

Araştırma makalesi; Gönderim Tarihi: 17.07.2019; Kabul Tarihi: 07.11.2019

Proje Planlama ve Çizelgelemede Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yöntem ile Kritik Yolun-Proje Tamamlanma Zamanının Tespiti ve Zaman-Maliyet Analizi

Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZKÖSE

Bartın Üniversitesi, İ.İ.B.F., Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü
hozkose@bartın.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-4628-3056

Prof. Dr. Cevriye GENCER

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
ctemel@gazi.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-3373-8306

Öz

Proje planlama ve çizelgeleme, proje yönetiminin karmaşık konuları arasındadır. Günümüz şartlarındaki rekabet ortamında, faaliyetlerin öncüllük veya ardıllık ilişkisine bağlı olarak hazırlanmış şebeke üzerinde kritik yol/yolların, kritik faaliyetlerin ve proje tamamlanma zamanının elde edilmesi proje planlama ve çizelgeleme için önemlidir. Ayrıca proje planlama ve çizelgelemede, zaman maliyet analizi zamandan tasarruf sağlarken maliyeti de en küçük hale getirmeyi hedefleyerek firmalara rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu yüzden, optimizasyon işlemi gerektiren bir konu olup matematiksel modeli oluşturularak en iyi çözümü bulunabilmektedir. Sezgisel/meta sezgisel algoritmaların ortaya çıkması ile birlikte optimizasyon problemlerinin çözümü daha da kolay hale gelmiştir. Tavlama benzetimi, tepe tırmanışı, karınca kolonisi, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi birçok meta sezgisel yaklaşım bulunmaktadır. Bu çalışmada, genetik algoritma tabanlı bir yöntem kullanılarak şebeke üzerindeki kritik yol/yolları, kritik faaliyetleri ve proje tamamlanma zamanını hesaplayan proje planlama ve çizelgeleme yazılımı geliştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen bu yazılım sayesinde istenen tamamlanma zamanı için zaman maliyet analizi de yapılabilmektedir. Geliştirilen yazılımın etkinliği örnek problemlerle test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Önerilen genetik algoritma tabanlı yöntem, tamamlanma zamanı, kritik faaliyetler ve kritik yol/yollar bakımından Project Management 2013 ve doğrusal model ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçların aynı olduğu görülmüştür. İstenilen tamamlanma zamanı bakımından zaman maliyet analizinde ise genetik algoritma tabanlı yöntemin doğrusal modellerle aynı sonuçları verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kritik yol, Kritik Faaliyet, Proje Yönetimi, Proje Tamamlanma Zamanı, Zaman-Maliyet Analizi, Genetik Algoritma

JEL Sınıfı: L00, L10, M10

The Evaluation of the Critical Path-the Project Completion Time and Time-Cost Analysis with Genetic Algorithm Based Method in Project Planning and Scheduling

Abstract

Project Planning and Project Scheduling are the sophisticated subjects of Project Management. At today's competitive environment; determining the critical path/paths, critical activities and the completion time of the project expressed as a network having precedence relationships between activities are highly vital for the Project Planning and Scheduling. Besides the time-cost analysis at Project Planning and Scheduling offers a competitive edge to the firms by saving time and minimizing costs. Therefore, it requires optimization and the best solution can be found with mathematical model. The solution of optimization problems have become easier with the occurrence of heuristic/meta heuristic algorithms. There are a lot of meta heuristic approaches like simulated annealing, hill climbing, ant colony, artificial neural networks and genetic algorithm. In this study, a Project Planning and Scheduling software was designed which uses a genetic algorithm based method to find the critical path, the critical activities and the time of completion on the network. Moreover, by means of the software, the time-cost analysis can be performed within the desired completion time. The effectiveness of the software was compared and tested with other examples. The proposed algorithm was compared with Project Management 2013 and Linear Model in respect to completion time, critical activities and critical path/paths. It was observed that the obtained results are same for each of the methods. In terms of time cost analysis for the desired completion time, it was observed that linear model and proposed algorithm give same results.

Keywords: Critical Path, Critical Activities, Project Management, Project Completion Time, Time-Cost Analysis, Genetic Algorithm

JEL Classification: L00, L10, M10

Giriş

Bu çalışmada proje çizelgelemede ve zaman-maliyet analizinde, meta sezgisel algoritmalarından genetik algoritma (GA) temelli bir program tasarlanmıştır. GA, zor ve karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılması, verimli sonuçlar vermesi ve algoritmanın probleme uygulanabilirliğinin yüksek olması nedeni ile tercih edilmiştir. Genetik algoritma tabanlı bu yöntem ile şebeke üzerinde kritik yol/yollar, kritik faaliyetler, proje tamamlanma zamanı belirlenebilmekte ve istenilen tamamlanma zamanı için zaman-maliyet analizi yapılabilmektedir. Yöntemin etkinliği örnek problemlerle test edilmiş ve MS Project Management paket

programından ve doğrusal modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve verimliliği ortaya konulmuştur.

1. Literatür Taraması

Endüstrideki çekişme gün geçtikçe artmaktadır. Bu yüzden firmalar kendilerini daha çok öne çıkarabilecek ya da daha fazla kazanç sağlayabilecek durumlara/projelere yönelmektedir. Projenin tanımı üzerine literatürde bir çok açıklama bulunmaktadır. Project Management Institute (PMI) tarafından yayınlanan PMBoK (2009)'e göre proje, benzersiz bir ürün, hizmet ya da sonuç yaratmak için yürütülen geçici bir girişimdir. Geçici nitelikte olmalarından dolayı projelerin kesin başlangıç ve bitiş tarihleri vardır. Projenin hedeflerine ulaşıldığında ya da hedeflere ulaşılamayacağı veya projeye son verildiğinde bitişe ulaşılmış olur. Geçicilik, her zaman sürenin kısa olduğu anlamına gelmez. Projeye yaratılan ürün, hizmet ya da sonuç için genellikle geçicilik söz konusu değildir; çoğu proje kalıcı bir sonuca ulaşmak amacıyla yürütülür (Project Management Institute, 2009). Türkiye Bilişim Derneği'ne göre proje, öngörülen hedeflere belirli bir süre içerisinde ulaşmak için, insan ve maddi kaynakları planlı bir çalışma içinde bir araya getiren ve kendi içerisinde bir bütünlük taşıyan yatırım ve etkinlikler paketidir (Türkiye Bilişim Derneği, 1999).

Firmalar alanlarında öne çıkabilmek ve daha fazla kazanç sağlayabilmek amacıyla ortaya koydukları projelerde başarılı olabilmeleri için proje yönetiminden etkin olarak faydalanmaları gerekmektedir. Peşkircioğlu (1989)'a göre proje yönetimi; proje olarak tanımlanan işlerin, bu tanımdaki zaman, performans ve kaynak kriterleri ile kısıtları uyarınca önceden belirlenmiş olan hedefe ulaşmak için sürdürülen planlama, organizasyon, yönetim, kaynakların tahsisi ve kullanımı, uygulama, izleme, kontrol ve değerlendirme faaliyetlerinin bir bütünüdür. Çimen (1994)'e göre proje yönetimi, ulaşılmak istenen belli bir sonucu elde etmek için kullanılan maddi ve beşeri kaynakların ortak faaliyetlerini planlama, örgütleme, yürütme ve denetleme çalışmalarıdır. Projelerin başarılı bir şekilde yürütülmesi için uygun teknoloji kullanımı ve gerekli kaynakların tahsisinden başka, etkin ve başarılı bir proje yönetiminin de gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Harold Kerzner (2003) proje başarısını zaman, maliyet ve performans sınırlamaları içinde projeyi tamamlamak olarak tanımlamıştır.

Proje yönetimi içerisindeki önemli kısımlardan biri de proje planlama ve çizelgelemedir. Proje planlama ve çizelgeme tekniklerinin temelini oluşturan GANTT Şeması, CPM (Critical Path Method) ve PERT (Project Evaluation and Review Technique) hakkında literatürde birçok kaynak bulunmaktadır.

Henry L. GANTT tarafından geliştirilen ve onun adını taşıyan bu diyagram basitliğine rağmen modern üretim yönetiminin önemli öncü buluşlarından biri sayılmaktadır. Günümüzde mekanik ve elektronik gereçlerin yardımı ile çok daha verimli programlama araçları geliştirilmiştir. Fakat GANTT diyagramı, basit ve kullanışlı olması nedeni ile küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin programcıları için önemli bir araç olma niteliğini hala sürdürmektedir (Kobu, 1999). GANTT şemalarının

anlaşılması ve hazırlanması kolaydır. Bu şemalar herhangi bir zamanda hangi aktivitenin gerçekleştirilmesi gerektiğini, daha da önemlisi projenin ilerleyişini günlük olarak gösterebilir ve böylelikle gerektiğinde düzeltici önlemlerin alınabilmesini sağlar (Demirbağ, 2008). Bu diyagramda planlanmış işin adımını oluşturan faaliyetler, süreyle doğru orantılı olarak yatay şerit ile gösterilirler. İşlem sırası yukarıdan aşağıya, zaman akışı soldan sağa doğrudur (Çelik vd.,1995).

CPM 1950'lerin sonlarına doğru kimya devi DuPont şirketi tarafından geliştirilmiş, büyük üretimlerin ve projelerin yapılmasında kullanılmıştır. İlk kez de çok büyük bir sentetik elyaf fabrikası yapımı projesinde uygulanmıştır. Proje, ümit edilen zamandan çok daha önce tamamlanmış ve firma imalata başlayıp piyasaya mal sevk edebilme olanağı ile büyük karlar elde etmiştir (Gorman, 1998). 1959'da CPM yöntemi, Dr. Mauchly tarafından basitleştirilerek, endüstri projelerine uygulanabilir hale getirilmiştir. Bu arada bilgisayar teknolojisi de hayli ilerlemiş ve buna paralel olarak CPM-PERT yöntemleriyle büyük ve uzun vadeli yatırımların kapasite dengelemesi, maliyet kontrolü vb. işlerin yapılması mümkün olmuştur (Pennypacker, 2002).

PERT'in tarihsel gelişimi incelendiğinde, Gantt şemalarının PERT'e temel teşkil ettiği görülmektedir. Ancak Gantt şeması, yapılacak işin safhaları arasındaki ilişkiyi bir dereceye kadar gösterdiğinden, bir takım eksiklikleri olan bir yöntemdir (Levin ve Kirkpatrick, 1973). Bu nedenle PERT'e Gantt şemasının daha gelişmiş bir biçimi de denilebilir (Temiz, 2001). CPM ile PERT arasındaki temel fark faaliyet sürelerinin tahminindedir. CPM'de kullanılan zaman değerleri kesinlik içerir ve bu nedenle tek bir zaman birimi ile ifade edilir. Faaliyet sürelerinin kesin olarak bilinmediği projelerde ise PERT tercih edilir. PERT yönteminde olasılıklı zaman sürelerinin kullanılması söz konusudur ve her faaliyet için üç zaman tanımlanır. Bu süreler; iyimser (a), kötümser (b) ve muhtemel (m) sürelerdir. PERT'in amacı, her faaliyetin ortalamasını ve varyansını ve tüm projenin de olasılık dağılımını bulmaktır. Bu konuda elde edilen bilgiler, projenin fizibilitesini değerlendirmede kullanılan, yönetim planlama bilgisini sağlar (Rowe, 1975 ve Schleip, W ve Schleip, R., 1972)

Proje planlama ve çizelgeleme aşağıda belirtildiği gibi firmalara veya kurumlara farklı şekillerde yardımcı olmaktadır.

- İş akışının düzenli bir şekilde yürütülmesini sağlar,
- İş akışındaki faaliyetlerin ayrıntılı bir şekilde görüntülenmesini sağlar,
- Projenin görsel karmaşıklığını ortadan kaldırır,
- Bütçenin kontrol altında tutulmasına yardımcı olur.

Bir projenin ana elemanları zaman, maliyet ve kapsamdır. Zaman, projenin tamamlanma zamanının belirlenmesini; maliyet, projede tanımlanan faaliyetlerin ortaya konulmasında kullanılan kaynakların toplam maliyetinin belirlenmesini ve kapsam, projenin sonucunu tanımlar. Yani, zaman ve kaynak belirli bir kapsam dâhilinde bir araya gelmektedir. Bu durum, kapsam çerçevesinde zaman ve maliyetin birbirini etkileyen iki unsur olduğunu ortaya koymaktadır (El-kholy, 2011).

Proje çizelgeleme ile proje tamamlanma zamanı ve proje maliyeti hesaplanabilmektedir. Ancak, tamamlanma zamanı, kullanılan kaynak miktarına bağlı olarak zamanda değişikliğe ve maliyette artışa neden olabilir. Bu durumda da zaman-maliyet analizi denilen kavram ortaya çıkmaktadır (Pana vd., 2008). Zaman-maliyet analizi matematiksel model yardımıyla yapılabilmektedir. Ancak, büyük şebekelerde çözüme ulaşmak mümkün olmayabilir veya çok zaman alabilir. Bu durumlarda, sezgisel/meta sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. En popüler araç olarak genetik algoritma kullanılmaktadır. Ayrıca, parçacık sürüsü optimizasyonu, dağılım arama, karınca kolonisi ve yapay sinir ağlarından da yararlanabiliriz (Yang, 2011).

Bu çalışmayla benzerlik gösteren çalışmalardan bazılarında aşağıda yer verilmiştir.

Hegazy (2011), inşaat sektöründe zaman-maliyet analizi çalışması yürütmüştür. Bu çalışmada genetik algoritma tabanlı bir sistem kurarak aktivitelerin zamanlarını kısaltarak maliyeti düşürmeye çalışmıştır.

Yang (2007), genetik algoritmaya benzerlik gösteren elitist parçacık sürü optimizasyon algoritması ile zaman maliyet analizi çalışması yürütmüştür.

Sinha ve Tripathi (2019) ise Metro inşaatı için zaman-maliyet optimizasyonunu Matlab'in genetik algoritma solver'ını kullanarak yapmışlardır.

Mendes (2016) ise inşaat projelerinde zaman maliyet analizi optimizasyon çalışmalarını genetik algoritma kullanarak yürütmüşlerdir.

Baviskar (2018) ise yol yapımı aşamasında zaman maliyet analizinin ne kadar önemli olduğuna vurgu yapan bir çalışma yürütmüştür.

Şetinc ve arkadaşları (2013) yürütmüş oldukları çalışmada modifiye edilmiş bir genetik algoritma ile bir otoyol projesindeki zaman maliyet analizi hesaplamalarını yapmışlardır.

Yukarıdaki örneklerden de görüldüğü üzere zaman-maliyet analizi problemler NP-Hard problemler olarak ele alınmış ve çözülmüştür.

Özellikle inşaat ve proje alanlarında çok fazla kullanılan zaman-maliyet analizi ile ilgili bir çok yayına ulaşmak mümkündür. Bunun dışında ise bu çalışma içerisinde yer alan kritik yolun bulunması işlemi aslında en yakın yolun bulunması ile benzerlik göstermektedir. Proje tamamlanma zamanı bu kritik yolun bulunması ile gerçekleşmektedir. Aslında projenin tamamlanma zamanını ifade eden bu ibare ile projenin tamamlanması için gereken en uzun yol bulunmuş olur. En kısa yolun bulunmasının tersi olarak da ifade edilebilir. Bu bağlamda navigasyon problemlerinde kullanılan optimizasyon algoritmalarının da bu alanda kullanılması mümkündür. Gezgin satıcı algoritmaları da bu kısım içerisine dahil edilebilir.

Lima (2019) gezgin satıcı problemlerini NP Hard problemler içerisinde tanımlamıştır. Xu ve arkadaşları (2019) ise dinamik bir gezgin satıcı problemi genetik algoritma ile çözmeyi önermişlerdir. Bu bağlamda bu tür problemlerin bir sezgisel algoritma ile çözülmesinin uygun olduğu görülmektedir. Aynı şekilde bizim problemimiz de bir NP-Hard problem olarak kabul edilebilir ve proje tamamlanma zamanı ve kritik yol veya yollar sezgisel algoritmalar ile bulunabilir. Bizim çalışmamızda ise sezgisel algoritma olarak genetik algoritma seçilmiştir.

2. Uygulama

2.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı, proje planlama ve çizelgelemede zamanının daraltılmasında ve oluşacak maliyetin en aza indirgenmesinde yaşanan sezgisel problem için bir algoritma oluşturulması ve en iyiye yakın sonucun bulunmaya çalışılmasıdır. Bu kapsamda oluşturulan doğrusal modellerle birlikte oluşturulan sezgisel yöntemin çözümleri karşılaştırılmıştır. Bu sayede, devamlı bir şekilde doğrusal model kodlamadan, sadece projenin ağ haritasının matrisi algoritmaya girilerek problemler için çözüm üretilmektedir.

2.2. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu çalışmada, sadece 4 problem üzerinde çözüm gösterilmektedir. 4 çalışma için de verimli sonuçlar elde edilmiştir. Fakat düğüm sayısı arttıkça problemin çözüm süresi de uzamaktadır.

2.3. Araştırmanın Yöntemi (Metodolojisi)

Bu çalışmada, MS Project Professional 2013 paket programı, Lindo 6.1 programı kullanılarak oluşturulan doğrusal model ve genetik algoritma tabanlı bir algoritma ile bir projedeki kritik yol/yollar, kritik faaliyetler ve proje tamamlanma zamanı bulunmuştur. Ayrıca, doğrusal model ve genetik algoritma tabanlı yazılım ile istenilen tamamlanma zamanı için zaman maliyet analizi yapılmıştır. Kullanılan bu yöntemler aşağıda sırası ile açıklanmıştır.

2.3.1. MS Project Professional 2013

Project Professional 2013 Microsoft tarafından üretilmiş olan bir paket programdır. Günlük işleri, proje görevlerini, önemli ayrıntıları ve zaman çizelgelerini görsel açıdan zengin ve bağlamsal bir arabirimde toplayan bu program görev planlaması, kaynak ataması, maliyet verimlilikleri ve projelerin birçok önemli ayrıntısına ışık tutmaktadır (İnternet, 2015). Bu çalışmada, kritik yol/yolların, kritik faaliyetlerin ve proje tamamlanma zamanının belirlenmesi ve diğer modellerle etkin bir kıyaslanmanın sağlanması için Gantt şemalarından yararlanılan bu paket program kullanılmıştır.

2.3.2. Doğrusal Model

Matematiksel programlama, kullanım alanları ve uygulanan teknikler bağlamında pek çok alt dala ayrılmıştır. Bunlar arasından doğrusal programlama, tam sayılı programlama, doğrusal olmayan programlama, konveks programlama, stokastik programlama, tümeleşik optimizasyon, yörünge optimizasyonu, dinamik programlama sayılabilmektedir.

“Dik iniş” adı verilen ilk optimizasyon yöntemi Gauss’a kadar uzansa da 1940’larda George Dantzig tarafından ortaya atılan doğrusal programlama kavramı bilinen en eski optimizasyon terimidir (Dantzig, 2002). Buna göre doğrusal programlama amaç fonksiyonu ve kısıtların, karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonu olarak yazıldığı matematiksel programlamanın özel bir alanıdır. Bir doğrusal programlama modelinde amaç fonksiyonu sistemi etkinliğinin bir ölçümünü veren kârın maksimizasyonu, maliyetin minimizasyonu gibi hedefler biçiminde ifade edilmektedir (Demiral, 2013). Doğrusal programlama problemlerinde kısıtlar doğrusal eşitlik ya da eşitsizlik biçiminde yazılır (Bakır ve Altunkaynak, 2003). Doğrusal programlama modelinin varsayımları doğrusallık, sınırlılık, toplanabilirlik ve negatif olmama olarak sıralanabilir (Sariaslan, 1990). Günümüzde personel programlamadan beslenme (diyet) problemlerine, ulaştırma problemlerinden atama problemlerine uzanan geniş kullanım alanı bulunmaktadır.

Doğrusal programlama problemlerinin çözüm sonuçları çoğu zaman tamsayı olmayan pozitif sayılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak gerçek hayatta sonuçları tamsayı olması gereken otomobil, mobilya, beyaz eşya gibi üretimler söz konusudur. Bu tür ürünlerin doğrusal programlama yöntemlerinden faydalanılarak üretilecek miktarlarının tespit edilmesinde tamsayı programlama kullanılmaktadır (Şahin, 1994).

Bu çalışmada, doğrusal model kritik yol/yolların belirlenmesi ve tamamlanma zamanının belirlenmesinde kullanılmıştır. Proje tamamlanma zamanı aşağıda verilen matematiksel model yardımıyla bulunabilir:

$$\text{Min } z = X_j \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$X_j \geq X_i + t_{ij} \quad \forall (i, j) \quad (2)$$

$$X_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Burada;

t_{ij} = i-j faaliyetinin normal zamanı

X_j = j olayının en erken meydana geliş zamanı ($j=1, 2, \dots, n$)

Modelde amaç fonksiyonu (1) projenin tamamlanma zamanını; (2) numaralı kısıt j olayının en erken meydana geliş zamanını ve (3) numaralı kısıt işaret kısıtlarını tanımlamaktadır. Bu çalışmada, doğrusal model ayrıca zaman-maliyet analizi çözümü için de kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar oluşturulan programların sonuçları ile karşılaştırmak için kullanılmıştır. Bir projede zaman-maliyet analiz matematiksel model yardımıyla en iyi şekilde hesaplanabilir.

Matematiksel modelin genel gösterimi aşağıdadır;

$$\text{Min } z = \sum S_{ij} * M_{ij} \quad (4)$$

Kısıtlar;

$$X_j \geq X_i + t_{ij} - M_{ij} \quad \gamma (i, j) \quad (5)$$

$$M_{ij} \leq t_{ij} - T_{ij} \quad \gamma (i, j) \quad (6)$$

$$X_n \leq T \quad (7)$$

$$M_{ij}, X_j \geq 0 \quad (8)$$

Modelde amaç fonksiyonu (4) istenilen T tamamlanma zamanı için gerekli olan hızlandırılmış/sıkılaştırılmış maliyeti göstermektedir. (5) numaralı kısıt j olayının en erken tamamlanma zamanını; (6) numaralı kısıt (i-j) faaliyetinin en fazla hızlandırılabilmesi/sıkılaştırılabilmesi süreyi; (7) numaralı kısıt n olayının istenilen T tamamlanma zamanında bitirilmesini ve (8) numaralı kısıt işaret kısıtlarını tanımlamaktadır.

Lindo 6.1 paket programı sayesinde oluşturulan doğrusal modeller ile projedeki kritik yol/yollar, kritik faaliyetler, proje tamamlanma zamanı ve istenilen tamamlanma zamanı için zaman-maliyet analizi sonuçları hesaplanmıştır.

2.3.3. Genetik Algoritma

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland Genetik Algoritma, üzerine ilk çalışmaları yapan kişidir (Engin, 2013). Goldberg'e göre; genetik algoritmalar rastgele araştırma tekniklerinin bir formu olup seçilen karakterler olasılık süreci ile birleştirilir. Genetik algoritmalar rastsal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir (Engin, 2013 ve Uçaner ve Özdemir, 2002). Genetik algoritma yöntemleri, çözüm alanını rastgele biçimde bombardımana tutarak en iyi çözümü arayan bir yöntemdir. Çözüme ulaşabilmek için önce çözüm uzayında rastgele noktalar topluluğu alınır. Daha sonra gösterilecek kuralların ışığı altında bu noktalar arasında eşleştirmeler yapılarak toplumun bazı üyeleri yok edilirken onların yerine yenileri

oluşturulur. Yeni gelen bireylerin topluma katılması ile o toplumun öncekinden daha sağlıklı, yani hedefe daha yakın olması beklenir. Böylece hedefe birçok noktadan ve kısa yollardan yaklaşılr (Şen, 2004 ve Karşlı, 2010).

Genetik algoritmalar optimizasyon tekniğine uygun olarak; bir problemin çözümüne belirli sayıdaki kromozomun rastgele oluşturulması ile başlar ve aşağıdaki adımlar gerçekleştirilerek yapılır (Şen, 2010).

1. Popülasyonun oluşturulması
2. Uygunluk değerlerinin hesaplanması
3. Yeni bireylerin üretilmesi
 - 3.1. Çaprazlama
 - 3.2. Mutasyon
4. Yeni Popülasyon seçimi
5. Test edilmesi

2.3.4. Genetik Algoritma Tabanlı Yöntem

Bu çalışmada genetik algoritma tabanlı bir yöntem kullanılarak kritik yol/yolları; kritik faaliyetleri, proje tamamlanma zamanı ve istenilen tamamlanma zamanı için zaman-maliyet analizlerini gerçekleştiren bir yazılım geliştirilmiştir. Genetik algoritma tabanlı bu yazılım Visual Studio 2010 Professional ortamında C# programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Yazılımın genetik algoritma temelli tasarlanmasının nedeni; bu tür karmaşık problemleri başarılı bir şekilde çözüme kavuşturmasıdır.

Geliştirilen yazılımın özelliklerini şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Kritik yolun/yolların,
- Proje tamamlanma zamanının,
- Alternatif yolların,
- Kritik faaliyetlerin bulunması,
- Zaman-maliyet analizinin yapılması.

Ayrıca genetik algoritma için aşağıda belirtilen özelliklerin seçilmesi uygun görülmüştür;

- Çaprazlama işlemi için tek noktalı çaprazlama,
- Yeni popülasyon seçimi için elitizm.

Yazılım, problemi iki adımda çözmektedir. İlk olarak, genetik algoritmanın uygulandığı ve kritik yol/yolların bulunduğu adımdır. Yazılımdaki kritik yol ve yollar sekmesinden, her bir faaliyetin öncül ve ardıl düğüm bilgilerine göre kaç günde bitirildiği yazılıma girilmektedir. Veri giriş işlemi tamamlandıktan sonra, genetik algoritma verilerini seçme kısmına geçilmektedir. Bu kısımda, genetik algoritma verileri

olan; popülasyon sayısı, nesil sayısı, elit birey sayısı, çaprazlama ve mutasyon oranları yazılıma girilmektedir.

Bu işlemten sonra, kritik yol/yollar, kritik faaliyetler, proje tamamlanma zamanı ve zaman-maliyet analizinden önceki toplam maliyet elde edilmiş olur. İlk adımın gerçekleştirildiği arayüz Şekil 1.'de gösterilmiştir.

İkinci adıma yazılımdaki zaman-maliyet analizi sekmesinden devam edilmektedir. Bu bölümde, her bir faaliyet için öncül ve ardıl düğüm bilgileri, normal zaman, hızlandırılmış zaman, normal maliyet, hızlandırılmış maliyet, eğim ve her bir faaliyetin ne kadar sıkılaştırabileceği ile ilgili veriler programa girilmektedir. Bu verilere göre ilk önce, her bir yoldaki faaliyetler belirlenip benzer yollar egale edilmektedir. Daha sonra, projenin istenilen tamamlanma zamanda bitirilmesi için gerekli olan veri girilerek zaman-maliyet analizi uygulanır. Bu işlemlerden sonra, kritik yol/yollar üzerinde hangi faaliyetlerin indirildiği ve istenilen proje tamamlanma zamanı için toplam maliyet değeri elde edilir. İkinci adımın gerçekleştirildiği arayüz Şekil 2.'de gösterilmiştir.

Şekil 1: Genetik algoritma tabanlı yazılımın kritik yol/yolları ve proje tamamlanma zamanını gösteren arayüz

Proje Yönetimi - Zaman Maliyet Analizi

Kritik Yol ve Yollar Zaman Maliyet Analizi

Düğüm Sayısını Giriniz : 18 Düğümleri Oluştur

Öncül Ardıl Faaliyet Süresi

Öncül Düğümü Seçin Ardıl Düğümü Seçin Kaydet Genetik Algoritma Verilerini Seç

Lütfen Genetik Algoritma Verilerini Seçiniz

Nesil Sayısını Giriniz : 10

Popülasyon Sayısını Giriniz : 100

Elit Birey Sayısını Giriniz : 5

Çaprazlama Oranını Giriniz : 2

Mutasyon Oranını Giriniz : 0,01

Genetik Algoritmayı Uygula

	Alan1	Alan2	Alan3	Alan4	Alan5	Alan6	Alan7
0	9	8	5	0	0	0	0
0	0	0	0	12	0	0	0
0	0	0	0	0	9	0	0
0	0	0	0	0	6	11	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Genetik algoritma ile elde edilen 100 adet yolun düğüm ve Tamamlanma Zamanları bilgileri aşağıdadır.

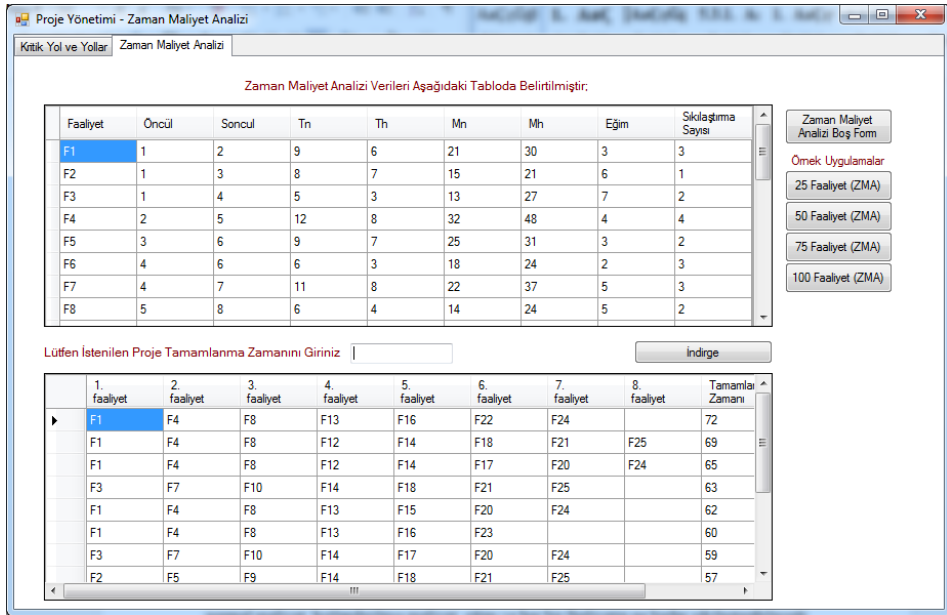
	1. Düğüm	2. Düğüm	3. Düğüm	4. Düğüm	5. Düğüm	6. Düğüm	7. Düğüm	8. Düğüm	9. Düğüm	Tamamlanma Zamanı
1	2	5	8	10	15	16	18			72
1	2	5	8	10	15	16	18			72
1	2	5	8	10	15	16	18			72
1	2	5	8	10	15	16	18			72

Zaman Maliyet Analizi için Lütfen Zaman Maliyet Analizi sekmesinden işlemlerinizi tamamlayınız.

Genetik algoritma, popülasyon tabanlı bir algoritma olduğu için nesil sayısı ve popülasyon sayısı algoritma için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu iki değişkenin seçimi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Eğer bu iki değişken çok yüksek seçilirse algoritmanın çalışma süresi uzayacaktır. Bunun anlamı, yolların elde edilme

süresinde, kullanıcı sonucu elde etmek için daha fazla bekleyecektir. Eğer bu değerler düşük seçilirse de bulunacak yol sayısı optimal sonuca ulaşmak veya yakınsamak için yeterli olmayabilir. Bekleme süresini azaltmak ve optimal değeri bulmak veya yaklaşmak için nesil sayısı ve popülasyon sayısı uygun değerlerde tutulmalıdır. Elit birey sayısının, literatür araştırmalarında popülasyon sayısının %5'i kadar olması önerilmektedir. Çalışmada farklı popülasyon sayılarının yüzde %1'i ve %5'i alınarak farklı deneyler yapılmış ve %5'in uygun olduğu belirlenmiştir. Çaprazlama olasılığı örnek problemler için %2, Mutasyon oranı ise % 0,01 olarak belirlenmiştir. Popülasyon, Nesil, Çaprazlama ve Mutasyon oranı değerlerine farklı deneme yanılma uygulamaları yapıldıktan sonra karar verilmiştir.

Şekil 2: Genetik algoritma tabanlı yazılımın kritik faaliyetleri ve istenilen tamamlanma zamanı için zaman-maliyet analizini gösteren arayüz



2.4. Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi

Çalışmalar, 2 gb'lık ekran kartına, 8 gb Ram'a ve 2 Ghz'lik i7 işlemciye sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Yazılımların performans değerlendirmesi için 25, 50, 75 ve 100 faaliyetli 4 örnek ele alınmıştır. Faaliyet sayılarının farklı tutulmasının en önemli nedeni, faaliyet sayısının artması ile birlikte oluşabilecek alternatif yol sayılarının artmasının rastgele tabanlı çalışan programların verimliliğini nasıl etkilediğini görmek ve görülen eksikliklerin giderilmesini sağlamaktır. Deneysel çalışmalardaki örnekler, doğrusal programlama modeli olan Lindo 6.1, MS Project

2013, Genetik Algoritma ve Önerilen yöntem kullanılarak çözülmüştür. Söz konusu örneklere bu bölümde sırasıyla yer verilmiştir.

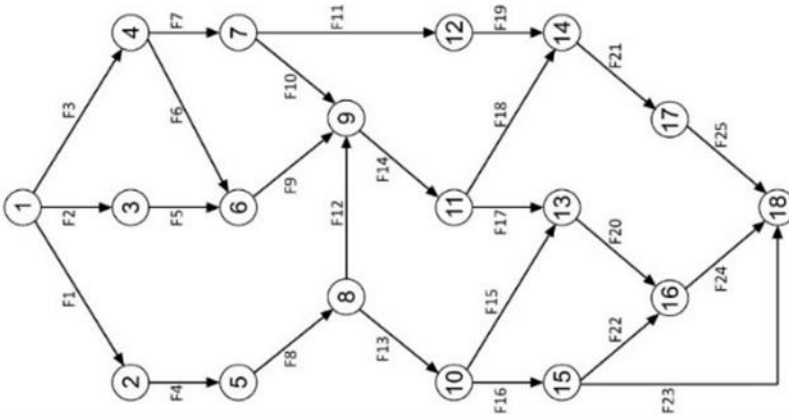
2.4.1. Uygulama Örnekleri

Uygulama örneklerinin değerlendirmelerine araştırma bulguları kısmında değinilmiştir. Çalışmanın bu kısmında uygulamada kullanılan örneklerin şebeke yapılarına ve zaman maliyet analizinde kullanılacak olan ve eğitim hesaplamasında kullanılan parametrelere yer verilmiştir.

2.4.1.1. 25 Faaliyetli Uygulama Örneği

25 faaliyetli örnek uygulama için Şekil 3'te görüldüğü üzere 18 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur.

Şekil 1: 25 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı



Çizelge 1'de ise zaman maliyet analizi için kullanılacak olan normal zaman (Tn), hızlandırılmış zaman (Th), normal maliyet (Mn) ve hızlandırılmış maliyet (Mh) bilgileri yer almaktadır.

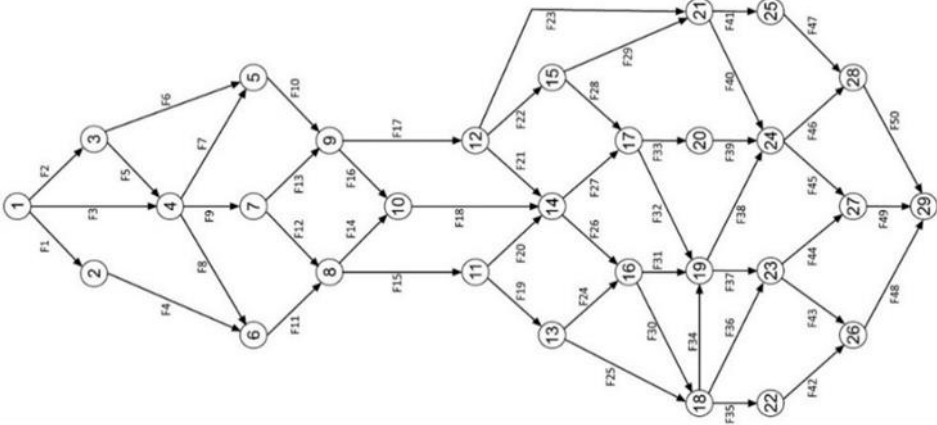
Çizelge 1: 25 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizi değerleri

Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh
F1	9	6	21	30	F10	14	8	28	70	F18	8	4	14	30
F2	8	7	15	21	F11	5	2	15	21	F19	10	7	18	33
F3	5	3	13	27	F12	9	5	17	25	F20	11	7	16	28
F4	12	8	32	48	F13	15	11	29	33	F21	9	6	19	37
F5	9	7	25	31	F14	8	6	14	20	F22	13	8	21	41
F6	6	3	18	24	F15	4	3	12	13	F23	6	2	13	21
F7	11	8	22	37	F16	12	9	21	30	F24	5	3	10	18
F8	6	4	14	24	F17	5	3	12	22	F25	8	3	15	40
F9	7	5	15	23										

2.4.1.2. 50 Faaliyetli Uygulama Örneği

50 faaliyetli örnek uygulama için Şekil 4’de görüldüğü üzere 29 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Çizelge 2’de Tn, Th, Mn ve Mh bilgileri yer almaktadır.

Şekil 2: 50 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı



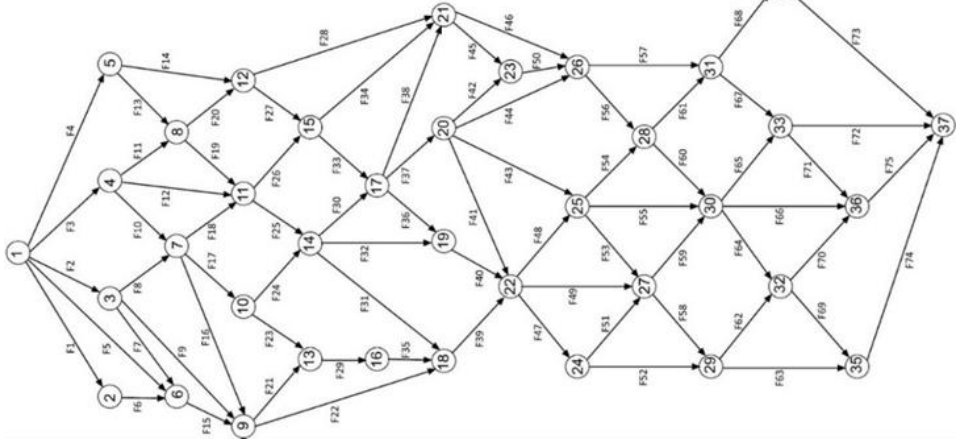
Çizelge 2: 50 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizi değerleri

Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh
F1	12	8	36	56	F18	16	9	32	46	F35	25	13	41	77
F2	15	9	25	43	F19	21	15	28	40	F36	21	12	32	68
F3	14	7	20	48	F20	24	9	32	77	F37	7	5	12	28
F4	20	12	45	77	F21	18	12	35	77	F38	12	8	20	40
F5	18	10	38	78	F22	16	6	30	90	F39	16	9	30	51
F6	16	9	30	72	F23	14	11	35	59	F40	14	7	21	63
F7	12	8	21	65	F24	8	5	15	30	F41	13	7	23	65
F8	9	6	15	39	F25	6	4	14	28	F42	8	5	15	42
F9	8	5	12	33	F26	18	12	30	60	F43	12	7	20	70
F10	14	9	22	52	F27	9	6	15	18	F44	15	8	21	56
F11	17	11	30	72	F28	14	8	21	57	F45	9	5	15	31
F12	32	21	70	125	F29	5	3	12	36	F46	11	6	22	42
F13	24	14	40	70	F30	33	21	68	104	F47	13	8	23	53
F14	20	8	36	96	F31	24	18	51	81	F48	17	8	31	76
F15	14	8	37	91	F32	15	7	32	80	F49	15	7	30	78
F16	18	11	30	100	F33	6	3	10	31	F50	14	8	26	68
F17	15	8	31	87	F34	18	12	35	47					

2.4.1.3. 75 Faaliyetli Örnek Uygulama

75 faaliyetli örnek uygulama için Şekil 5'te görüldüğü üzere 37 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Çizelge 3'te Tn, Th, Mn ve Mh bilgileri yer almaktadır.

Şekil 3: 75 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı



Çizelge 3: 75 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizi değerleri

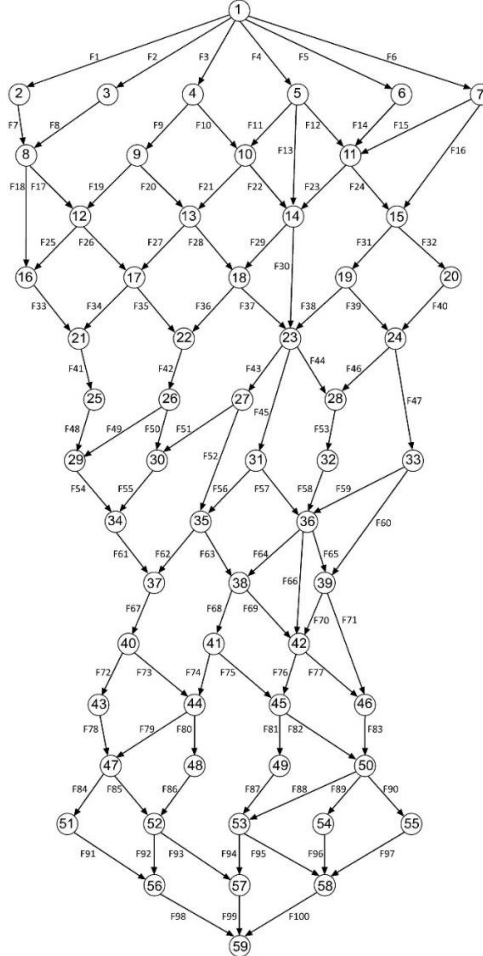
Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh
F1	15	10	320	390	F26	14	11	275	335	F51	9	4	175	280
F2	21	12	425	515	F27	16	9	290	318	F52	8	7	150	167
F3	14	8	295	349	F28	17	8	350	458	F53	16	9	345	443
F4	22	14	378	498	F29	10	6	165	193	F54	15	13	315	359
F5	18	9	330	456	F30	9	5	125	161	F55	14	10	280	344
F6	9	5	185	249	F31	6	3	92	125	F56	21	14	425	551
F7	12	6	202	250	F32	19	10	325	451	F57	12	9	195	234
F8	26	14	480	588	F33	14	8	302	410	F58	16	7	360	459
F9	17	9	380	420	F34	17	6	330	561	F59	23	9	430	542
F10	14	8	250	328	F35	13	10	250	295	F60	32	25	680	848
F11	24	10	400	540	F36	18	9	335	389	F61	24	13	415	613
F12	16	14	320	338	F37	14	11	275	299	F62	16	14	310	342
F13	14	12	265	277	F38	16	9	290	367	F63	18	11	350	469
F14	21	12	412	538	F39	21	12	420	528	F64	13	5	225	297
F15	26	14	617	869	F40	23	14	455	581	F65	9	5	175	219
F16	24	15	525	849	F41	17	6	350	526	F66	14	8	250	328
F17	18	9	320	428	F42	14	12	290	308	F67	21	13	395	459
F18	9	4	150	190	F43	29	15	625	765	F68	16	10	310	382
F19	6	3	118	145	F44	24	16	550	582	F69	15	8	280	343

F20	11	7	235	247	F45	17	12	300	315	F70	12	6	225	321
F21	7	2	120	190	F46	14	9	250	315	F71	18	11	325	451
F22	13	9	285	317	F47	8	3	145	215	F72	21	14	380	527
F23	14	11	310	328	F48	12	6	225	333	F73	16	9	310	429
F24	21	17	450	470	F49	11	6	200	270	F74	18	11	345	478
F25	22	20	465	495	F50	21	12	400	571	F75	14	9	260	330

2.4.1.4. 100 Faaliyetli Örnek Uygulama

100 faaliyetli örnek uygulama için Şekil 6'da görüldüğü üzere 59 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Çizelge 4'de Tn, Th, Mn ve Mh bilgileri yer almaktadır.

Şekil 4: 100 faaliyetli uygulama örneğinin şebeke yapısı



Çizelge 4: 100 faaliyetli örnek için Zaman-Maliyet analizi değerleri

Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh	Faaliyet	Tn	Th	Mn	Mh
F1	9	5	115	191	F35	4	2	58	108	F68	4	2	33	79
F2	5	3	60	94	F36	6	2	65	181	F69	9	5	120	196
F3	6	4	61	97	F37	8	2	64	232	F70	7	4	65	137
F4	8	6	107	149	F38	7	5	89	121	F71	8	3	101	231
F5	5	2	47	134	F39	3	2	44	71	F72	12	8	143	235
F6	3	2	25	44	F40	5	3	62	102	F73	9	5	82	202
F7	6	4	71	105	F41	13	9	167	255	F74	6	5	79	101
F8	8	3	104	244	F42	8	7	65	83	F75	8	7	106	128
F9	7	3	85	205	F43	6	5	87	109	F76	9	4	92	197
F10	4	2	35	67	F44	7	4	75	159	F77	11	6	141	226
F11	11	9	155	201	F45	9	5	126	194	F78	13	9	166	242
F12	8	6	71	111	F46	5	3	43	95	F79	7	5	71	119
F13	3	2	31	46	F47	4	3	57	74	F80	6	4	71	105
F14	6	3	84	132	F48	6	4	78	114	F81	5	3	64	108
F15	8	5	91	181	F49	8	4	103	207	F82	2	1	22	47
F16	14	8	126	264	F50	9	4	130	210	F83	5	3	43	99
F17	15	10	192	332	F51	14	8	136	244	F84	8	6	117	161
F18	9	6	75	159	F52	11	6	131	266	F85	10	5	82	217
F19	12	7	146	261	F53	7	5	98	158	F86	15	12	163	250
F20	8	6	115	175	F54	6	4	88	132	F87	13	9	189	301
F21	7	4	101	173	F55	11	7	114	178	F88	11	7	135	219
F22	9	5	100	172	F56	4	3	32	58	F89	7	5	99	147
F23	11	7	147	251	F57	9	7	107	167	F90	6	4	72	120
F24	12	8	163	259	F58	7	2	83	233	F91	9	5	112	232
F25	14	12	132	164	F59	11	6	127	207	F92	4	2	46	78
F26	8	6	114	158	F60	10	8	123	161	F93	5	3	56	100
F27	6	5	49	77	F61	6	3	78	159	F94	7	4	97	178
F28	3	2	31	51	F62	3	2	25	41	F95	6	4	75	123
F29	5	4	48	75	F63	9	7	96	140	F96	5	4	67	93
F30	4	2	50	110	F64	7	4	59	104	F97	8	6	84	128
F31	8	4	118	234	F65	5	3	44	74	F98	11	7	123	207
F32	7	6	73	97	F66	5	2	45	105	F99	9	6	95	173
F33	12	6	108	210	F67	6	3	85	139	F100	4	2	44	104
F34	9	6	92	143										

2.4.2. Araştırma Bulguları

Çizelge 5'te tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin doğrusal model, MS Project 2013 ve genetik algoritma tabanlı yöntem için karşılaştırmasına yer verilmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde, tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin tüm çözüm yöntemlerinde aynı sonuçları verdiği ve tutarlı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Tamamlanma zamanı ve kritik yolun nasıl hesaplandığı ile ilgili matematiksel model denklem 1'de verilmiştir. Sezgisel model ile ilgili anlatım ise bölüm 2.3.3'de yer almaktadır.

Çizelge 5: Tamamlanma zamanı ve kritik faaliyetlerin doğrusal model, MS Project 2013, genetik algoritma ve önerilen program için karşılaştırması

Tamamlanma Zamanı (T.Z.) ve Kritik Faaliyetler (K.F.)					
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4	
	T.Z.	72	217	248	146
Doğrusal Model	K.F.	F1, F4, F8, F13, F16, F22 ve F24	F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F37, F44 ve F49	F2, F8, F17, F24, F30, F38, F45, F50, F56, F60, F64, F69 ve F74	F1, F7, F17, F25, F33, F41, F48, F54, F61, F67, F72, F78, F84, F91 ve F98
			F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F38, F46 ve F50		
	T.Z.	72	217	248	146
MS Project 2013	K.F.	F1, F4, F8, F13, F16, F22 ve F24	F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F37, F44 ve F49	F2, F8, F17, F24, F30, F38, F45, F50, F56, F60, F64, F69 ve F74	F1, F7, F17, F25, F33, F41, F48, F54, F61, F67, F72, F78, F84, F91 ve F98
			F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F38, F46 ve F50		
	T.Z.	72	217	248	146
Genetik Algoritma Tabanlı Method	K.F.	F1, F4, F8, F13, F16, F22 ve F24	F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F37, F44 ve F49	F2, F8, F17, F24, F30, F38, F45, F50, F56, F60, F64, F69 ve F74	F1, F7, F17, F25, F33, F41, F48, F54, F61, F67, F72, F78, F84, F91 ve F98
			F2, F5, F9, F12, F15, F20, F26, F30, F34, F38, F46 ve F50		

Matematiksel modelde sıkıştırma yapıldıkça kritik yol sayısı arttığından alternatif kritik yollardaki tüm faaliyetlerin eğimlerine bakılarak en iyisi seçilmektedir. Genetik algoritma tabanlı programda ise alternatif kritik yollardan rastgele olarak birisi seçilerek sıkıştırmaya devam edilmekteydi. Elde edilen ilk sonuçlardan sonra, doğrusal modelin çalışma prensibi de algoritmaya adapte edilmiştir. Bu sayede genetik algoritma tabanlı yazılımdaki eksiklikler giderilmiş ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6'da doğrusal model ve genetik algoritma tabanlı yöntem için zaman-maliyet analizi işlemi sonucunda indirgenen faaliyetler görülmektedir. Çizelge incelendiğinde önerilen yöntem ve doğrusal modelin aynı indirgeme işlemlerini yaptığı görülmektedir.

Genetik algoritma tabanlı yöntemlerin genelde optimal sonuca ulaşması veya yaklaşması beklenir. Burada genetik algoritma tabanlı yöntemizin optimal sonuca ulaştığı görülmektedir.

Çizelge 6: İndirgenen faaliyetler (* kaç kez indirildiği)

Örnekler	Doğrusal Model			Genetik Algoritma Tabanlı Yöntem		
	5 gün	10 gün	15 gün	5 gün	10 gün	15 gün
Örnek 1	F1*2, F13*3	F1*3, F4*3, F13*4, F14*1	F1*3, F4*3, F13*4, F14*2, F16*3, F18*4, F22*2	F1*2, F13*3	F1*3, F4*3, F13*4, F14*1	F1*3, F4*3, F13*4, F14*2, F16*3, F18*4, F22*2
Örnek 2	F2*1, F34*4	F2*6, F34*4	F2*6, F20*2, F30*3, F34*4	F2*1, F34*4	F2*6, F34*4	F2*6, F20*2, F30*3, F34*4
Örnek 3	F45*5	F24*4, F45*5, F69*1	F8*5, F24*4, F45*5, F69*1	F45*5	F24*4, F45*5, F69*1	F8*5, F24*4, F45*5, F69*1
Örnek 4	F25*2, F33*3	F7*2, F25*2, F33*3, F67*3	F7*2, F25*2, F33*3, F67*3, F78*4, F98*1	F25*2, F33*3	F7*2, F25*2, F33*3, F67*3	F7*2, F25*2, F33*3, F67*3, F78*4, F98*1

Çizelge 7’de her örnek için istenilen tamamlanma zamanında projeyi bitirmek için hızlandırma maliyetleri gösterilmiştir. Çizelge 7 incelendiğinde, hızlandırma maliyetlerinde farklılık olmadığı görülmektedir.

Denklemler 4’te hızlandırma maliyetinin nasıl hesaplandığı matematiksel formül ile gösterilmiştir. Bir tanesini örnek olarak verecek olursak ; Örnek 1’de genetik algoritma tabanlı yöntemde 5 günlük sıkıştırma işleminde F1 faaliyetinin 2 gün ve F13 faaliyetinin ise 3 gün sıkıştırdığı görülmektedir. F1 faaliyetinin eğimi $(M_n - M_h) / (T_n - T_h)$ formülünden 3 olarak elde edilmiştir. F13 faaliyetinin eğimi ise gene aynı formüle göre 1 olarak bulunmuştur. 2 gün indirgenen F1 faaliyetinin maliyeti $2 * 3 = 6$ olarak bulunmuştur. F13 faaliyetinin maliyeti ise $3 * 1 = 3$ olarak elde edilmiştir. Toplam maliyet ise $6 + 3 = 9$ olarak elde edilmiştir. Çizelge 7 incelendiğinde bu değer 9 olduğu görülmektedir.

Çizelge 7: Her örnek için istenilen tamamlanma zamanında projeyi bitirmek için hızlandırma maliyetleri

Örnekler	Hızlandırma Maliyetleri					
	Doğrusal Model			Genetik Algoritma Tabanlı Yöntem		
	5 gün	10 gün	15 gün	5 gün	10 gün	15 gün
Örnek 1	9	28	64	9	28	64
Örnek 2	11	26	41	11	26	41
Örnek 3	15	44	89	15	44	89
Örnek 4	83	171	268	83	171	268

Sezgisel algoritmaların matematiksel modelden sapma değeri aşağıdaki formül ile hesaplanarak Çizelge 8’de verilmektedir. Çizelge 8’de görüldüğü üzere önerilen yöntemde herhangi bir sapmaya rastlanılmamış ve doğrusal model ile aynı sonuçları vermiştir.

$$Sapma = \frac{Zs - Zm}{Zm} * 100 \quad (9)$$

Çizelge 8: Zaman-maliyet analizi değerlerinin sapması

Örnekler	Genetik Algoritma Tabanlı Yöntem		
	5 gün	10 gün	15 gün
Örnek 1	0	0	0
Örnek 2	0	0	0
Örnek 3	0	0	0
Örnek 4	0	0	0

Sonuç

Bu çalışmada, genetik algoritma tabanlı bir yöntem kullanılarak şebeke üzerindeki kritik yol/yolları, kritik faaliyetleri ve proje tamamlanma zamanını bulan proje planlama ve çizelgeleme programı Visual Studio Professional 2010 ortamında C# programlama dili kullanılarak tasarlanmıştır. Ayrıca tasarlanan bu program sayesinde istenen tamamlanma zamanı için zaman maliyet analizi de yapılabilmektedir.

Tasarlanan programın etkinliği özgün olarak tasarlanmış 25, 50, 75 ve 100 faaliyetli örnek uygulamalarla denenmiştir. Elde edilen sonuçlar, projenin tamamlanma zamanı, kritik yol/yollar ve kritik faaliyetler açısından doğrusal model ve MS Project 2013; istenilen T tamamlanma zamanı için doğrusal model ile karşılaştırılmıştır.

Genetik algoritma tabanlı yöntem, proje tamamlanma zamanı, kritik faaliyetler ve kritik yol/yollar için doğrusal model ve Project Management ile aynı sonuçları verdiği görülmüştür. İstenilen tamamlanma zamanı için zaman maliyet analizinde ise

doğrusal model ile aynı sonuçlar elde edilmiştir. Genelde optimal sonuca yaklaşan bu yöntemimiz burada optimal sonucu vermektedir. Bunun en büyük nedeni oluşturulmuş olan örnek problemler olabilir. Farklı örneklerde optimal sonuca ulaşamayabilir ve genetik algoritma tabanlı önerilen yöntemimiz optimal sonuca yakınsayabilir.

Önerilen yöntem kullanılarak oluşturulan program sayesinde zaman-maliyet analizi ile ilgili problemler rahatlıkla çözülebilmektedir. Program sadece 4 örnek uygulama için geliştirilmemiştir tüm zaman-maliyet analizi problemlerini çözmeye elverişli olarak tasarlanmıştır. Bu sayede karmaşık doğrusal modele ihtiyaç duyulmadan ve daha az hata yapma ihtimali ile zaman maliyet analizi problemleri çözülebilmektedir. Ayrıca, bu program proje yönetiminin önemli konularından biri olan proje planlama ve çizelgeme işlemlerinde kritik yol/yolların bulunması ve tamamlanma zamanının hesaplanması adımlarını da başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir.

Kaynakça

- Bakır, M. A., Altunkaynak, B. (2003). *Tamsayılı Programlama: Teori, Modeller ve Algoritmalar*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Baviskar, R. V. ve Devalkar, R. V. (2018). Time –cost optimization in the road construction case study–Nashik Sinnar Highway. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 7(2), 167-171.
- Çelik, M. H., Kanıt, R., Erdiller, G. ve Erdamar, M. (1995). Ankara İli Delice İlçesi Köprüsünün Cpm Metodu ile Mühendislik Kriterlerinin Belirlenmesi. *Journal of Engineering Sciences*, 1, 95-103.
- Çimen, S. (1994). Projelerde Başarıyı Belirleyen Faktörler ve Kamu Kuruluşlarında Bu Faktörlere Yaklaşımın Belirlenmesi, *DPT Uzmanlık Tezleri*, Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı.
- Dantzig, G. (2002). Linear Programming. *Operations Research*, 50(1), (Anniversary Issue), 42-47.
- Demiral, M. F. (2013). Bulanık Doğrusal Programlama ile Süt Endüstrisinde Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(2), 373-397.
- Demirbağ, H., (2008). *Proje Hazırlama ve Yönetme Rehberi*, Ankara: T.C. Başbakanlık Diyanet İşleri Başkanlığı Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 59.
- El-kholy, A., M. (2011). Time–Cost Tradeoff Analysis Considering Funding Variability and Time Uncertainty, *Alexandria Engineering Journal*, 52, 113-121.

- Engin, T. (2013). Genetik Algoritma İle Toplu Ulaşım Sistemi Hareket Çizelgesi Optimizasyonu: Çanakkale Örneği, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Gorman, T. (1998). *Complete Idiot's Guide to MBA Basics*, Indianapolis: Alphabooks, 101.
- Hegazy, Tarek., (2011), Optimization of construction time - Cost trade-off analysis using genetic algorithms. *Canadian Journal of Civil Engineering*.
- Karslı, N., (2010), Akıllı Ulaşım Sistemleri İçin Yapay Bağışıklık Sistemleri ve Genetik Algoritma İle Yeni Stokastik En Kısa Yol Algoritmalarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 45.
- Kerzner, H. (2003). *Project Management*, 8.Baskı, New Jersey: John Wiley&Sons.
- Kobu, B., (1999), *Üretim Yönetimi*, İstanbul: İİE Araştırma ve Yardım Vakfı, 447.
- Levin, R. I. ve Kirkpatrick, C. A. (1973). PERT ve CPM İle Planlama ve Denetim, 2. Baskı, Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi İdari Bilimler Fakültesi.
- Lima, M. S. (2019). *Algorithmic-Information Theory interpretation to the Traveling Salesman Problem*. <https://doi.org/10.31224/osf.io/gmzn5>
- Mendes, J. M. (2016). Multi objective optimization of construction project time-cost-quality trade-off using a genetic algorithm. *Wseas Transactions on Computers*, 15, 310-318.
- Pana, N., H., Hsaiob, P., W. ve Chena, K., Y., (2008). A Study Of Project Scheduling Optimization Using Tabu Search Algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(7), 1101–1112.
- Pennypacker, J. (2002). *Managing Multiple Projects*. New York: Marcel Dekker Incorporated, 15.
- Peşkiricioğlu, N. (1989). *Proje Yönetimi ve Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Uygulama Özellikleri*, Ankara: PMP Yayınları, 4.
- Project Management Institute (2009), *Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Klavuzu (PMBok Kılavuzu)*, 4. Baskı, İstanbul: ANSI/PMI 99-001-2008, PMI.
- Project Professional 2013. Microsoft Office. URL: <https://products.office.com/tr-TR/project/project-professional-2013-desktop-software> Son Erişim Tarihi: 16.01.2015.

- Rowe, K. (1975). *Management Techniques For Civil Engineering Construction*, London: Applied Science Publishers Ltd.
- Sariaslan, H. (1990). *Kaynak Dağılımında Doğrusal Programlama*. Ankara: Turhan Kitabevi.
- Şahin, S. (1994). *Tamsayılı Programlama ve Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Sinha, L. ve Tripathi, A. (2019). Cost and Time Optimization of Highway (NH 24-B, Phase-I) Construction, *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 4(7).
- Schleip, W. ve Schleip, R. (1972). *Planning and Control in Management: The German RPS System*, England: Peter Peregrinus Ltd.
- Şen, G. (2010). *Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesinde Genetik Algoritma Yaklaşımı*, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 20-22.
- Şen, Z. (2004). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri*. 2. Baskı, İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- Şetinc, M., Gradišar, M., ve Tomat, L. (2013). Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. *A Journal of Mathematical Programming and Operations Research*, 687-707.
- Türkiye Bilişim Derneği (1999). *Bilişim Projeleri Yönetimi El Kitabı*. Ankara: Türkiye Bilişim Derneği Yayınları.
- Temiz Kutlu, N. (2001). Proje Planlama Teknikleri ve Pert Tekniğinin İnşaat Sektöründe Uygulanması Üzerine Bir Çalışma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 3.
- Uçaner, M. E. Ve Özdemir O. N. (2002). Genetik algoritmalar ile içme suyu şebekelerinde ek klorlama optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), 160.
- Xu, X., Yuan, H., Matthew, P., Ray, J., Bagdasar, O. ve Trovati, M. (2019). GORTS: genetic algorithm based on one-by-one revision of two sides for dynamic travelling salesman problems. *Soft Computing*, 1-14.
- Yang, I-T. (2011). Stochastic Time–Cost Tradeoff Analysis: A Distribution-Free Approach with Focus on Correlation and Stochastic Dominance. *Automation in Construction*, 20(7), 916–926.

Yang, I. T. (2007). Using elitist particle swarm optimization to facilitate bicriterion time-cost trade-off analysis. *Journal of construction engineering and management*, 133(7), 498-505.