsel, katışimsal) optimizasyon problemi olması bakımından NP-zor (polinomsal zamanda çözülemeyen) sınıfına ait bir problem olarak ele alınmaya ve bu bağlamda çözüm aranmaya başlanmıştır. Bu durum problemin çözümü için başlangıçta önerilen analitik, doğrusal ve deterministik çözüm yöntemlerini yetersiz kılmaktadır. Gelişen teknoloji ve hesaplama yöntemlerindeki yeni yaklaşımların optimizasyon problemlerine sağladığı katkı sayesinde problemin çözümü için son yıllarda metasezgisel yöntemler adı altında değişik pek çok model önerilmiştir.

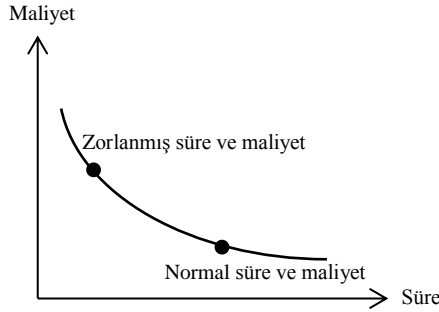
Bu çalışma kapsamında, öncelikle süre ve maliyet unsurları arasındaki ilişki tanıtılmış, ardından karmaşık problemleri çözmeye kullanılan güncel metasezgisel algoritmalar hakkında bilgi verilerek, süre-maliyet optimizasyon problemi üzerindeki kullanımını araştıran çalışmalar derlenmiştir.

2. Projelerde Süre-Maliyet İlişkisi

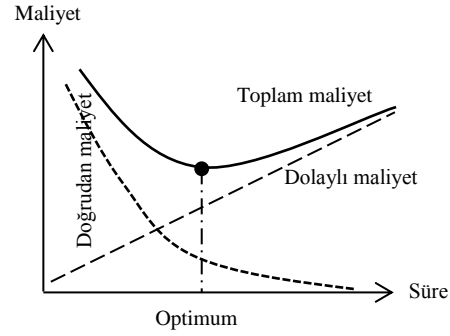
Projelerde gerçekleştirilen her bir faaliyetin süresi ile o faaliyet için kullanılan kaynak, dolayısıyla ortaya çıkan maliyet arasında sıkı bir bağ bulunmaktadır. Genellikle, birim zaman içerisinde ihtiyaç duyulan kaynak miktarında artışın olması doğrudan maliyeti yükseltmekte, ancak faaliyet süresini de kısaltması bakımından olumlu bir etki yapmaktadır. İnşaat projelerinde faaliyetlerin daha hızlı ve bunun neticesinde daha maliyetli alternatiflerinin göz önüne alınarak en uygun seçimin yapılabilmesi proje planlamadaki en kritik aşamalardandır.

Bir işlemin hesaplanan en az maliyetle tamamlandığı süre “normal süre”, bir faaliyetin hızlandırılarak tamamlanabileceği süre “zorlanmış süre”, zorlanmış süreye karşılık gelen maliyet de “zorlanmış maliyet” olarak tanımlanmaktadır [3]. Genellikle bir işlemin tamamlanabilmesi için geçen süre ile meydana gelen maliyet arasında ters orantılı bir bağıntı vardır. Bu sebeple daha az maliyetli kaynak kullanımı tercih edildiğinde işlemin bitiş süresi gecikmektedir [4]. Bu durum proje planlaması

bakımından çoğunlukla öngörülen bir durumdur ve en geleneksel hali ile aşağıda Şekil 1.a.'da görüldüğü gibi grafiksel olarak ifade edilmektedir. Bir projede toplam maliyet, doğrudan (direkt) ve dolaylı maliyetlerin toplanması ile elde edilmekte ve en düşük toplam maliyete karşılık gelen optimum süre değeri bulunabilmektedir (Şekil 1.b.).

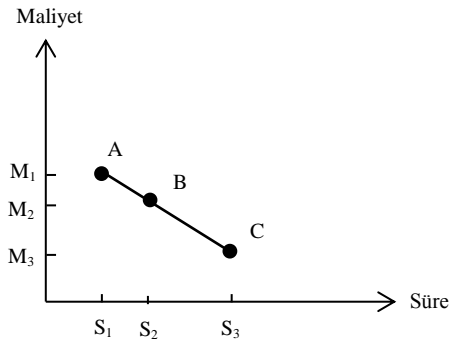


Şekil 1.a. İşlemlerde süre-maliyet ilişkisi

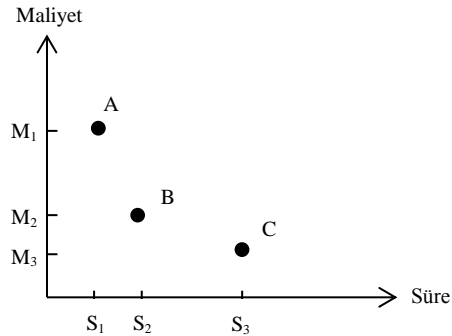


Şekil 1.b. Projede süre-maliyet eğrisi

Süre-maliyet ilişkisi işlemlerde kullanılan kaynakların özelliğine göre sürekli veya ayrık (kesikli) bir fonksiyon şeklinde modellenmektedir. Bu modeller sırasıyla Şekil 2.a. ve Şekil 2.b. grafiklerinde gösterilmektedir. Bir işlemden süre ve maliyet değerleri arasında doğrusal bağıntının bulunduğu durumlar sürekli fonksiyon olarak ifade edilmektedir. Ayrık fonksiyona sahip bir ilişki durumunda ise fonksiyonun her bir süre-maliyet çiftine karşılık gelen noktası birer mod yani alternatif olarak nitelendirilmekte ve bu ayrık noktalar bir küme meydana getirmektedir. Bir veya daha fazla sayıda işlemin, birden fazla kaynak kullanım alternatifine sahip yani birden çok süre-maliyet modu bulunan proje planlama problemleri çok modlu problemler olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.a. Sürekli süre-maliyet ilişkisi



Şekil 2.b. Ayrık (kesikli) süre-maliyet eğrisi

Bir projenin en önemli unsurları olan süre ve maliyet arasındaki öncelik her projenin karakteristiğine göre farklı olabilmektedir. Sürenin esnek tutularak maliyetin minimize edilmesi sözkonusu olabileceği gibi, ek maliyetleri karşılamak suretiyle minimum sürede projenin tamamlanması da birincil hedef olabilmektedir. Bu iki duruma ilave olarak amaç fonksiyonunda hem sürenin, hem de maliyetin en küçüklenmesini içeren ifadeler yer alan problemler de bulunmaktadır. Literatürde bu tip problemler çok amaçlı problemler olarak nitelendirilirler.

Yüzlerce yada binlerce işlemin barındıran projelerde en uygun süre-maliyet modlarını bulmak içerdiği karmaşık kombinasyonlardan ötürü optimizasyon alanının bir konusudur. Süre-maliyet optimizasyonuna ilişkin modeller 2 grupta toplanan yöntemlerle çözülmektedir:

- Analitik teknikler (Doğrusal programlama, Doğrusal olmayan programlama, Tam sayılı programlama, Dinamik programlama vb.)

- Sezgisel ve Metasezgisel teknikler (Genetik algoritmalar (GA), Tavlama benzetimi, Tabu arama algoritması, Parçacık sürü optimizasyonu (PSO), Karınca kolonisi, Yapay arı algoritması, Ateş böceği optimizasyonu, Melez algoritmalar vb.)

Uygulamada optimum süre-maliyet değerlerini analiz edebilmek için konvansiyonel analitik modeller kullanılabilmesine rağmen büyük ölçekli projelerde bunların uygulanması yoğun süre ve emek gerektirmesi bakımından kullanışsız kabul edilmektedir [5]. Bu nedenle, probleme yönelik araştırmalar metasezgisel algoritmalar üzerinde yoğunlaşmaktadır.

3. Metasezgisel Yöntemler

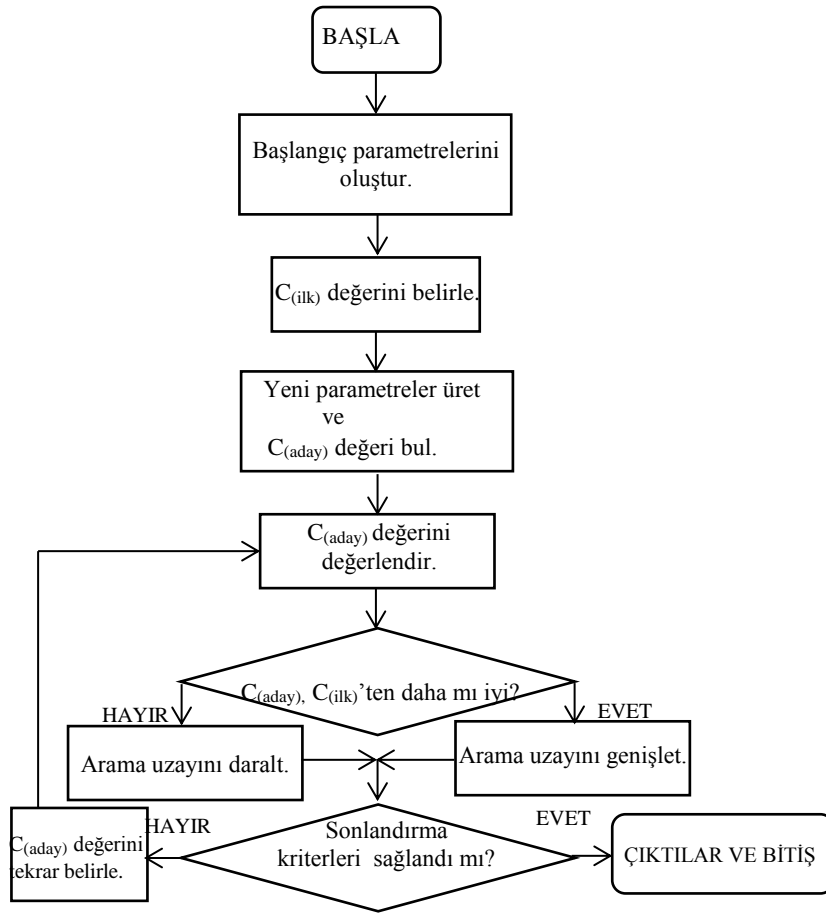
Özellikle son yıllarda pek çok alanda kullanılmaya başlanan optimizasyon, sınır şartlarını dikkate alarak, değişken parametrelerini bir amaç fonksiyonu uyarınca optimum değerlere getirme teknikleri olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon problemlerinin çözümünde geleneksel yöntemler giderek karmaşıklaşan problemleri çözüme yetersiz kalmaya başladığından, gerçek hayat problemlerine uygulanabilirliği yönünden daha başarılı olan sezgisel yöntemler 1970'lerden itibaren geliştirilmeye başlanmıştır. Bu yıllardan sonra araştırmacıların ilgisi doğada bulunan ve yiyecek bulma, barınma, korunma ya da göç etme gibi hayati ihtiyaçlarını olabilecek en ideal şekilde elde edebilen biyolojik sistemlere yönelmiştir. Metasezgisel yöntemlerin ilk ortaya çıkışı ise teknolojik gelişmelerin ve yapay zekanın da ışığında 1990'lara dayanmaktadır.

Metasezgisel yöntemler, esinlenen kaynağa (doğal veya yapay), başlangıç türüne (popülasyon veya tek çözüm), amaç fonksiyonunun özelliğine (dinamik, statik), komşuluk yapısına (tekli, çoklu) ve çözümleri hafızaya alıp almama gibi unsurlara bağlı olarak sınıflandırılmışlardır [6].

Deterministik çözüm yöntemleri ile çözümü mümkün olmayan ya da çözümü çok uzun süren karmaşık optimizasyon problemler için genellikle metasezgisel algoritmalar tercih edilmektedir. Metasezgisel algoritmalar özellikle süre-maliyet optimizasyonu gibi değişken sayısı fazla ve doğrusal olmayan amaç fonksiyonu içeren süre-maliyet problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Metasezgisel algoritmalar arama uzayını etkin bir biçimde tarayarak, kabul edilebilir süreler içerisinde optimum kesin değer olmasa bile optimuma yakın sonuçlar vermesi bakımından oldukça kullanışlıdır. Metasezgisel algoritmaların bir diğer avantajı ise kodlamalarının değişik problem türleri karşısında esnek ve kolay uyarlanabilir olmasıdır.

Genel olarak metasezgisel yöntemler, belirlenmiş bir başlangıç noktası ile algoritmaya başlayarak çözüm uzayı içerisinde her adımda amaç fonksiyonunu kontrol ederek çok sayıda iterasyonla ilerlemektedir [7]. Ayrıca, algoritma kullanıcısı problemin özelliğine göre süre ya da iterasyon sayısını algoritmanın sonlandırıcı unsuru olarak belirleyebilmektedir. Metasezgisel yöntemlerin türlerine bağlı olarak algoritmaları oldukça büyük farklılıklar içerse de temel işleyiş Şekil 3.'te görülen akış şemasında verilmektedir.

Metasezgisel yöntemlerin pek çoğu doğadan esinlenen algoritmalarından oluşmaktadır. Doğadan esinlenen algoritmaların içerisinde evrimsel algoritmalar alt sınıfından GA'nın önemli bir yeri vardır. GA, Darwin'in evrim teorisinden esinlenen, seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörlerini kullanarak en iyi çözümün ilerlemesine izin verirken diğerlerini yok eden bir optimizasyon prosesidir.



Şekil 3. Metasezgisel algoritmalara ait genel bir akış diyagramı [8]

Doğadan esinlenen algoritmalar büyük bir grup olarak düşünülürse, bu grubun önemli bir kısmını da sürü zekasına dayalı algoritmalar oluşturmaktadır. Canlıların birer birey olarak elde etmekte güçlük yaşadıkları pek çok durum karşısında sürü halinde hareket ettiklerinde bireysel olarak kendilerinden beklenmeyecek düzeyde stratejiler geliştirdikleri ve başarılı sonuçlar ortaya koydukları araştırmacılar tarafından gözlenmiştir. Bunun sonucunda kuşlar, karıncalar, arılar, balıklar ve kurtlar gibi hayvanların avlanma, göç etme, barınak ve yiyecek bulma gibi konularda topluluk olarak hareket etmeleri durumunda olabilecek en iyi sonuçları alabilmeleri, her birinin kendine ait özelliğinden yola çıkılarak geliştirilmiş bir algoritmaya ilham olmuştur.

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO), kuş ve balık gibi bazı türleri sürü halinde yaşayan ve göç eden, davranışları sürü zekasına dayalı canlı türlerinden ilham alan metasezgisel bir yaklaşımdır. PSO, parçacık adı verilen rastgele çözümlerden oluşan bir topluluk ile algoritmaya başlamaktadır [9]. Topluluktaki her bir parçacık ile ilişkili bir hız bulunmaktadır. Parçacıklar arama uzayında geçmiş davranışlarına bağlı olarak dinamik bir biçimde ayarlanan hızlar ile hareket etmektedir [10].

Diğer bir metasezgisel yöntem örneği olarak, karınca koloni optimizasyonu, karıncaların yön ve yiyecek bulma davranışlarından esinlenerek, kombinatoryal (birleşimsel, katışimsal) optimizasyon problemlerine çözüm getirmek için, sürü zekası temeline dayalı olarak geliştirilmiştir [11].

4. Süre-Maliyet Optimizasyonunda Metasezgisel Algoritma Uygulamaları

Süre-maliyet optimizasyon probleminin metasezgisel yöntem kullanımı ile çözümü ilk olarak Chau ve ark. [12] tarafından 1997 yılında GA'dan yararlanarak ortaya koydukları çalışmaya dayanmaktadır. Sonraki yıllarda pek çok araştırmacı metasezgisel çözümlere yoğunlaşarak hem mevcut yöntemleri uygulamış, hem de melez yapılar meydana getirerek çözüme yönelik yeni yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Söz konusu alanda literatürün genişliği göz önüne alınarak, daha güncel olanları sunabilmek amacıyla yapılan çalışma kapsamında özellikle geçmiş on yıl üzerinde odaklanılmıştır.

Kandil ve El-Rayes [13] ile Sönmez ve Bettemir [14], süre-maliyet optimizasyon probleminin çözümü için genetik algoritma kullanmışlardır. Huang ve ark. [15], modifiye edilmiş karınca kolonisi algoritmasını önermişlerdir. Yang [16], gelişmiş parçacık sürü optimizasyonunu sunmuş, Zhang ve Xing [17], aynı algoritmayı problem çözümünde bulanık ortamda uygulamışlardır. Salmasnia ve ark. [18], problem için gürbüz modeli öneri olarak sunmuşlardır.

Shrivastava ve ark. [19], çoklu kolonili karınca algoritmasını problem çözümünde kullanışlı bir yöntem olarak önermişlerdir. Shamsavari Pour ve ark. [20], problem çözümünde dilbilimsel değişkeni tanıtmışlardır. Mungle ve ark. [21], bulanık kümeleme tabanlı genetik algoritma yaklaşımı kullanmışlardır.

Zhang [22], kısıtlı kaynak ortamında çok modlu karar verme modeli oluşturmuş bulanık süre-maliyet-kalite-çevre optimizasyon problemine uygulamıştır. Golpira ve Hejazi [23], senaryo tabanlı çok amaçlı stokastik modelleme ile probleme çözüm aramışlardır. Afruzi ve ark. [24], probleme metasezgisel bir yöntem olan çok amaçlı emperyalist rekabetçi algoritma kullanarak kaynak kısıtlı koşullara çözüm geliştirmişlerdir. Tavana ve ark. [25], probleme kalite bileşenini de ekleyerek çok modlu çok amaçlı yeni bir model ile yaklaşım geliştirmişlerdir. Monghasemi ve ark. [26], inşaat projeleri için karar verme modeli geliştirmek amacıyla yeni bir çok kriterli süre-maliyet-kalite optimizasyon yöntemi önermişlerdir.

Yukarıda bahsedilenler dışındaki 2006 yılı sonrasına ait çalışmalar özetlenerek Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Son on yılda süre-maliyet optimizasyonunda kullanılan metasezgisel yöntemler

Yıl	Yazar(lar)	Yöntem	Notlar
2006	Senouci ve Naji [27]	GA	İşlemlerde öncül-ardıl ilişkiler, çoklu ekip stratejileri ve süre-maliyet optimizasyonu dikkate alınmıştır.
2007	Afshar ve ark. [28]	Çok kolonili karınca algoritması	Süre-maliyet probleminin inşaat projelerine uygulamasında süre ve maliyetten ödün vererek kaliteyi maksimize etmeye yönelik bir model geliştirilmiştir.
2007	Kasaeian ve ark. [29]	Geliştirilmiş çok amaçlı GA	Süre-maliyet problemi için oluşturulan model GA ve adaptif ağırlık algoritması ile çözümlenerek karşılaştırma yapılmıştır.
2007	Pathak ve Srivastava [30]	Bulanık-GA	Belirsizlikler altında çok amaçlı süre-maliyet problem, bulanık algoritma ile çözülmüştür.
2007	Tareghian ve Taheri [31]	Elektromanyetik dağınık arama	Dağınık arama algoritması elektromanyetizma ile geliştirilerek probleme uygulanmıştır.
2007	Yang [32]	Yeni seçkinci PSO	PSO'da yerel ve global en iyilerin seçimi sırasında seçkinlerin arşivlenmesi değişikliğini yaparak probleme uygulamıştır

2008	Eshtehardian ve ark. [33]	GA ve bulanık kümeler	Çok amaçlı bulanık süre-maliyet modeline uygun GA geliştirilmiştir.
2008	Hooshyar ve ark. [34]	GA	Problemin çözümü için zeki mutasyon operatörlü bir algoritma sunulmuştur.
2008	Iranmanesh ve ark. [35]	Hızlı-PGA	Çok amaçlı problem çözümüne uygun GA tabanlı yeni bir metasezgisel geliştirilmiştir.
2008	Ng ve Zhang [36]	Karınca koloni algoritması	Problem karınca koloni algoritması ile çözülerek GA ile karşılaştırma yapılmıştır.
2008	Pathak ve ark. [37]	Yapay sinir ağları ile modifiye edilmiş çok amaçlı GA	İşlemlerin süre ve maliyet değerleri için optimum sonuçlar üreten yeni ve güçlü bir prosedür sunulmuştur.
2008	Rahimi ve Iranmanesh [38]	Çok amaçlı PSO	Ayrık süre, maliyet ve kalite ödünleşim problem, işlemlere ait çoklu modlar gözönüne alınarak çözülmüştür.
2008	Xiong ve Kuang [39]	Karınca koloni algoritması	Adaptif ağırlık algortması, karınca koloni algoritması ve GAçözümleri karşılaştırılmıştır.
2009	Afshar ve ark. [40]	Karınca koloni algoritması	Bastıralamayan ve arşivleyen yeni bir karınca koloni algoritması geliştirilmiştir.
2009	Eshtehardian ve ark. [41]	Bulanık tabanlı çok amaçlı GA	Belirsiz ortam koşullarında süre-maliyet problemine yeni bir yaklaşım sunulmuştur.
2009	Ezeldin ve Soliman [42]	Dinamik programlamalı GA	Stokastik optimizasyon problemlerinin kombinatoryal ve NP-zor karakteristiğinin üstesinden gelmeyi amaçlayan bir teknik önermişlerdir.
2010	Abd El Razek ve ark. [43]	Basitleştirilmiş GA	Proje maliyet ve süresini kısaltırken aynı zamanda kaliteyi maksimize edebilmek için AMTCROS adında bir yazılım geliştirilmiştir.
2011	Abdel-Raheem ve Khalafallah [44]	Evrimsel algoritma	Elektronların elektrik devrelerinde en düşük dirençle hareket etme davranışlarını simüle eden Electimize isimli bir algoritma geliştirilmiştir.
2011	Aladini ve ark. [45]	Çok amaçlı karınca koloni optimizasyonu	Nakit akışlarını göz önüne alarak doğrudan maliyetleri minimize etmeyi amaçlayan bir algoritma sunulmuştur.
2011	Mohammadi [46]	Çok amaçlı GA	Süre-maliyet optimizasyonu ile eşzamanlı olarak yerel Pareto optimali veya yerel bastırılmayan sınırı arayan bir yaklaşım önerilmiştir.
2011	Mokhtari ve ark. [47]	Karınca koloni sistemi	İşlem sürelerinin normal dağılımı ve kesikli maliyet fonksiyonu bulunan yeni çok modlu kesikli süre-maliyet problemine karınca koloni sistemi uygulanmıştır.
2011	Li ve ark. [48]	Güdüleyen GA	Optimizasyon, duyarlılık analizi ve geliştirilmiş GA içeren bir metodoloji önerilmiştir.
2012	Haque ve Hasin [49]	Bulanık ortamda GA	Bulanık zaman periyotlu belirsiz koşullar altındaki süre-maliyet probleminin çözümünde daha gerçekçi yaklaşım getirilmiştir.
2012	Zhang ve Ng[50]	Karınca koloni sistemi	Adaptif ağırlık algoritması kullanarak oluşturulan, süre ve maliyet amaçlarının ağırlık değerlerinden oluşan tek bir birleşik amaç fonksiyonuna sahip karınca koloni sistemi temelli bir teknik sunulmuştur.

2013	Issa ve Eid [51]	GA	İnşaat projelerinde belirli bir süre limiti dahilinde minimum maliyetle farklı kalite seviyelerini elde edebilen bir model ortaya konulmuştur.
2015	Kaveh ve ark. [52]	CSS ve CBO	Süre-maliyet problem çözümü için yeni metasezgiseller tanıtılmıştır.
2015	Pathak ve Srivastava [53]	Bulanık-ANN-HMH	Bulanık ortamda süre ve maliyet optimizasyonu için proje planlayıcılarına yeni bir teknik geliştirilmiştir.
2015	Zareei ve Hassan-Pour [54]	NSGA-II, MOSA and MOPSO	Üç evrimsel algoritma kullanılarak geliştirilen bir matematiksel model çok amaçlı çizelgeleme probleminde Pareto çözüm setini bulmada uygulanmıştır.

5. Sonuç

Metasezgisel yöntemler günümüzde yaygın kullanım alanı olan önemli optimizasyon yaklaşımlarıdır. Metasezgisel yöntemleri önemli kılan özellikleri, farklı problemlere kolaylıkla uyarlanabilmesi ve geleneksel yöntemle çözülemeyen problemlerde etkin olmasıdır. Bu yöntemler özellikle karmaşık problemlerde kesin en iyi çözümü garantileyemeseler de, kabul edilebilir süreler dahilinde optimuma yakınsayan çözümler geliştirebilirler.

Süre-maliyet optimizasyonu, proje planlaması ve yönetimi alanında karşılaşılan güçlüklerden biridir ve içerdiği büyük boyutlu matematiksel modeller nedeniyle metasezgisel yöntemler ile çözülmeye oldukça uygundur. Bu çalışmada, metasezgisel yöntemler ile çözülen süre-maliyet problemleri literatürde taranarak bir sistematik halinde sunulmuştur. Buna göre, yapılan ilk çalışmanın GA temeline dayanmakta olduğu ve üzerinden yaklaşık 20 yıl geçtiği görülmektedir. Sonrasında yapılan çalışmalar incelediğinde de GA'nın çeşitli modifikasyonlar ve melez yapılandırmalar ile popülerliğini halen koruduğu bilinmektedir. Ayrıca karınca kolonisi algoritması ve PSO yöntemleri de sıklıkla tercih edilen metasezgisel yöntemlerdendir.

Literatürde proje planlama alanında, süre ve maliyetin genellikle başlıca dikkate alınan unsurlar olmasının yanısıra; bazı durumlarda kalite ya da risk gibi konuların da optimizasyona katıldığı görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Chen SP, Tsai MJ. Time-cost trade-off analysis of project networks in fuzzy environments. *European Journal of Operational Research* 2011; 212 (2), 386-397.
- [2] Vanhoucke M, Debels D, Sched J. The discrete time/cost trade-off problem: extensions and heuristic procedures. *Journal of Scheduling* 2007; 10, 311-326.
- [3] Hegazy T. Optimization of construction time-cost trade-off analysis using genetic algorithms. *Canadian Journal of Civil Engineering* 1999; 26(6), 685-697.
- [4] Feng CW, Liu L, Burns SA. Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems. *Journal of Computing in Civil Engineering* 1997; 11 (3), 184-189.
- [5] Kandil A, El-Rayes K. Parallel computing framework for optimizing construction planning in large-scale projects. *Journal of Computing in Civil Engineering* 2005; 19 (3), 304-312.
- [6] Blum C, Roli A. Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys* 2003; 35, 268-308.

- [7] Albayrak G. Kaynak kısıtlı inşaat projeleri süre-gider eniyilemesinde karşılaştırmalı melez-metasezgisel yöntem seçimi. Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016, (devam ediyor).
- [8] Toklu YC. An overview of metaheuristic algorithms. *Metaheuristics and Engineering Proceedings of the 15th EU/ME Workshop, İstanbul-Turkey*; 2014. 13-16.
- [9] Kennedy J, Eberhart RC. Particle swarm optimization. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks IV*; 1995. 1942–1948.
- [10] Grosan C, Abraham A, Chis M. *Swarm intelligence in data mining, Swarm Intelligence in Data Mining*, Springer; 2006.
- [11] Dorigo M, Di Caro G. Ant colony optimization: a new meta-heuristic. *Proceeding of the 1999 Congress on Evolutionary Computation 1999*; 2, 1470–1477.
- [12] Chau DKH, Chan W T, Govindan K. A Time-cost trade-off model with resource consideration using genetic algorithm. *Civil Engineering Systems 1997*; 14, 291-311.
- [13] Kandil A, El-Rayes K. Parallel genetic algorithms for optimizing resource utilization in large-scale construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management 2006*; 132 (5), 491-498.
- [14] Sönmez R, Bettemir ÖH. A hybrid genetic algorithm for the discrete time-cost trade-off problem. *Expert Systems with Applications 2012*; 39(13), 11428-11434.
- [15] Huang YS, Deng JJ, Zhang YY. TI time-cost-quality tradeoff optimization in construction project based on modified ant colony algorithm. *Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Kunming, China*; 2008. 1031-1035.
- [16] Yang Q. Application of time-cost-quality tradeoff optimization model based on improved pso algorithm to construction project. *Proceedings of Asia-Pacific Conference on Information Processing, 02, IEEE Computer Society*; 2009. Washington, DC, USA.
- [17] Zhang H, Xing F. Fuzzy-multi-objective particle swarm optimization for time-cost-quality tradeoff in construction. *Automation in Construction 2010*; 19(8), 1067-1075.
- [18] Salmasnia A, Mokhtari H, Kamalabadi IN. A robust scheduling of projects with time, cost and quality considerations. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2011*; 60, 631-642.
- [19] Shrivastava R, Singh, Dubey GC. Multi Objective Optimization of Time Cost Quality Quantity using Multi Colony Ant Algorithm”, *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences 2012*; 7(16), 773-784.
- [20] Shahsavari Pour N, Modarres M, Tavakkoli Moghadam R. Time-cost-quality trade-off in project scheduling with linguistic variables. *World Applied Sciences Journal 2012*; 18 (3), 404-413.
- [21] Mungle S, Benyoucef L, Son YJ, Tiwari MK. A fuzzy clustering based genetic algorithm approach for time-cost-quality trade-off problems: a case study of highway construction project. *Engineering Applications of Artificial Intelligence 2013*; 26 (8), 1953–1966.
- [22] Zhang H. The fuzzy time-cost-quality-environment-trade-off analysis of resource construction systems for large-scale hydroelectric projects. *7th International Conference on Management Science and Engineering Management, Lecture Notes on Electrical Engineering 241*, Springer; 2014.
- [23] Golpira H, Hejazi S. A scenario based stochastic multi-objective modeling for time-cost-quality trade-off problem. *Project Management Development-Practice and Perspectives, University of Latvia, Riga, Latvia*; 2014.
- [24] Afruzi EN, Najafi AA, Roghanian E, Mazinani M. A multi-objective imperialist competitive algorithm for solving discrete time, cost and quality trade-off problems with mode identity and resource-constrained situations. *Computers and Operations Research 2014*; 50, 80–96.
- [25] Tavana M, Abtahi AR, Khalili-Damghani K. A new multi-objective multi-mode model for solving preemptive time-cost-quality trade-off project scheduling problems. *Journal of Expert Systems with Applications 2014*; 41, 1830–1846.
- [26] Monghasemi S, Nikoo MR, Fasaee MAK, Adamowski J. A novel multi criteria decision making model for optimizing time-cost-quality trade-off problems in construction projects. *Expert Systems with Applications 2015*; 42, 3089-3104.

- [27] Senouci AB, Naji K. A computerized system for scheduling and cost optimization of non-serial linear projects. *Surveying and Built Environment* 2006; 17(2), 49-62.
- [28] Afshar A, Kaveh A, Shoghli OR. Multi-objective optimization of time-cost-quality using multi-colony ant algorithm. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)* 2007; 8(2), 113-124.
- [29] Kasaeian A, Reza O, Afshar A. Nondominated archiving genetic algorithm for multi-objective optimization of time-cost trade-off. *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Evolutionary Computing, Vancouver, British Columbia, Canada; 2007.*
- [30] Pathak BK, Srivastava S. MOGA-based time cost tradeoffs: responsiveness for project uncertainties. presented at *IEEE Congress on Evolutionary Computation; 2007.*
- [31] Tareghian HR, Taheri SH. A solution procedure for the discrete time, cost and quality tradeoff problem using electromagnetic scatter search. *Applied Mathematics and Computation* 2007; 190 (2), 1136-1145.
- [32] Yang I. Using elitist particle swarm optimization to facilitate bicriterion time-cost trade-off analysis. *Journal of Construction Engineering and Management* 2007; 133 (7), 498-505.
- [33] Eshtehardian E, Afshar A, Abbasnia R. Time-cost optimization: using ga and fuzzy sets theory for uncertainties in cost. *Construction Management and Economics* 2008; 26(7), 679-691.
- [34] Hooshyar B, Rahmani A, Shenasa M. A Genetic algorithm to time cost trade off in project scheduling. presented *IEEE Congress on Evolutionary Computation; 2008.*
- [35] Iranmanesh H, Sikandari MR, Allahverdiloo M. Finding pareto optimal front for multimode time, cost quality tradeoff in project scheduling. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 2008; 40, 346-350.
- [36] Ng ST, Zhang Y. Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach. *Journal of Construction Engineering and Management*; 2008 134 (9), 721-728.
- [37] Pathak BK, Srivastava S, Srivastava K. Neural network embedded with multi-objective genetic algorithm to solve nonlinear time cost trade-off problem of project scheduling. *Journal of Scientific and Industrial Research* 2008; 67, 124-131.
- [38] Rahimi M, Iranmanesh H. Multi-objective particle swarm optimization for discrete time cost quality trade-off problems. *World Applied Sciences Journal* 2008; 4(2), 270-276.
- [39] Xiong Y, Kuang Y. Applying an ant colony optimization algorithm-based multiobjective approach for time-cost trade-off. *Journal of Construction Engineering and Management* 2008; 134(2), 153-156.
- [40] Afshar A, Ziaraty A, Kaveh A, Sharifi F. Nondominated archiving multicolony ant algorithm in time-cost trade-off optimization. *Journal of Construction Engineering and Management* 2009; 135(7), 668-674.
- [41] Eshtehardian E, Afshar A, Abbasnia R. Fuzzy-based moga approach to stochastic time-cost trade-off problem. *Automation in Construction* 2009; 18(5), 189-198.
- [42] Ezeldin SA, Soliman A. Hybrid time-cost optimization of nonserial repetitive construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management* 2009; 135(1), 42-55.
- [43] Abd El Razeq R H, Diab AM, Hafez SM, Aziz RF. Time-cost-quality trade-off software by using simplified genetic algorithm for typical repetitive construction projects. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering* 2010; 4(1).
- [44] Abdel-Raheem M, Khalafallah A. Using electimize to solve the time-cost tradeoff problem in construction engineering. *Computing in Civil Engineering Proceedings* 2011; 250-257.
- [45] Aladini K, Afshar A, Kalhor E. Discounted cash flow time-cost trade-off problem optimization; ACO approach. *Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing)* 2011; 12(4), 511-522.
- [46] Mohammadi G. Using genetic algorithms to solve industrial time cost tradeoff problems. *Indian Journal of Science and Technology* 2011; 4(10), 1273-1278.
- [47] Mokhtari H, Kazemzadeh RB, Salmasnia A. Time-cost tradeoff analysis in project management: an ant system approach. *IEEE Transactions on Engineering Management* 2011; 58 (1), 36-43.
- [48] Li H, Hussein MA, Lei Z. Incentive genetic algorithm based time-cost trade-off analysis across a build-operate-transfer project concession period. *Canadian Journal of Civil Engineering* 2011; 38, 166-174.

- [49] Haque KMA, Hasin M. Genetic algorithm for project time-cost optimization in fuzzy environment. *Journal of Industrial Engineering and Management* 2012; 5(2), 364-381.
- [50] Zhang Y, Ng S. An ant colony system based decision support system for construction time-cost optimization. *Journal of Civil Engineering and Management* 2012; 18(4), 580-589.
- [51] Issa UH, Eid MA. An application of genetic algorithms to time-cost-quality trade-off in construction industry. *Civil and Environmental Research* 2013; 3(12), 11-19.
- [52] Kaveh A, Khanzadi M, Alipour M, Rajabi Naraky M. CBO and CSS algorithms for resource allocation and time-cost trade-off. *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 2015; 59(3), 361–371.
- [53] Pathak BK, Srivastava S. Effects of project uncertainties on nonlinear time-cost tradeoff profile. *Iranian Journal of Fuzzy Systems* 2015; 12(4), 79-100.
- [54] Zareei M, Hassan-Pour HA. A multi-objective resource-constrained optimization of time-cost trade-off problems in scheduling project. *Iranian Journal of Management Studies* 2015; 8(4), 653-685.