



Proje Çizelgeleme Problemlerinde Gri Kurt Optimizasyon Algoritması: Müze Tasarım Sektöründe Bir Uygulama

Grey Wolf Optimization Algorithm In Project Scheduling Problems: An Application In The Museum Design Sector

¹ Semih VERGİ¹ ² Emre ASLAN²

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tokat / Türkiye, semihvergi@gmail.com
² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Tokat / Türkiye, emre.aslan@gop.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada müze tasarım sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin proje yönetiminde karşılaştığı bir çizelgeleme problemine meta sezgisel algoritmalarla Gri Kurt Algoritması (GWO) yardımıyla çözüm getirilmesi hedeflenmiştir. Araştırmada ele alınan proje çizelgeleme problemine ilişkin 19 farklı etkinliğin tamamlanma süreleri, etkinliklerin hangi ekipler tarafından üstlenileceği, etkinliklere ilişkin öncüller ve problemde karşılaşılan kısıtlar bilinmektedir. İç mimari tasarımı ve sergi alanlarının oluşturulmasına yönelik işlemlerin ele alındığı çizelgeleme problemine tamamlanma süresinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Problemin verilerine ve problemin kısıtlarına yönelik Python programlama dilinde gri kurt algoritmasının çözümü elde edilmiştir. Bu operasyonel işlem için firma yetkilileri tarafından 260 gün(süre) tamamlanma süresi belirlenmiş, kritik yol (CPM) metodu ile de 242 gün(süre) olarak tamamlanma süresinin hesaplanması karşın uygulanan yöntem kısıtlar ve değişkenler çerçevesinde işlerin yeniden sıralamasını gerçekleştirerek 213 gün(süre) sonucuna ulaşmıştır. Bu sonuç belirlenen sürelerle kıyasla başarılı bir sonuç elde etmiştir. Bu yönüyle de müze tasarım sektöründe karşılaşılan gerçek bir operasyonel süreçte ait problemin başarılı bir sonuç elde edilerek çözülmesi araştırmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Proje Çizelgeleme, Çizelgeleme Problemleri, Meta Sezgisel Yöntemler, Gri Kurt Optimizasyonu

ABSTRACT

In this study, the aim is to address the scheduling problem encountered in the project management of a company operating in the museum design sector by utilizing the Grey Wolf Optimization (GWO) algorithm, a meta-heuristic approach. The completion times of 19 different activities related to the project scheduling problem addressed in the research, which teams will undertake the activities, the precedencies related to the activities and the constraints encountered in the problem are known. The scheduling problem, which focuses on the processes related to interior design and the creation of exhibition spaces, aims to minimize the completion time. The solution to the problem, along with its data and constraints, was obtained using the Grey Wolf Optimization algorithm implemented in Python. The company set a target completion time of 260 days, while the Critical Path Method (CPM) calculated a duration of 242 days. However, the applied GWO method reordered tasks within the framework of constraints and variables, achieving a completion time of 213 days. This outcome represents a successful result compared to the initially defined timeframes. Consequently, solving a real operational process problem in the museum design sector with a successful outcome highlights the originality of this research.

Keywords: Project Scheduling, Scheduling Problems, Meta Heuristic Methods, Grey Wolf Optimization

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Başvuru Tarihi: 12 Nisan 2024

Kabul Tarihi: 02 Mart 2025

Makale Türü

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Semih VERGİ

ARTICLE INFOS

Article History

Received: April 12, 2024

Accepted: March 02, 2025

Article Type

Research Article

Corresponding Author

Semih VERGİ

1. Giriş

Proje, belirli bir amacı gerçekleştirmek için belirlenmiş bir zaman aralığında ve belirli bir bütçe çerçevesinde tamamlanması planlanan bir dizi faaliyetin gerekliliklerinin yerine getirdiği bir süreçtir. Planlanan her proje, belirli bir ihtiyacı karşılamayı hedeflediğinden projelerin kendine özgü problemlerinin üstesinden gelme ihtiyacı doğmaktadır. Büyük ölçekli projelerin etkin bir şekilde yönetilmesi,

zaman ve kaynakların doğru bir şekilde tahmin edilmesini gerektirir (Kurt, 2006: 2). Başarılı bir proje, belirlenen zaman, maliyet, kaynak ve performans kısıtları içinde hedeflere ulaşmalıdır. Günümüz iş dünyasında operasyonel işlemlere ilişkin alternatiflerin veya kısıtların artması ile proje yönetimi karmaşık ve dinamik hale gelmiştir. Proje yönetimindeki en önemli sorunlardan biri, bir dizi faaliyetin uygun bir biçimde bir araya getirilerek ve mümkün olan en kısa sürede tamamlanmasıdır. Bu yönü ile proje yönetiminde kullanılan araçlar önem arz etmekte olup en önemli etkenlerden biri

de operasyonların planlanmasında ortaya çıkan çizelgeleme problemlerinin verimli bir şekilde aşılmasıdır. Proje çizelgeleme problemleri, bir projenin belirli görevleri arasındaki sıralamayı, süreyi ve kaynak kullanımını optimize etmeyi amaçlayan matematiksel modellerdir. (Kurt, 2006: 2; Kolaylıoğlu, 2006: 450; PMI, 2017).

Araştırma proje çizelgeleme problemlerinde karşılaşılan kaynak kısıtlı, kesintili ve kesintisiz hibrit proje çizelgeleme problemlerinden bir örnek teşkil etmektedir. Ele alınan proje çizelgeleme problemi, müze tasarımı sektöründe temel operasyonlardan biri olan İç Mimari Tasarımı ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması işlemine ait olup bu sürece bağlı 19 farklı etkinlik bulunmaktadır. Her bir etkinlik belirli bir başlangıç ve bitiş süresine sahip olup işlemlerin öncülleri bulunmakta ve belirlenen ekipler tarafından tamamlanabilmektedir. Atanan ekipler çizelgeleme probleminde kaynak olarak ortaya çıkmaktadır. Kısıtlarda bulunan etkinliklerin koordineli yürütülmesi ya da kesintiye uğratılamayacak kesintisiz işlemlerin varlığı ve ekiplerin projede bulunma sürelerine ilişkin kısıtlar çizelgeleme probleminin hibrit yapıda olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

Araştırmaya konu problem, firma tarafından gerçekleştirilen projelere yönelik gerçek bir hayat problemi olup, araştırmanın amacı projenin tamamlanma süresini minimize etmektir.

Araştırmada kullanılan yöntem ise Mirjalili ve çalışma arkadaşları tarafından 2014 yılında geliştirilen gri kurt algoritması (Grey Wolf Optimizer) yöntemidir. Yöntem doğadan ilham alan meta sezgisel algoritmalarından olup gri kurtların avlanma stratejisine göre geliştirilmiştir. Meta sezgisel algoritmalar kullanım yönü itibarıyla kendine has dinamikleri ve kısıtları olan problemlere uygulanmakta olup NP Zor nitelikte problemlere hızlı ve uygulanabilir sonuçlar üretmesiyle ön plana çıkmaktadır (Mirjalili vd., 2014: 46).

Çalışma beş bölümden oluşmakta olup, birinci bölümde giriş kısmı yer almaktadır. İkinci bölümde karşılaşılan proje çizelgeleme problemlerine yönelik kavramsal çerçeveye ve literatür araştırmasına değinilmiştir. Üçüncü bölümde probleme ilişkin bilgi ve veriler ortaya konarak problemin çözümüne yönelik uygulanacak yöntem hakkında bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölüm bulgularla ilgili bilgi ve açıklamalardan oluşmaktadır. Algoritma, Python programlama dilinde kodlanarak belirlenen performans kriterlerine kıyasla başarılı bir sonuç elde etmiştir. Algoritmanın çözümü ile elde edilen sonuçlar ise son bölümde yorumlanmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve

Bu bölümde, proje çizelgeleme problemleri, meta sezgisel yöntemler ve literatürde bulunan benzer araştırmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Proje Çizelgeleme

Proje yönetiminin önemli bir unsuru olan çizelgeleme, etkinlik ve verimliliği artıran kritik bir planlama sürecidir. Çizelgeleme sürecinde, faaliyetler arasındaki öncelik ve sıra ilişkilerinin belirlenmesi, kaynakların tahsisi ve faaliyet sürelerinin hesaplanması gibi adımlar yer almaktadır. Bu süreç, projenin zamanında tamamlanması ve kaynakların verimli kullanılması gibi hedeflerin gerçekleşmesini sağlayarak proje sürecine önemli katkılar sağlamaktadır (Kurt, 2006: 2-6; Kolaylıoğlu, 2006: 450-452). Çizelgeleme problemleri, görevlerin belirli kısıtlar altında nasıl planlanacağını belirlemeye odaklanmaktadır. Bu problemler, görevlerin başlangıç ve bitiş zamanları, görevler arası bağımlılıklar ve kaynak kısıtları gibi temel kavramları içermektedir. Genellikle, proje tamamlanma süresini en aza indirmek veya kaynak

kullanımını maksimize etmek gibi hedefler doğrultusunda optimizasyonlar sağlanmaktadır. Başarılı bir çizelgeleme, projenin kalite, zaman ve maliyet yönünden hedeflerine ulaşmasına hizmet etmektedir. (Demeulemeester ve Herroelen, 2002: 3-7).

2.2. Meta Sezgisel Yöntemler

Meta sezgisel yöntemler çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan ve araştırmacılar arasında karmaşık yapıdaki problemlerin çözümünde büyük ilgi gören yöntemlerdendir. Bu yöntemler, belirli bir problemi çözmek için kullanılan sezgisel algoritmaların parametrelerini optimize etmek veya performanslarını artırmak için doğadan ilham alarak ya da geçmiş verileri kullanarak başka bir sezgisel yaklaşımın kullanılmasına yönelik olup, sezgisel algoritmaların optimize edilmesini ve performanslarının artırılmasını hedeflemektedir. Bilgisayar bilimi, mühendislik, ekonomi, tıp ve daha birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan meta sezgisel yöntemler, uyumlanma ve esnek yapısıyla etkili bir çözüm aracı olarak görülmektedir (Glover ve Kochenberger, 2006: 1-6).

Meta sezgisel yöntemler, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Doğadan esinlenen yöntemler arasında genetik algoritmalar, karınca kolonisi optimizasyonu, gri kurt algoritması optimizasyonu vb. yöntemler yer alırken, doğadan esinlenmeyen yöntemler; benzetimli tavlama ve tabu arama gibi teknikleri içermektedir. Ayrıca amaç fonksiyonlarının dinamik ya da statik olması bakımından da kategorize edilebilmektedir. Komşuluk yapısına dayanan teknikler ise belirli bir çözüm etrafındaki potansiyel çözümleri incelerken, değişken komşuluk yapısına sahip yöntemler daha esnek bir arama stratejisi benimsemektedir. Hafıza kullanımı da önemli bir ayırt edici özellik olup, tabu arama gibi bazı yöntemler geçmiş bilgileri kullanarak arama sürecini iyileştirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca tek çözüme dayalı meta sezgisel yöntemler genellikle bireysel çözümleri optimize etmeye odaklanırken, karınca kolonisi optimizasyonu gibi toplum tabanlı yöntemler bir grup ajan arasındaki etkileşimlerden yararlanmaktadır (Blum ve Roli, 2003: 4).

Bu bağlamda proje yönetimi ve proje çizelgeleme gibi alanlarda problemlerin özellikleri ve meta sezgisel yöntemlerin güçlü yönleri uygulanabilirliği açısından önemli bir etken olarak ortaya çıkmaktadır. En yaygın kullanılan meta sezgisel yöntemler arasında Benzetimli Tavlama, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Tabu Arama ve Genetik Algoritmalar yer almaktadır. Meta sezgisel yöntemlerin proje yönetimi ve çizelgeleme alanında kullanımı, geniş veri setleriyle yapılan deneyler ve gerçek dünya uygulamaları ile desteklenmesi, yöntemlerin bu süreçlerde önemli bir potansiyele sahip olduğunu düşündürmektedir (Kolisch ve Hartmann, 2006: 23-27: 4-7; Vanhoucke, 2012: 4; Burke ve Kendall 2005: 5).

2.3. Literatür Taraması

Bu bölümde araştırma problemlerine ve araştırma yöntemine benzer nitelikte literatürde yer alan spesifik ve genel kabul görmüş araştırmalara yer verilmiştir.

Brucker vd. (1999), kaynak kısıtları altında zaman kısıtlı proje çizelgeleme problemlerini ele alan bir model geliştirmiştir. Bu çalışmada, görevlerin belirli bir süre içinde tamamlanması, kaynakların kullanılabilirliği ve diğer kısıtlar göz önüne alınarak problem optimize edilmiştir.

Rasmussen ve Sorensen. (2000), karmaşık proje çizelgelerinin zaman kısıtlarını ele alan genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yöntem ile, büyük ölçekli projelerin zaman

kısıtlarına uygun olarak çizelgelenmesinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Hartmann (2001), tarafından yapılan araştırmada, yenilenebilir ve yenilenemez kaynakların yer aldığı çizelgeleme problemleri açısından meta sezgisel yöntemlerden biri olan Genetik Algoritma ile bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın geliştirmiş olduğu yaklaşım literatürde raporlanmış olan üç sezgisel yöntemle kıyaslanmıştır. İleriye sürülen yeni yaklaşımın, en iyi proje süresine yönelik ortalama sapma kriterine göre kıyaslama yapılan üç sezgisel yöntemden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

Brucker ve Kampmeyer (2005) gerçekleştirdikleri araştırmada, çizelgeleme problemleri için geliştirilen Tabu Arama algoritmalarının etkinliği değerlendirilmiştir. Araştırma, farklı komşuluk yapılarına dayalı stratejilerin karşılaştırmalı analizini sunmakta; özellikle blok temelli komşulukların çözüm kalitesi ve hesaplama süresi açısından dengeli performans gösterdiğini vurgulamıştır. Elde edilen bulgularla, önerilen yöntemlerin çevrim süresi minimizasyonunda başarı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ruiz ve Stützle (2007) tarafından yapılan çalışmada, çizelgeleme problemlerinden bir örneğe yeni bir algoritma çözümü sunulmuştur. Yazarlar, geliştirmiş olduğu algoritmanın benzer yöntemler karşısında performansını kıyaslayıp, algoritmanın bu tip problemlere kolayca uygulanabilir olduğunu ele almışlardır. Genetik algoritmalar ile tabu aramanın birleştirilmesinin çözüm kalitesini artırdığını vurgulamışlardır. Meta sezgisel yöntemlerin inşaat projeleri, yazılım geliştirme ve ürün geliştirme gibi geniş bir uygulama yelpazesinde başarıyla kullanıldığı ortaya konulmuştur.

Jiang ve Zhang (2018), "Application of Grey Wolf Optimization for Solving Combinatorial Problems: Job Shop and Flexible Job Shop Scheduling Cases" başlıklı çalışmalarında, gri kurt algoritmasının iş atölyesi ve esnek iş atölyesi çizelgeleme problemlerine uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Bu çalışma, GWO'nun kombinatoriyal optimizasyon problemlerindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Sonuçlar, GWO'nun her iki çizelgeleme problemde de rekabetçi performans sergilediğini ve diğer meta sezgisel algoritmalarla karşılaştırılabilir sonuçlar elde ettiğini göstermektedir.

Ebesek ve Yaman (2019) çalışmalarında geliştirdikleri algoritmayı PSPLIB problemleri üzerinden sınımışlar; problemlerinin çözümü sonucunda elde edilen J30 ve J60 problemlerinin ortalama sapma değerleri aynı çözüm sonuçlarını veren diğer çalışmalarla birlikte en üst banatta yer aldığı gözlenmiştir. Elde ettikleri sonuçlarda J120 problemlerinde ise altıncı sırada yer almıştır.

Tolouei ve Moosavi (2020), gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, uzun vadeli üretim çizelgeleme problemlerinin çözümünde gri kurt algoritmasını augmented lagrangian relaxation (ALR) yöntemiyle entegre ederek hibrit bir model sunmuşlardır. Bu yaklaşım, problem çözüm performansını artırmayı ve yakınsamayı hızlandırmayı hedeflemiştir. Önerilen model, yarasa algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma gibi meta sezgisel yöntemlerin entegrasyonu ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. GWO'nun ALR yöntemine entegrasyonu ile yerel optimumda sıkışmayı azaltmış ve daha yüksek kaliteli çözümler üretmiştir. Sonuçlar, net bugünkü değer, ortalama cevher tenörü ve işlem süresi açısından daha üstün performans sergilendiğini göstermektedir.

Yılmaz vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen "Investigating Multi-Objective Time, Cost, and Risk Problems Using the Grey Wolf Optimization Algorithm" başlıklı araştırmada, zaman, maliyet ve risk unsurlarını aynı anda optimize etmeyi hedefleyen çok amaçlı problemleri çözmek için Gri Kurt Optimizasyonu algoritmasının uygulanabilirliğini test edilmiştir. Araştırmada, standart çok amaçlı

veri setleri üzerinde yapılan testlerde, GWO algoritmasının optimal çözümler üretmede etkili olduğu ve çözüm uzayını dengeli bir şekilde taradığı sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmada, 11 faaliyetli ve 13 faaliyetli iki farklı veri seti üzerinde sonuç elde edilmeye çalışılmış ve özellikle 13 faaliyetli veri setinde kıyaslanan başka bir meta sezgisel yöntemle göre (Parçacık Sürü Optimizasyonu) %10 oranında daha verimli bir sonuç elde edildiği vurgulanmıştır. Ayrıca, GWO'nun zaman, maliyet ve risk odaklı çok amaçlı problemler için etkili bir araç olduğu ve farklı mühendislik ve yönetim alanlarında uygulanabilirliğini kanıtladığı savunulmaktadır.

Huang vd. (2024) tarafından bulut bilişim ortamlarında görev zamanlama probleminin optimizasyonuna yönelik gerçekleştirilen araştırmada, Gri Kurt Optimizasyonu (GWO) algoritmasını yeni bir kodlama mekanizması ile geliştiren yenilikçi bir yaklaşım sunulmuştur. Araştırma, kaynak kullanımını optimize etmeye ve toplam görev tamamlama süresini (makespan) minimize etmeye odaklanmıştır. Çeşitli bulut görev zamanlama veri setleri üzerinde yapılan testlerde, önerilen yöntem, kıyaslama yapılan tamamlanma süresi değerini %25,7 oranında minimize etmeyi başarmıştır. Ayrıca meta-sezgisel algoritmalar (PSO) ile kıyaslandığında ise %18,3 oranında daha iyi sonuç vermiştir. Araştırmada, yeni kodlama mekanizmasının optimal çözüme ulaşmak için gereken iterasyon sayısını ortalama %30 oranında azaltarak algoritmanın yakınsama hızını önemli ölçüde artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, yöntemin dinamik ve büyük ölçekli görev zamanlama senaryolarında son derece uygun olduğunu ve bulut kaynaklarının verimli kullanılmasını sağladığını vurgulamaktadır.

Çorumlu vd. (2024) yaptıkları bir araştırmada, proje çizelgeleme problemlerine ilişkin olarak bulanık doğrusal programlama yaklaşımıyla yeni bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada, özellikle yazılım projelerinde belirsizliklerin yönetilmesi amacıyla bulanık doğrusal programlama modelinin nasıl uygulanabileceği ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Geliştirdikleri model, projede farklı görevler arasındaki bağımlılıkları, belirsiz görev sürelerini ve kaynak kısıtlarını dikkate almıştır. Araştırmada, üyelik dereceleri azaldıkça proje tamamlanma sürelerinin kısalacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Zhou vd. (2024) gerçekleştirdikleri araştırmada esnek iş akışı çizelgeleme problemlerinde optimuma ulaşmak için Gri Kurt Optimizasyonu (GWO) algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonunu (SS-GWO) uygulamıştır. Araştırmada, GWO'nun temel yapısı, hız ve doğruluk açısından iyileştirilmiş, özellikle çözüm arama aşamasında daha dengeli bir global ve lokal arama stratejisi önerilmiştir. Çalışmada kullanılan veri setleri, esnek iş akışı çizelgeleme probleminin standart örneklerini içermektedir ve bu veri setlerinde her iş için farklı makinelerde işleme süreleri ve sıralama kısıtları dikkate alınmıştır. Araştırmanın sonuçları, SS-GWO algoritmasının, geleneksel GWO'ya kıyasla daha düşük toplam üretim süresi (makespan) ve daha hızlı yakınsama sağlandığını ortaya koymaktadır. Örneğin, belirli bir veri seti üzerinde SS-GWO algoritması ile elde edilen sonuçlar geleneksel GWO sonuçları ile kıyaslanmış ve tamamlanma süresinin %19 ve %37 oranında azaldığı ortaya konulmuştur. Çalışmada ayrıca, farklı parametre kombinasyonları ile yapılan deneyler, algoritmanın çeşitli problem büyüklüklerinde ve karmaşıklık düzeylerinde başarılı sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Chen vd. (2025) çalışmalarında, sıralamaya bağlı kurulum sürelerine sahip ortak akış tipi atölye çizelgeleme problemlerine GWO'ya dayalı bir model uygulamışlardır. Çalışma, bu problemin karmaşıklığını göz önünde bulundurarak algoritmayı özellikle hem yerel hem de global arama yeteneklerini iyileştirecek şekilde geliştirmiştir. Sonuçlar, algoritmanın toplam tamamlanma süresini (%10-15 oranında) azaltmada ve işleme verimliliğini artırmada

geleneksel optimizasyon yöntemlerinden daha üstün olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, algoritmanın, farklı boyutlardaki problemler için çözüm yakınsama hızını artırdığı ve yerel optimumda sıkışma problemini minimize ettiği belirtilmiştir. Özellikle büyük ölçekli problemler üzerinde yapılan deneylerde, çözüm kalitesinin ve işlem süresinin başkaca meta sezgisel yöntemlere (örn. Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma) kıyasla daha üstün olduğu kanıtlanmıştır.

Araştırmanın problemini oluşturan hibrit proje çizelgeleme problemlerinde özellikle meta sezgisel algoritmaların karmaşık projelerin zaman kısıtlarına uygun olarak çizelgelenmesinde yaygın olarak kullanılmakta olduğunu gözlenmektedir. Bunun yanı sıra bu tip problemlerinin çözümü, problem boyutu ve karmaşıklığına bağlı olarak zorlu olabilmektedir. Büyük ölçekli projelerde, doğru çözümü bulmak genellikle zaman ve hesaplama gücüne ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar ve yöneticiler bu problemler üzerine daha etkili çözüm yöntemleri geliştirmek için farklı yöntemlerin uygulanabilirliğini sınamaya ihtiyaç duymaktadır (Kolisch ve Hartmann, 2006: 23-37).

3. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde çalışmanın uygulama problemi ve amacı tanımlanarak, problemin çözüm yöntemi olarak belirlenen meta sezgisel algoritmalarla gri kurt algoritması hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Problemin Tanımı

Araştırmada müze tasarım sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın gerçekleştirmiş olduğu bir projeden elde edilen verilerle özgün bir proje çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Veriler firma yetkililerinden elde edilmiş olup ayrıca araştırmacı tarafından gözlem yoluyla teyit edilmiştir. Proje, Şekil 1’de gösterilen 5 temel operasyonel işleme sahip olup ele alınan operasyonel süreç “İç Mimari Tasarımı Ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması” işlemine aittir. Bu operasyonel işlemde 19 farklı etkinliğin planlanan süreleri bilinmektedir. Etkinlikler uzmanlık alanlarına göre 7 farklı ekip tarafından yönetilmektedir. Ekipler aynı anda birden fazla işlemi yüklenemezler (müze araştırmacıları hariç) ve operasyonel süreçler içerisinde farklı projelerde olma yükümlülükleri olduğu için işe başlangıç ve iş sonlandırma sürelerinde belirli kısıtlar mevcuttur. Yöneticiler tarafından etkinliklerin planlama sürelerinin 260 gün

olarak belirlenmesine karşın çizelgelemenin daha verimli yapılması sonucunda bu sürenin daha da kısalacağı düşünülmektedir.

3.1.1 Araştırmaya İlişkin Veriler

Araştırma verilerine ilişkin bilgiler firmanın daha önceden gerçekleştirmiş olduğu projelere yönelik deneyimlerinden ortaya çıkmış olup araştırmada ele alınacak operasyonel süreçle ilişkin etkinliklerin tamamlanma süreleri, etkinliklerin atandığı ekipler ve etkinliklere ilişkin öncül etkinlikler bilinmektedir.

Müze Tasarımında Projenin Tamamlanmasına Yönelik 5 Temel Operasyon Şekil 1’de ifade edilmiştir. İşin Teslim Süresi: 545 gün olarak belirtilmiştir. Projenin tamamlanma süresinde temel operasyonel işlemlerden, restorasyon, makina tesisatı, elektrik tesisatı ve peyzaj işlemleri iş akışında öncelik sıralaması bakımından iç mimari tasarımı ve müze sergi alanlarının oluşturulması işinden önce yapılacak olup, bu süreçle ilişkin tamamlanma süresi 260 gündür.

Şekil 1

Proje Yönetiminde Temel Operasyonel İşlemlerin Tamamlanma Süreleri ve Öncelik Sıralamaları



Proje sürecinde işlem süresi en uzun süreç İç Mimari Tasarımı ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması işlemidir. Bu süreçle yönelik alt işlemler ve işlemlerin atandığı ekipler Tablo 1 yardımıyla ifade edilmektedir.

Tablo 1

Etkinliklerin Sembolleri ve Etkinlikleri Üstlenen Ekipler

Etkinliklere Atanan Semboller	Etkinlik Açıklamaları	Etkinliklerin Atandığı Ekipler
A	Müze İçerik Araştırmalarının Yapılması	Müze Araştırmacıları
B	İçeriklerin Oluşturulması ve Metinlerin Yazılması	Müze Araştırmacıları
C	Video Prodüksiyon Senaryolarının Yazılması	Medya Ekibi
D	İngilizce İçerik İçin Videoların ve Teknolojik Sunumların Tercümelerinin Yapılması	Müze Araştırmacıları
E	Pano Metinlerinin İngilizce Tercümelerinin Yapılması	Müze Araştırmacıları
F	Sözlü Tarih Video Çekimlerinin Yapılması	Medya Ekibi
G	Sözlü Tarih Video Kayıtlarının Kurgu ve Montajının Yapılması	Medya Ekibi
H	Görsel Panoların Grafik Tasarımlarının ve Uygulamalarının Yapılması	Grafik Tasarım Ekibi
I	Görsel Panoların Baskı İmalatlarının Yapılması ve Yerine Uygulanması İşleri	Reklam ve Baskı Ekibi
J	Yönlendirmelerin İmalatlarının Yapılması ve Yerine Montaj Yoluyla Konulması İşleri	Teknik Ekip
K	Müze Sergileme Elemanları İmalat ve Uygulamalarının Yapılması	Heykel ve Maket Ekibi

L	Ünitelerin İmalat ve Montajının Yapılması	Teknik Ekip
M	Mobilyaların İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları	Teknik Ekip
N	Dekor, Canlandırma ve Maketlerin İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları	Heykel ve Maket Ekibi
O	Aydınlatma Elemanları	Teknik Ekip
P	Video Prodüksiyonları	Medya Ekibi
R	Teknolojik ve Elektronik Sunum Uygulamaları	Teknik Ekip
S	Yazılımların Oluşturulması ve Teknolojik Cihazlara Entegrasyonu	Yazılım Ekibi
T	Doküman Bilgisayarların ve Projeksiyonların Temini, Montajı ve Yazılım Entegrasyonu	Teknik Ekip

Tablo 1’de belirtildiği üzere “İç Mimari Tasarımı ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması” operasyonunda 19 farklı etkinlik bulunmaktadır. Bu etkinlikler araştırmada ele alınan sürecin tamamlanması için gerçekleştirilmesi gereken işlemler olarak ortaya çıkmaktadır. Problemin çözümünde kolay anlaşılabilirliği ve parametrelerde karmaşıya yol açmamak adına etkinlikler A’dan T’ye kadar alfabetik şekilde sıralanarak sembolleştirilmiştir. Ayrıca tasarım firmasına bağlı 7 farklı ekip (Müze Araştırmacıları, Medya Ekibi, Grafik Tasarım Ekibi, Teknik Ekip, Reklam ve Baskı, Heykel ve Maket Ekibi, Yazılım Ekibi) olup, her bir etkinliğe bir ekip atanmıştır. Ekipler uzmanlık alanlarına göre farklı etkinliklere atanmış olup, uzmanlıkları dışındaki etkinliklere atanma durumları söz konusu değildir.

Tablo 2

Etkinliklerin Öncülleri ve Tamamlanma süreleri

Etkinlik	Etkinliklerin Öncülleri	Etkinliklerin Planlanan Süreleri (Gün)
A	-	30
B	A	15
C	A	5
D	C	7
E	C, D	4
F	E	5
G	B	15
H	E	10
I	B	30
J	B	50
K	B	40
L	K	17
M	J, L	7
N	I, K	22
O	N	25
P	O	45
R	P	10
S	M, N	10
T	S	5

Tablo 2’de etkinliklere ait öncüller verilmiştir. Öncül etkinlikler, ardılı olan etkinliğin başlangıç yapabilmesi için tamamlanması gereken etkinlikler olarak ön plana çıkmaktadır. Örneğin, A (Müze İçerik Araştırmalarının Yapılması) etkinliği B (İçeriklerin Oluşturulması ve Metinlerin Yazılması) ve C (Video Prodüksiyon Senaryolarının Yazılması) etkinliğinin öncülü olarak yer almaktadır.

Müze araştırmacıları tarafından içerik araştırmaları işlemi tamamlamadan yine müze araştırmacıları tarafından üstlenilen içeriklerin oluşturulması ve metinlerin yazılması etkinliği ve medya ekibi tarafından video prodüksiyon senaryolarının yazılması etkinliğinin başlangıç yapması mümkün değildir. Bu tür etkinlikler birbirlerine bağlı etkinliklerdir. Ayrıca Tablo 2’de bu etkinliklere yönelik planlanan kesin süreler bilinmektedir. Sürelerin sabit olmasının sebebi müze tasarım sektöründe gerçekleştirilen projelerin genellikle kamu ihaleleri olması sebebiyle ihale gerçekleştirme süreleri sıkı şartnamelere bağlanmış ve tamamlanma sürelerinde esneklik gerçekleştirmeye müsait olmamasıdır. Bu sebeple firma yöneticileri etkinliklere yönelik kesin süreler atamıştır.

3.1.2 Araştırma Problemine Yönelik Kısıtlar

Proje yönetimi, projelerin belirlenen zaman, maliyet ve kalite hedeflerine ulaşmasını sağlamak amacıyla çeşitli kısıtlar altında yürütülen bir süreçtir. Proje yöneticileri, genellikle projelerin özgün ve dinamik kısıtlar gibi temel zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır (Kerzner, 2017: 1). Bu kısıtlar, projenin kapsamını, faaliyetlerin sıralanışını ve karar alma süreçlerini önemli ölçüde etkiler. Özellikle müze tasarımı gibi çok disiplinli projelerde farklı disiplinlerdeki uzman ekipler arasındaki uyumun sağlanması gibi özel kısıtlar söz konusu olabilmektedir. Bu tür projelerde, tasarım süreçlerinin başarılı olması, kısıtların dikkatlice değerlendirilmesi ve yönetilmesi ile mümkün hale gelmektedir (Falk ve Dierking, 2013:1-7). Bu bağlamda araştırmada ele alınan çizelgeleme probleminin de kendine has kısıtları bulunmaktadır. Kısıtlara yönelik bilgiler aşağıda açıklanmıştır:

Tablo 2’de verilmiş olan öncül işlemler problemin kısıtlarından bir olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca firma yetkililerinin geçmiş verileri inceleyerek öncül olarak belirledikleri etkinliklerin bazılarında esneklik yapabileceklerini ve koordineli çalışma ile tamamlanma süresinde azalma yaşanabileceğini uygun görmeleri sonucunda etkinliklerin bazı katı ve esnek işlemler olarak ayrıldığı tespit edilmiştir.

Katı işlemler öncüllük kurallarının kesinlikle esnetilemeyeceği, öncül olan etkinlik tamamlanmadan ardıl etkinliğin iş başlangıcı yapamayacağı etkinlikleri temsil etmektedir. Katı işlemler Tablo 3’te sunulmuştur. Bu etkinlikler öncül ve ardıl etkinliklerin tamamlanma süreçlerinin birbirine sıkı sıkıya bağlandığı işlemler olarak ön plana çıkmaktadır. Örneğin, Tablo 3’te görüldüğü üzere, heykel ve maket ekibi tarafından “Müze Sergileme Elemanları İmalat ve Uygulamalarının Yapılması” (K) etkinliği bitmeden, teknik ekip tarafından “Ünitelerin İmalat Ve Montajının Yapılması” (L) etkinliğinin başlaması mümkün değildir.

Tablo 3

Katı İşlemler

Etkinlik	Öncül Olarak Kesinlikle Tamamlanması
----------	--------------------------------------

C	A
D	C
F	E
H	E
I	B
J	B
K	B
L	K
P	O
S	M, N

Tablo 4
Esnetilebilir İşlemler

Etkinlik	Öncül (Koordineli Başlatılabilecek İşlemler)	Öncül Uzama Süresi (Gün)	Ardıl Uzama Süresi (Gün)
B	A	3	5
D	B	5	-
E	C	-	1
G	F	-	1
M	L	3	1
N	I	-	4
O	N	-	3
R	P	-	4
T	S	2	-

Tablo 4'te esnetilebilir veya koordineli çalışmaya müsait olan etkinlikler sunulmuştur. Bu etkinliklerin öncülleri arasında Tablo 3'te verilen etkinlikler gibi sıkı bir yapı olmadığından koordineli yürütülmesi veya kesintiye uğratılması söz konusu olabilmektedir. Ancak esneklik uygulanması etkinlikler arasında hazırlık süreçleri veya ayarlama süreçleri olduğundan etkinliklerin sürelerinin uzaması söz konusu olabilmektedir. Bu süreler faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin direkt olarak artması gibi faaliyet başlangıçlarından önce veya bitişlerinden sonra boşluk süreleri olarak da meydana gelebilmektedir. Örneğin, "Mobilyaların İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları" (M) etkinliğinin öncül etkinliği "Ünitelerin İmalat ve Montajının Yapılması" (L) etkinliğidir. M etkinliğinin L etkinliğinin bitiş süresi bitmeden koordineli başlatılabileceği ortaya çıkmıştır. Buna karşın bu esnekliğin sağlanması göze alındığı durumda M etkinliğinin süresinin 3 gün, L etkinliğinin süresinin ise 1 gün süre ile uzaması söz konusu olabilmektedir.

Tablo 5
Ekiplerin Mevcut Projede Bulunma Koşulları

Ekipler	Üstlenilen Etkinlikler	Özel Şartlar
Müze Araştırmacıları	A, B, D, E	60. Güne Kadar Etkinliklerin Tamamlanmış Olması Gerekir
Reklam ve Baskı Ekibi	I	95. Güne Kadar Etkinliklerin Tamamlanmış Olması Gerekir
Teknik Ekip	J, L, M, O, R, T	40. Günden Önce İş Başlangıcı Yapamazlar

Yazılım Ekibi	S	110. Günden Önce İş Başlangıcı Yapamazlar
---------------	---	---

Tablo 5'te ekiplerin atanmış oldukları etkinlikte de belirli kısıtlar söz konusudur. Ekipler aynı anda başka illerde bulunan projelere de yönlendirildiği için ele alınan projede belirli zamanlarda bulunma koşulları vardır. Örneğin teknik ekip 40. güne kadar başka projelerde görevlendirildiği için 40. günden sonra mevcut projeye başlayıp iş bitimine kadar bu projede görevlidir. Reklam ve baskı ekibi ise etkinliklerin başladığı tarihten 95.güne kadar projede üstlendiği etkinlikleri tamamlamak zorundadır. Medya Ekibi, Grafik Tasarım Ekibi, Heykel ve Maket Ekibi içinse bu durum açısından öncülleri dışında herhangi bir kısıt veya koşul tanımlanmamaktadır.

3.2. Araştırmanın Amacı

Dünyada ve ülkemizde özellikle son 5 yıl içerisinde özel statüde bulunan müzelerin artması, yeni bir sektörün ortaya çıkmasına ve bu alanda nitelikli projelerin değer görmesine yol açmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde 2022 yılında toplam müze sayısı 555 (özel statüde müze sayısı 341) ve aynı yılda toplam ziyaretçi sayısı 45.822.525 olarak belirtilmiştir (TÜİK, 2022). Özellikle özel statüde bulunan müze sayısının toplam müze sayısı içerisinde önemli bir oranda olması bu sektörde çalışma yapacak araştırmacılar ve sektörde faaliyet gösteren nitelikli personellerin faydalanacağı kaynak ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Buna karşın literatürde az sayıda yerli ve yabancı kaynak bulunduğu gözlemlenmiştir. Araştırmada sektörde karşılaşılan gerçek hayat problemlerinden oluşan verilerle orijinal bir algoritma oluşturulmuştur. Ayrıca "NP Zor" nitelikte tanımlanacak çizelgeleme problemleri için meta sezgisel yöntemlerden biri olan gri kurt algoritması yöntemi ile "Python" yazılım programı tabanlı özgün bir model oluşturulmuştur. Bu yönü ile araştırma, yeni bir sektörde hem araştırmacıların hem de sektörde çalışan uzmanlara faydalanacakları yeni bir algoritma oluşturmayı hedeflemektedir. Ayrıca gri kurt algoritmasının araştırmaya ilişkin problemin yapısında olduğu gibi kombinatoriyal optimizasyon problemlerine de uyarlanabilir yapıda olduğunu göstermek araştırmanın bir diğer amacı olarak ortaya çıkmaktadır.

Müze tasarım sektöründe karşılaşılan problemlerin kendilerine has dinamikleri ve kısıtları bulunması sebebiyle hali hazırda proje çizelgeleme problemlerinde uygulanan Gantt Yöntemi, Kritik Yol Yöntemi vb. kendini ispatlamış yöntemlerin esnek ve dinamik problemler karşısında yetersiz kaldığı veya bu alandaki problemlerin optimumu arama uzaylarının geniş olması sebebiyle yeterli sayıda iterasyonun gerçekleştirilemediği düşünülmektedir. Yapılan çalışma ile geliştirilen algoritmanın hem gerçek bir yaşam problemine çözüm getireceği hem de sektörde karşılaşılan başkaca problemlere algoritmanın uygulanabilmesi amaçlanmıştır. Bu yönleriyle araştırmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3.3. Araştırmanın Yöntemi

Araştırmanın yöntemi, farklı tipte karmaşık problemlere çözüm önerileri getiren meta sezgisel yöntemlerden biri olan gri kurt optimizasyonu olarak belirlenmiştir. Yönteme ilişkin algoritma işleyişi problemin veri ve kısıtları ölçüsünde Python programlama dilinde kodlanarak çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca algoritmaya ilişkin sonucun kıyaslaması yapılabilmesi adına CPM yöntemi ile çözüm elde edilerek Gantt diyagramı yardımıyla bulgular bölümünde sunulmuştur. Çizelgeleme problemlerinde sıkça faydalanan CPM çözümüne başvurulmasının sebebi araştırma

verilerinin planlanan kesin sürelerin bilinmesi ve bu yöntemin çalışma verilerine uygun olmasından kaynaklıdır.

Bu kısımda GWO hakkında genel bilgilere değinilerek, yöntemin amacı ve çalışma sistemi hakkında bilgilere değinilmiştir.

3.3.1. Gri Kurt Optimizasyonu

Gri kurt optimizasyon algoritması, gri kurtların sosyal hiyerarşi liderliğinden ve avlanma davranışlarından esinlenerek optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla geliştirilmiştir. Sürü davranışlarının temel alan optimizasyon algoritmaları arasında sınıflandırılan GWO'nun diğer optimizasyon yöntemlerine kıyasla yerel optimumdan kaçınma konusunda üstün performans gösterdiği ve doğrusal olmayan, çok değişkenli ve çok modlu optimizasyon problemlerini çözmek için uygun bir stokastik yöntem olduğu belirtilmiştir. Mirjalili ve çalışma arkadaşları (2014) tarafından geliştirilen bu algoritma, gri kurtların avlanma davranışlarını ve sosyal hiyerarşik yapısını modellemektedir. Kurtların sosyal rollerinin ve bu rollerin avlanma üzerindeki etkilerinin matematiksel olarak modellenmesine dayanmaktadır. GWO, sosyal hiyerarşi, avı

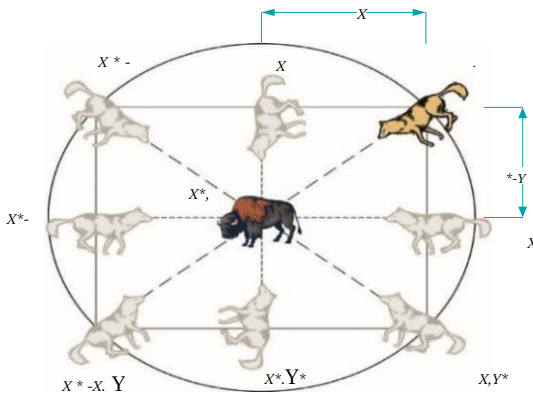
çevreleme, avlanma ve ava saldırma olmak üzere dört temel davranış modelini içermektedir. Mühendislik ve bilgisayar bilimleri gibi alanlarda çeşitli optimizasyon problemlerinin çözümünde etkili bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. (Mirjalili vd., 2014: 46, Kadalı vd., 2017: 2)

Popülasyondaki bireyler, alfa (α), beta (β), delta (δ) ve omega (ω) olarak adlandırılan dört rolden oluşmaktadır. Lider takım ise en güçlü üç bireyi kapsamaktadır. Bu hiyerarşi düzeninde alfa sürünün en etkin bireyi olarak uyku, avlanma, dinlenme gibi önemli kararların alınmasında belirleyici rol oynamaktadır. Lider takımındaki diğer iki birey olan beta ve delta, hiyerarşi olarak omega bireyinden daha üstün durumda bulunurlar ve yönetim konusunda alfa bireyine yardımcı olurlar. Algoritma temel itibariyle avın belirlenmesi, avın çevrenmesi ve avlanma aşamalarından oluşmaktadır. (Jadhav ve Gomathi, 2018: 1569-1572). Bu aşamalar ve aşamalarda bulunan iterasyon işlemleri aşağıda belirtilmiştir:

Avı çevreleme: Sürü halindeki gri kurtların avlanma stratejisinin önemli bir aşaması avı çevrelemektir. GWO algoritmasının modellenmesinde bu aşamaya özen gösterilerek ele alınmıştır.

Şekil 2

Bir Bireyin Avı Çevreleme Sonucu Vektörel Olası Konumları



Kaynak: Mirjalili vd., 2014

Şekil 2 hiyerarşi içerisinde bulunan bir bireyin avı çevrelerken güncellediği vektörel değerleri göstermektedir. Avı çevrelemenin matematiksel modeli ise Formül (1), Formül (2) ve Formül (3) olarak aşağıda belirtilmiştir:

 t iterasyon numarası,

$A^{\rightarrow}$ ve $C^{\rightarrow}$ sırasıyla elde edilen katsayı vektörleri,

$\vec{D}$ av ve kurt arasındaki vektör mesafesini,

p avın konumu,

$\mathcal{X}$ popülasyondaki herhangi bir bireyin mevcut konumunu ifade etmektedir.

$$X^{\rightarrow'} \quad (1)$$

$$(t + 1) = X^{\rightarrow}$$

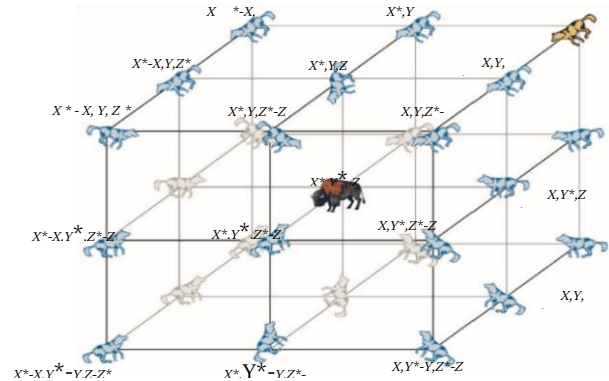
$$p(t) = A^T \cdot D^{\rightarrow}$$

$$D^{\vec{\gamma}} = |C^{\vec{\gamma}}.X^{\vec{\gamma}}|$$

$$p(t) = X(t)$$

$$X^{\rightarrow'} \quad (2)$$

$$(t + 1) = X^{\rightarrow}$$



$$p(t) = A^{\rightarrow} \cdot D^{\rightarrow\rightarrow}$$

$$D^{\rightarrow\rightarrow} = |C^{\rightarrow}.X^{\rightarrow}$$

$p(t) = X^{\rightarrow}(t)$

$$A^{\rightarrow} = 2.\alpha.r^{\rightarrow}1 - \alpha \quad (3)$$

$$C^{\rightarrow} = 2.r^{\rightarrow}2$$

α değeri iterasyona bağlı olarak - 2'den 0' a doğru doğrusal olarak düşen bir değişken (o değerine yakınsama gerçekleştiğinde elde edilen değer optimuma yakın bir değer olduğu varsayılmaktadır.), $r1$ ile $r2$

[0 - 1] aralığında rastgele üretilen sayılardır. Şekil 2’de görüldüğü üzere gri kurtların avı çevreleme ve pozisyon güncelleme noktasında çözüm uzayında rastgele bir konum belirlenmesi ve her çözümünden sonra iyileme yaparak ava olan vektörel uzaklıklarında pozisyon değişikliği belirtilmiştir.

Avlanma: Sürüye liderlik eden üç baskın birey (alfa, beta ve delta) bulunmaktadır. Bu üç lider birey uygunluk değeri bakımından en iyi değere sahiptir ve popülasyondaki bireylerin ilerlemesi bu lider takımın denetiminde olmaktadır. Popülasyondaki bireyler avlanma esnasında lider takımın konumlarını göz önüne alarak ava doğru ilerlemektedir.

$$D^{\leftrightarrow} \alpha = |C^{\leftrightarrow} 1. X^{\leftrightarrow} \alpha - X^{\leftrightarrow}|, D^{\leftrightarrow} \beta = |\vec{C} 2. \vec{X} \beta - X^{\leftrightarrow}|, D^{\leftrightarrow} \delta = |C^{\leftrightarrow} 3. X^{\leftrightarrow} \delta - X^{\leftrightarrow}| \quad (4)$$

$$\vec{X} 1 = \vec{X} \alpha - \vec{A} 1. \vec{D} \alpha,$$

$$\vec{X} 2 = \vec{X} \beta - \vec{A} 2. \vec{D} \beta,$$

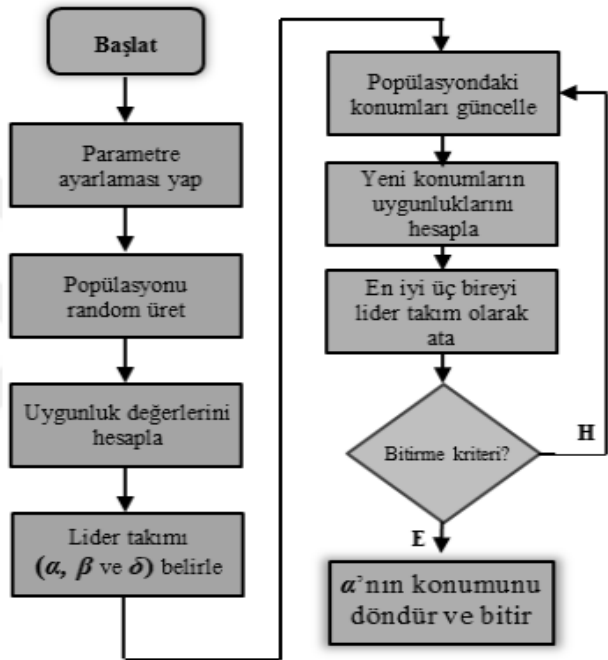
$$\vec{X} 3 = \vec{X} \delta - \vec{A} 3. \vec{D} \delta$$

$$\vec{X}(t+1) = X^{\leftrightarrow} 1 + X^{\leftrightarrow} 2 + X^{\leftrightarrow} 3$$

GWO'nun temel işleyişi, alfa, beta ve delta kurtları ile av arasındaki mesafe vektörlerinin Formül (4)'te belirtildiği şekilde hesaplanması ve bu vektörlerin kullanılarak yeni pozisyonların belirlenmesiyle avın konumuna doğru yakınsamadır. Bu süreç, belirli denklemler aracılığıyla matematiksel olarak modellenmiştir. Örneğin, alfa, beta ve delta kurtları ile av arasındaki mesafe vektörleri sırasıyla $D^{\leftrightarrow}$ olarak ifade edilirken, bu kurtların avın konumuna göre yeni pozisyonları $X^{\leftrightarrow}$ 1 vektörleriyle belirlenir ve sonrasında ortalama alınarak yeni konum vektörü $X^{\leftrightarrow}(t+1)$ hesaplanır. Bu yöntem, GWO'nun hızlı yakınsama özelliklerini ve uyumlanması gereken daha az kontrol parametresine sahip olmasını sağlamaktadır (Zhang ve Zhou, 2015: 2).

Şekil 3

Algoritmanın Akış Diyagramı



Kaynak: Karakoyun, 2021: 44

Popülasyon tabanlı algoritmaların birçoğunda olduğu gibi GWO algoritmasında da ilk popülasyon rastgele oluşturulmaktadır. Şekil 3'te belirtildiği üzere algoritmanın parametre düzenlemeleri yapıldıktan sonra arama uzayı sınırları çerçevesinde oluşturulan ilk popülasyon rastgele bir biçimde elde edilir. Oluşturulan popülasyondaki bireylerin uygunluk değeri hesaplanır. En iyi uygunluk değerine sahip olan üç değer alfa, beta ve delta olarak belirlenir. İlk popülasyon ve ilk lider takım bu sonuçla elde edilmektedir. Sonraki aşamada konum güncellemelerinin yapıldığı temel döngü başlatılır. Popülasyondaki tüm bireyler alfa, beta ve delta bireylerini öncü alarak konum güncellemesi yapar. Konum güncellemesinde lider takımın belirleyiciliği ile birlikte rassal olarak üretilmiş olan r1 ve r2 sayılarının ve iteratif biçimde doğrusal bir

düzende azalan α değerinin de etkisi mevcuttur. Popülasyonda bulunan bütün bireyler için konum güncellemesi ve uygunluk değerlerinin hesaplanması yapıldıktan sonra bulunan en iyi konum alfa, beta ve delta bireylerinin konumları olarak belirlenir. Ana döngüyü bitirecek olan şart gerçekleştiğinde ve tekrar eden sonuçlar elde edildiğinde alfa olarak belirlenen konum algoritmanın sonucu olarak verilir ve algoritma sonlandırılır. (Karakoyun, 2021:40-45)

Optimizasyona yönelik oluşturulan başlangıç kodu aşağıdaki gibidir:

Şekil 4

GWO Başlangıç Kodu

```

Başlangıç parametrelerini belirle

Başlangıç dağılımını rastgele oluştur

Çözümlerin uygunluk değerlerini hesapla

Dağılımdaki en iyi üç konumu alfa, beta ve delta olarak belirle

while !(bitirme kriteri)

  for i=1 to N //N popülasyondaki birey sayısını ifade eder

    i bireyin konumunu alfa, beta ve delta bireylerin konumuna göre uyumla

    Yeni konumun uygunluk değerini hesapla

  end // i=1 to N

  Bu süreçte kadar bulunan en iyi üç konumu lider takım olarak işaretle

end //Sonlandırma
  
```

Şekil 4'te verilen Gwo başlangıç koduna göre algoritmanın başlangıç adımında, çalışmayı yönlendiren tüm parametreler belirlenir. Bu parametreler arasında popülasyon boyutu (N), arama alanının sınırları, hedef fonksiyon ve algoritmanın sonlandırma kriterleri yer almaktadır. Popülasyon boyutu, çözümleri temsil eden bireylerin toplam sayısını ifade ederken, sonlandırma kriteri genellikle maksimum iterasyon sayısı veya bir hata tolerans seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Algoritmanın tanımında da yer alan bilgiler doğrultusunda İlk adımda çözümler, rastgele bir dağılım oluşturularak arama alanına yerleştirilmektedir. Ardından, her bireyin uygunluk değeri hedef fonksiyon aracılığıyla hesaplanır ve popülasyondaki en iyi üç çözüm, sırasıyla alfa, beta ve delta olarak işaretlenir. İteratif süreçte, her birey bu üç lider çözüme göre konumunu günceller ve yeni bir uygunluk değeri hesaplanır. Süreç, belirtilen sonlandırma kriteri sağlanana kadar devam eder ve her iterasyonda popülasyonun en iyi üç çözümü lider takım olarak güncellenir.

4. Bulgular

Araştırmaya yönelik bulgular, probleme yönelik veri ve kısıtların matematiksel ifadeler ve sembollere dönüştürülerek başlık 3.3.1. de ifade edilen algoritmanın çalışma işleyişine yönelik Python programlama dilinde kodlanması ile elde edilmiştir. Python, Guido Van Rossum tarafından 1991 yılında geliştirilen, açık kaynak kodlu, yüksek seviyeli ve nesne yönelimli bir programlama dilidir. Python'un basit sözdizimi, öğrenmeyi kolaylaştıran bir yapıya sahip olması nedeniyle kullanıcılarına çok çeşitli uygulama alanlarında esneklik sunmaktadır. Açık kaynak yapısı sayesinde kullanıcıların kendi modüllerini ve algoritmalarını geliştirmesine olanak tanımaktadır. Özellikle meta sezgisel algoritmaların farklı

problemlere özgü ihtiyaçlar doğrultusunda özelleştirilmesini kolaylaştırması açısından algoritmanın çözümlenmesi bu program yardımıyla yapılmıştır (Van Rossum & Drake, 2009: 1).

Bu Bölümde, algoritmanın çözümüne yönelik sonuçlar tablolar yardımıyla belirtilerek sonuçlara ilişkin bilgiler Gantt diyagramı yardımıyla görsel hale getirilmiştir. Bunun yanı sıra şematik gösterimlere de yer verilip açıklamaları sunulmuştur. Ayrıca Tablo 2’de verilen bilgiler doğrultusunda CPM yönteminin hesaplama adımları gerçekleştirilerek sonuçlar algoritmanın sonuçlarıyla kıyaslanabilmesi adına Gantt diyagramı yardımıyla sunulmuştur.

Tablo 6

Gwo Algoritma Sonucuna Göre Etkinliklerin Sıralanması ve Gerçekleşen İş Süreleri

Etkinlik	Başlama Önceliği	Süre(gün)	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı
A	-	30	0	30
C	A	5	32	37
D	C	7	37	44
E	C, D	4	44	48
B	A	15	35	50
H	E	10	48	58
I	B	30	60	90
K	B	40	50	90
J	B	50	53	103
O	N	28	108	136
N	I, K	50	90	140
G	B	16	139	155
F	E	21	136	157
L	K	17	147	164
P	O	45	136	181
M	J, L	7	184	191
T	S	7	196	203
R	P	10	195	205
S	M, N	17	196	213

Tablo 6’da GWO sonuçlarına göre etkinliklere ait sıralamalar incelendiğinde, proje öncülü bulunmayan ve ilk etkinlik olan A etkinliği ile başlamış ve 196.günde başlayıp 213.günde tamamlanan S etkinliği ile sonuçlanmıştır. Projenin tamamlanma süresi 213 gündür. Koyu renkte belirtilen G, F, N ve S etkinliklerinin sürelerinde esneklikler mevcuttur. G etkinliğinin tamamlanma süresi 15 günden 16 güne, F etkinliği 5 günden 21 güne, N etkinliği 22 günden 50 güne, S etkinliği 10 günden 17 güne esnetilmiştir. Bu etkinliklerde gerçekleşen süre uzamalarının veya öncül etkinlikler tamamlandıktan sonra boşluk sürelerinin gerçekleşmesinin nedeni Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’te belirtilen probleme özgü olan kısıtlar sebebiyledir. Tablo 4’te verilen süre uzamalarının yanı sıra farklı etkinlikleri üstlenen ekiplerin bir etkinliğe birden fazla ara verememesinden veya ekiplerin üstlenecekleri etkinliklerde katı işlemleri bekleme sürelerinden kaynaklıdır. Bunun yanı sıra yeniden sıralama yapılması sayesinde toplam sürede bir azalma gerçekleştiğinden algoritma esnetilebilir ölçüde olan etkinliklere toplam süreyi arttırmamak koşuluyla yeni iş süreleri atamıştır. Belirtilen etkinliklerin sürelerinde esneklik yapılması ve etkinliklere ara verilerek sürelerin uzaması göze alınarak 213 gün olarak

4.1. Gri Kurt Algoritmasına İlişkin Bulgular

Algoritmanın Python yazılım programında oluşturulan sonuçlarına göre; etkinlikler sırasıyla A, C, D, E, B, H, I, K, J, O, N, G, F, L, P, M, T, R, S işleri olarak sıralanmıştır. Problemin kısıtları ölçüsünde etkinliklerin gerçekleşen sürelerinde ve öncelik sıralamalarında esneklikler gerçekleşmiştir. Tablo 6’da etkinlik süreleri ve gerçekleşme zamanları belirtilmiştir.

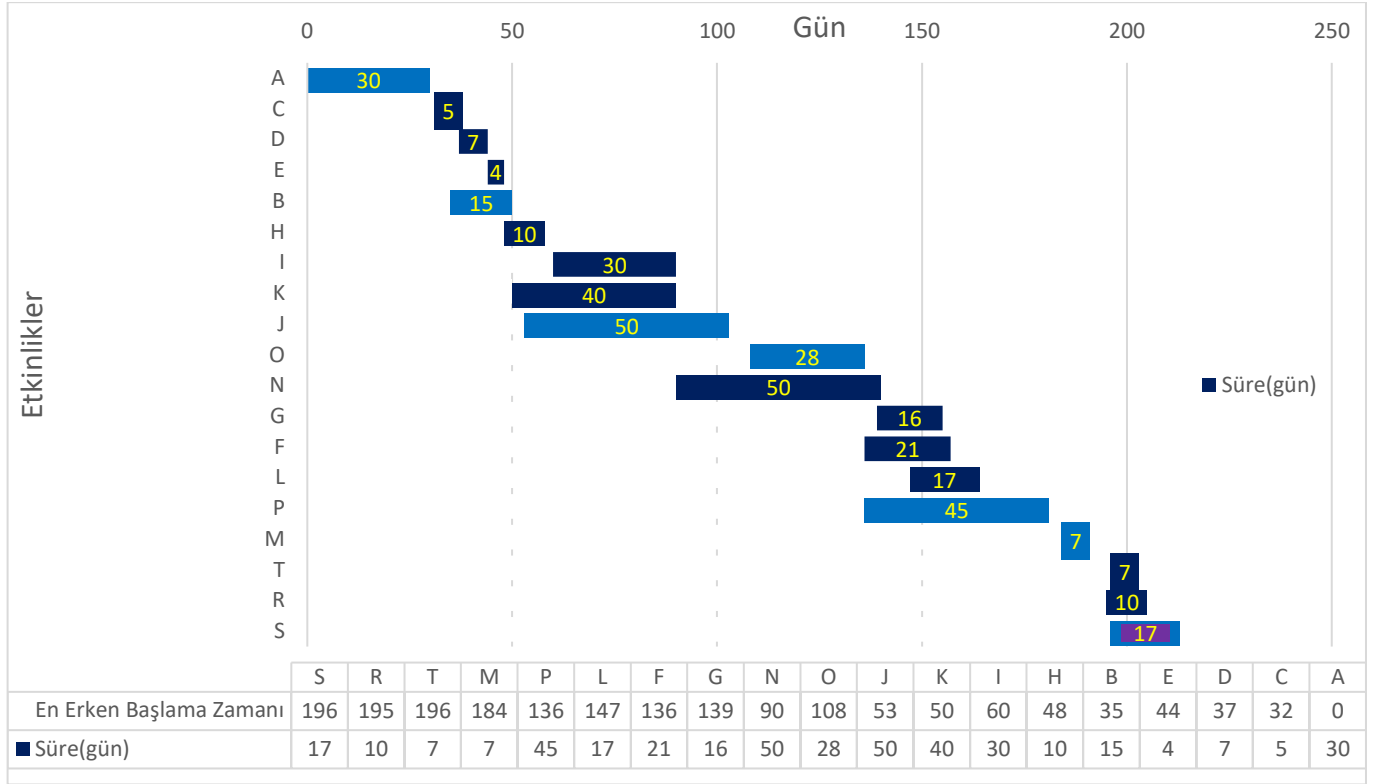
tamamlanan operasyon, 260 gün olarak belirtilen tamamlama süresine göre 47 gün(süre) olarak daha iyi bir performans vermiştir.

Algoritmaya yönelik çözümde, en uzun süren faaliyetler arasında J (50 gün), K (40 gün) ve P (45 gün) yer almaktadır. Özellikle bu üç faaliyet toplam proje tamamlanma süresinin %63,4’ünü kapsamaktadır. Bu faaliyetlerin sürelerinin başarılı bir şekilde optimize edilmesi, proje süresi üzerinde belirleyici bir rol üstlenmiştir. Bu bilgilerin yanı sıra, kısa süreli faaliyetler olan C (5 gün), E (4 gün) ve T (7 gün) etkinliklerinin kritik yol dışında yer almalarına rağmen, diğer faaliyetlerin zamanında tamamlanmasına dolaylı olarak katkıda bulunmuştur. Özellikle E etkinliğinin tamamlanma sürecinde çakışmaların yaşanmaması, H ve F faaliyetlerinin paralel bir şekilde yürütülmesine olanak sağlamıştır. Bu durum kaynak kullanımında %12’lik bir verimlilik artışı sağlamaktadır.

Ayrıca erken başlama ve bitiş zamanları arasında sağlanan denge, faaliyetlerin planlanan önceliklere uygun bir şekilde ilerlemesini temin etmiştir. Proje sürecinde 90. gün ile 140. gün arasında paralel olarak yürütülen I, K ve N etkinliklerinin ekiplerin faaliyetlerde bulunma kısıtlarında çakışma olmaksızın tamamlanması, kaynak kullanımında %20 oranında bir iyileşme sağlamıştır.

Şekil 5

Gwo Sonuçlarının Gantt Şeması Yardımıyla Gösterimi

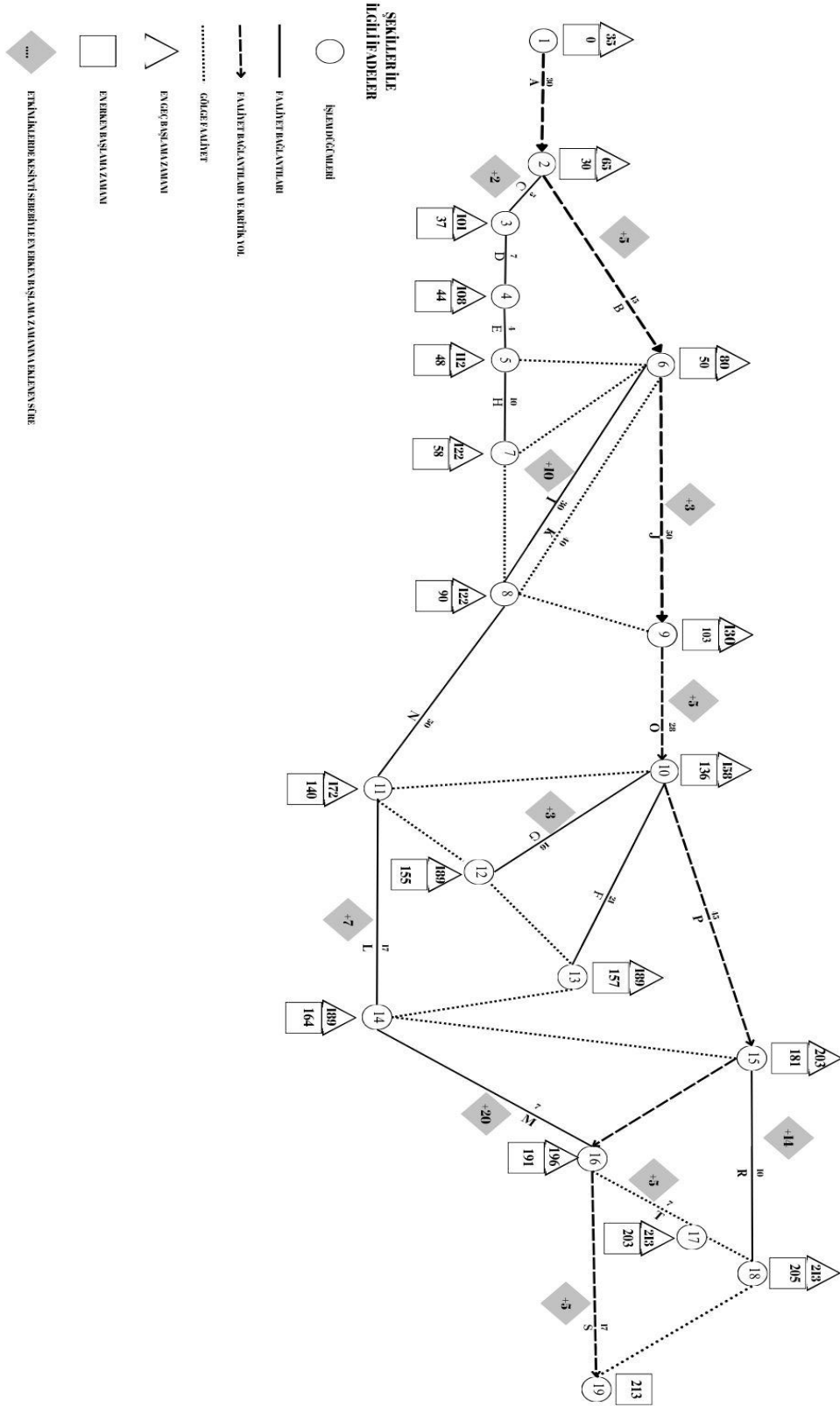


Algoritmanın gerçekleştirmiş olduğu çözüm sonuçları, proje sürecinin daha iyi anlaşılabilmesi adına Gantt diyagramı yardımıyla Şekil 5'te sunulmuştur. Gantt diyagramı, proje yönetiminde görevlerin zamanlamasını ve birbirleriyle olan ilişkilerini görselleştirmek amacıyla kullanılan bir araçtır. İlk olarak Henry L. Gantt tarafından 1910'larda geliştirilen bu yöntem, yatay bir zaman ekseninde her bir görevi bir çubukla temsil etmekte ve bu çubuklar, görevlerin başlangıç ve bitiş tarihlerini belirtmektedir (Gantt, 1919). Proje planlama, üretim süreçlerinin yönetimi, yazılım geliştirme ve inşaat projeleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Gantt diyagramı, görevlerin başlangıç ve bitiş sürelerini belirginleştirerek zaman yönetimine katkı sağlarken, aynı zamanda görevler arasındaki bağımlılıkları görselleştirir. Şekil 5'te yatay eksen günleri ifade ederken, dikey eksen etkinliklere ait olup etkinlikler tamamlanma sürelerinin önceliğine göre sıralanmıştır. En alt satır ve sütunda ise çözüm sonucunun erken başlama zamanı ve etkinliklerin tamamlanma süreleri verilmiştir. Gri kurt algoritmasının gantt diyagramı yardımıyla sunulduğu Şekil 5 incelendiğinde Tablo 4'te yer alan iş süreçlerinin esnekliğine yönelik olarak esnetilebilir etkinlikler ölçüsünde algoritma F, G, N, O, S ve T etkinliklerinde esneklik gerçekleştirerek bu etkinliklerin sürelerinin uzamasını göze alarak sıralamaları tekrar gerçekleştirmiş ve tamamlanma sürelerini minimize etmeyi başarmıştır. Şekil 5'te yatay sütunlar gerçekleştirilen etkinliklerin sürelerini göstermekte olup daha açık renkte olan sütunlar ise kritik yolu ifade etmek içindir. Gantt şemasında gösterilen operasyonel süreçlerin kritik yolu sırasıyla; A, B, J, O, P, M, S etkinlikleri olarak gerçekleşmiştir. Algoritma proje sürecinde etkinliklerin paralel ilerleme işlemini kısıtlar ölçüsünde olabildiğince sıkıştırmaya çalışmış ve ekiplerin boş sürelerini minimize etmiştir. Bu doğrultuda ilk etkinlik olan "Müze İçerik Araştırmalarının Yapılması"

(A) etkinliği ve "Mobilyaların İmalat Bilgileri ve Sergi Alanlarına Dağılımları" (M) etkinliği dışında tek etkinliğin yapıldığı bir süreç olmamıştır. Diğer süreçlerde işlemler olabildiğince paralel ilerlemektedir. Süreç içerisinde en yoğun işlem yüklenilen aralık C etkinliğinin başladığı 32.gün ve H etkinliğinin tamamlandığı 58.gündür. Bu 26 günlük süreçte; C, D, E, B ve H etkinliklerinin üstlenildiği tespit edilmiştir.

Şekil 6

Gwo Sonuçlarına Göre Etkinlik Akışlarının Şematik Gösterimi



Şekil 6'da algoritmanın elde ettiği çözüme göre ağ diyagramı yardımıyla şematik gösterim elde edilmiştir. Etkinliklerin öncülleri,

etkinliklerin gerçekleştirilme süreleri ve faaliyet bağlantıları sürekli oklarla gösterilmiş, ayrıca kritik yol ve yeni oluşturulan faaliyet

sıralamasında uzama süreleri hakkında bilgi verilmiştir. İlk etkinlik olan A işleminden başlayarak algoritma tarafından son etkinlik olarak belirlenen S işlemine kadar etkinliklerin süreleri ve öncelikleri bakımından sıralanmıştır. Algoritmanın çözümünde etkinliklerin ardıl olarak başlangıcında bazı bekleme ve hazırlık süreleri meydana gelmiş olup bu durumlar Şekil 6'da "Etkinliklerin Kesinti Sebebiyle Uzama Süreleri" olarak belirtilmiştir. Örneğin, B etkinliğinde 5 gün, C etkinliğinde 2 gün ve J etkinliğinde 3 gün olarak bu süreler gerçekleşmiştir. Uzama sürelerinden en çok etkilenen etkinlik 20 gün süre ile M etkinliği olup esnetilebilir etkinliklerden olmasına rağmen süre uzama durumuna uğramayan etkinlikler E ve N etkinlikleri olarak gerçekleşmiştir.

Oluşturulan kritik yol belirlenerek kesikli oklarla şema üzerinde belirtilmiştir. Ayrıca etkinliklere ait en erken başlama süreleri ve en geç başlama süreleri de faaliyetlerin başlangıç ve bitiş durumlarının gösterildiği işlem düğümlerinde yer almaktadır. Kritik yola ilişkin işlem düğümleri sırasıyla 1., 2., 6., 9., 10., 15., 16. Ve 19. işlem düğümü olarak görülmektedir. Bu işlem düğümlerinde rastlanılacak aksaklıklar projenin tamamlanma süresini doğrudan etkileyebilmektedir.

4.2. CPM Çözümüne ilişkin Bulgular

Probleme ilişkin Tablo 2'de sunulan veriler yardımıyla CPM yöntemine ilişkin etkinliklerin başlama ve bitiş süreleri hesaplanarak sonuçlar Gantt diyagramı yardımıyla Şekil 7'de sunulmuştur. Bu yönteme başvurulmasının sebebi hem problemin verilerinin yönetime uygun olması (Planlanan kesin süreler içermesi) hem de gerçekleştirilen projede firma yetkililerinin tamamlanma süresini 260 gün olarak belirlemesine karşın 213 gün gibi başarılı bir sonuç veren algoritma sonucunu genel kabul görmüş bir yöntemle kıyaslanmasının doğru olacağı düşüncesidir. Çünkü CPM yöntemi, faaliyetlerin belirlenen sürelerinin sabit ve hesaplanmış olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu sebeple problemde var olan verilerin bu yöntemin çalışma sistemindeki verilerle aynı doğrultuda olduğu ve probleme

uygulanmasında daha anlamlı sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir (Thierauf ve Klekamp, 1975: 441).

CPM'e göre "Erken Başlama Zamanı" ve "Erken Bitiş Zamanı" aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

Erken Başlama Zamanı (ES)

ES_i : Etkinlik i'nin en erken başlama zamanı,

EF : Etkinlik j'nin en erken bitiş zamanı,

Öncül İşlemler: i etkinliğinin bağlı olduğu işlemler.

$$ES_i = \max\{EF_j | J \in \text{Öncül işlemler}\} \quad (5)$$

Eğer bir etkinliğin öncül işlemi yoksa, $ES_i = 0$

Erken Bitiş Zamanı (EF)

En erken bitiş zamanı şu şekilde hesaplanır:

EF_i : Etkinlik i'nin en erken bitiş zamanı,

ES_i : Etkinlik i'nin en erken başlama zamanı,

$Süre_i$: Etkinlik i'nin gerçekleşme süresi.

$$EF_i = ES_i + Süre_i \quad (6)$$

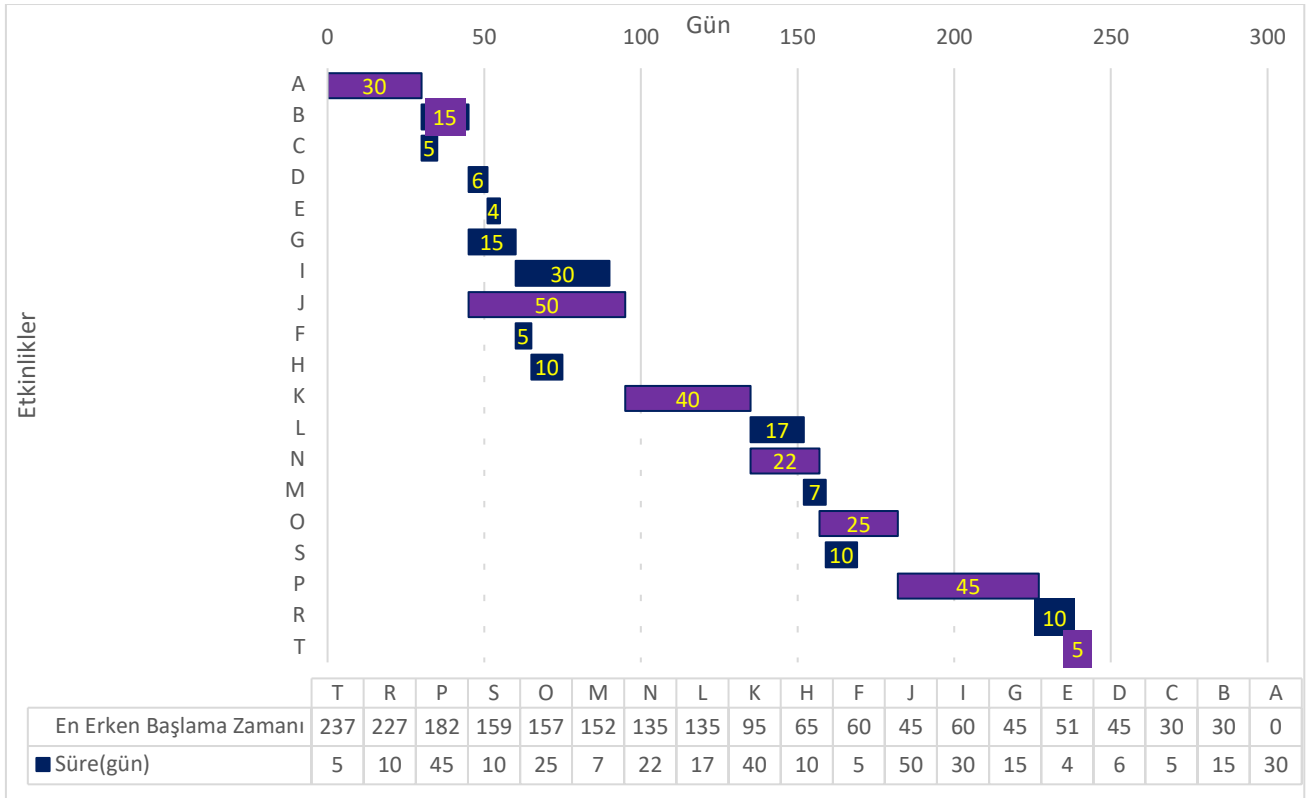
Tablo 6'da ES ve EF hesaplamalarının Formül 5 ve Formül 6 yardımıyla elde edilen sonuçları verilmiştir.

Tablo 7
CPM Sonuçları

Etkinlik	Süre(gün)	Erken Başlama Zamanı	Erken Bitiş Zamanı
A	30	0	30
B	15	30	45
C	5	30	35
D	6	45	51
E	4	51	55
G	15	45	60
I	30	60	90
J	50	45	95
F	5	60	65
H	10	65	75
K	40	95	135
L	17	135	152
N	22	135	157
M	7	152	159
O	25	157	182
S	10	159	169
P	45	182	227
R	10	227	237
T	5	237	242

Şekil 7

Cpm Çözümünün Gantt Şeması ile Gösterimi



Formül (5) ve Formül (6) yardımıyla yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 7'de bulunan gantt diyagramı oluşturulmuştur. Şekil 7'de görüldüğü üzere proje 30 gün süre tamamlanma süresi olan A etkinliği ile başlamış ve 237.gün başlayıp 5 gün süren T etkinliğinin tamamlanması ile 242 gün olarak gerçekleşmiştir. Kritik yol ise sırasıyla A, B, J, K, N, O, P, R, T etkinlikleri olarak belirlenmiştir. Şekil 5'te olduğu gibi Şekil 7'de de yatay sütunlar etkinlik sürelerini göstermekte olup, açık renkte olan sütunlar sürecin kritik yolunu belirtmektedir. Etkinlikler bitiş sürelerinin önceliğine göre dikey eksende sıralanmıştır.

Müze araştırmacılarının üstlendiği A etkinliği ile heykel ve maket ekibinin üstlendiği K etkinliğinin gerçekleştiği süreçlerde diğer ekipler herhangi bir etkinlik üstlenmemiştir. Bunun yanı sıra diğer etkinliklerde ekiplerin etkinlikleri paralel dönemlerde üstlendiği görülmektedir. Ayrıca probleme ilişkin Tablo 5'te yer alan ekiplerin etkinliğe başlangıç ve etkinliklere ilişkin bitiş kısıtlarının CPM çözümüne yansıtılmasına karşın, Tablo 3 ve Tablo 4'te yer alan kısıtlar çözüme dahil edilemeyip bütün öncüller katı işlemler olarak değerlendirilmiştir. Bunun sebebi, Tablo 4'te bulunan esnetilebilir etkinlikler ve koordineli çalışma durumunda hesaplamalardaki iterasyon sayısının artmasına ve her bir durum için ayrı hesaplama yapılmasına ihtiyaç olmasıdır. Bu durumda çözüm sayısının üstel olarak artmasını ve çözüm süresinin ulaşılabilir olmasını güçleştirmektedir. Bu durumda benzer problemler için meta sezgisel yöntemler ve diğer algoritmaların uygulama ihtiyacındaki önemini ortaya çıkarmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada proje yönetiminde karşılaşılan proje çizelgeleme problemlerinden bir örneğe çözüm getirilmeye çalışılmış ve farklı etkinliklere yönelik işlemlerin sürelerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada ele alınan problemin çözümüne yönelik

sonuçlar firma yetkilileri tarafından uygulanarak operasyonun gerçekleştirme süresinden tasarruf edilmiştir.

Benzer faaliyet gösteren işletmeler için taahhütlerin yerine getirilmesi, iş teslim sürelerinin ihale şartnamelerinde kesin olarak belirtilmesi, çizelgeleme ve planlamalarda yapılacak yanlışlıklar ve süre uzatımlarının ek maliyetler getirmesi yönüyle işletmelerin sürdürülebilirlikleri açısından belirli problemlere yol açabilmektedir. Ayrıca bir işletmenin sürdürülebilirliği açısından maliyetlerin ne kadar önemli olduğu bilinse de bulunulan sektörün dinamikleri iyi analiz edilmelidir. Bu bağlamda müze tasarım sektöründe faaliyet gösteren uzman işletmelerin azlığı ve proje maliyetlerin rakip firmalarla denk olması sebebiyle, firmaların hali hazırda üstlendikleri projelerde ekiplerin koordinasyonunu sağlaması veya yeni projelerde ekipleri değerlendirme olasılığı bakımından proje tamamlanma sürelerinin minimuma indirilmesi daha fazla önem arz etmektedir. Bilimsel yöntemlerin bu tarz gerçek hayat problemlerinde uygulanabilmesi ve kaynakların daha verimli kullanılabilmesi hedeflendiğinden araştırma; tamamlanma süresini firma tarafından belirlenen 260 günden 213 gün süreye indirmektedir. Ayrıca algoritmanın sonucunun kıyaslanabilmesi adına CPM ile çözüm yapılarak 242 gün sonucuna ulaşılmıştır. Bu yönüyle algoritma, CPM'e göre 29 gün(süre), araştırmanın başında hedeflenen bitirme süresine göre ise 47 gün(süre) daha iyi bir tamamlanma süresine ulaşmıştır. Araştırma hedef tamamlanma süresine kıyasla %18, Cpm yöntemine kıyasla ise %12 oranında tamamlanma süresini minimize etmeyi başarmıştır. CPM çözümü optimal çözümü elde etmiş olsa dahi algoritmaya yönelik süre farkı CPM'in problemin özelinde esnetilebilir etkinlikleri dikkate alma kabiliyetinde yetersiz kalması ve tüm etkinliklerin katı işlemler olarak değerlendirilip çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü esnetilebilir etkinlikleri dikkate almak CPM yönteminin hesaplanmasında çözüm uzayının genişlemesine ve iterasyon sayısının artarak kabul edilebilir zaman sınırları içerisinde çözümün ulaşılabilir hale gelmesine yol açmaktadır.

Esnetilebilir faaliyetlerde kısıtlara yönelik sınırlar ele alınarak algoritma kaynak kullanım etkinliği açısından daha dengeli bir dağılım sağladığı tespit edilmiştir. GWO problem özelinde kaynakların kullanım etkinliğini göz önünde bulundurarak bazı etkinliklerin gerçekleştirilmesinde projenin toplam süresinde uzama olmayacak şekilde düzenlemelerde bulunmuştur. Örneğin CPM'de F etkinliği yalnızca 5 günde tamamlanırken, GWO algoritmasında bu süre 21 gün olarak belirlenmiştir; bu fark, kaynak tahsisine yönelik daha stratejik bir planlama yapıldığını ortaya koymaktadır. Nitekim GWO gerçekleştirdiği bu düzenlemeler ile etkinlik bazlı süre uzatımında bulunmuş olsa dahi ekipler arası koordinasyonu artırarak, iş yükü dağılımını daha homojen hale getirmiş ve kaynak kullanımında CPM'e göre %15 oranında daha verimli kaynak kullanım oranı elde etmiştir.

Paralel faaliyetlerin yönetiminde, GWO CPM'e göre daha başarılı bir yaklaşım sergilemiştir. Kritik yol üzerindeki faaliyetlerin süreleri optimize edilerek, paralel faaliyetlerde çıkışma oranı minimize edilmiştir. Örneğin, CPM'de paralel faaliyetlerin etkili bir şekilde planlanamaması, toplam süreyi uzatan bir etken olmuştur. Buna karşın, GWO aynı anda yürütülen faaliyetleri uyumlu hale getirerek toplam süreyi kısaltmıştır. Bu durum, proje süresinin kritik yol analizi üzerinde yapılan optimizasyonlarla %8 oranında daha verimli hale getirildiğini ortaya koymaktadır (Bkz. Tablo 6, Tablo 7). Bu bağlamda GWO hem tamamlanma süresi hem de kaynak kullanım etkinliği açısından CPM yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Proje süresindeki azalmaların yanı sıra, kaynakların daha verimli bir şekilde tahsis edilmesiyle, ekiplerin iş yükü dengelenmiş ve projelerde meydana gelen gecikmeler önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu bulgular, GWO algoritmasının yüksek karmaşıklığa sahip projelerde uygulanabilir bir çözüm yöntemi olduğunu ve proje yönetimi süreçlerinde dikkate değer bir avantaj sunduğunu düşündürmektedir.

Ayrıca elde edilen sonuçlar ile sezgisel olarak sonuca varılması zor olan karmaşık problemlerde doğadan ilham alarak uyarlanmış meta sezgisel algoritmaların performanslarının daha iyi sonuca varabileceği kanaati Rasmussen ve Sorensen. (2000), Ruiz ve Stützle (2007) çalışmalarının sonuçlarını da destekler niteliktedir. Bunun yanı sıra meta sezgisel algoritmaların içerisinde yeni sayılabilecek bir algoritma olan gri kurt algoritmasının araştırma problemine uygulanması ile kombinatoriyal optimizasyon problemlerinde de uygulanabilir olduğu sonucu Jiang ve Zhang (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmayla paralel sonuçlar içermektedir.

Bu yönüyle farklı dinamik ve kısıtları olan bu tip problemlerde de başkaca araştırmacılar tarafından yöntemin uygulanması ile literatüre katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada araştırmacılar, müze tasarımı karşılaşılan "İç Mimari Tasarımı Ve Müze Sergi Alanlarının Oluşturulması" operasyonel işleminde karşılaşılan bir çizelgeleme problemini ele almış olup, başkaca araştırmacılar tarafından farklı operasyonel işlemlere yönelik araştırmalar test edilebilir. Ayrıca farklı operasyonel işlemlere yönelik kısıt veya kaynaklar değişebildiği gibi algoritmanın yapısı gereği problemlerin ihtiyaçlarına yönelik bu ihtiyaçların tanımlanabilir olduğu ve algoritmanın bu ihtiyaçları karşılayabilir nitelikte olduğu yapılan çalışma ile ortaya konmuştur.

Bunun yanı sıra literatürde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, birçok araştırmanın problem çözümünde hazır veri seti kullandığı gözlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada gerçek bir hayat problemi üzerinde çözüm elde edilmeye çalışıldığından problemin çözümünde tamamlanma süresinin minimize edilmesine yoğunlaşılmış ve çözüme yönelik gri kurt algoritmasının çözüm doğası problemin yapısına uygun gerçekleşmiştir. Farklı sektörlerde karşılaşılan problem, kısıt ve amaç fonksiyonlarının maliyet, kar ve kaynak tahsis gibi çözüm hedefleri olabilmektedir. Bu yönüyle algoritma stokastik problemlerin çözümlerinde de farklı

algoritmalarla bulanık biçimde kullanılabilir yapıdadır. Nitekim Huang vd. (2024), Zhou vd. (2024) gibi araştırmacıların farklı meta sezgisel algoritmalarla GWO'yu hibrit halde kullandıkları ve farklı dinamik problemlere çözüm aradıkları görülmektedir. Bu bağlamda yapılan araştırma problemin çözümünde tek bir algoritma tabanlı çözümü benimsemiş olsa dahi başkaca araştırmalar algoritmayı hibrit yapıda test edip uygulayabilir. Ayrıca araştırmada ele alınan sektörde etkinliklerin tamamlanmasında kaynak olarak ortaya çıkan ekipler, uzmanlık gerektiren işlemleri üstlenip disiplinler arası çalışmaları yapabilecek kabiliyette deneyin sahibi personellerdir. Müze tasarımı gibi sektörlerde ekiplerin iş gücünü artırmak üzere yeni personel alımı vs. gibi katkılarla ekiplerin kapasitesini ve personel sayısını artırmak zorlu olabilmektedir. Bu sebeple araştırma probleminde firma deneyimleri göz önünde bulundurularak faaliyet süreleri planlanan kesin süreler olarak gerçekleşmiştir. Farklı sektörlerde karşılaşılabilecek problemlerde algoritmanın test edileceği kaynaklarda personel artırımı, ek çalışma mesailerinin eklenmesi, makine ve teçhizatların çeşitlendirilmesi gibi durumlar faaliyet sürelerinde iyimser ve kötümser süreler veya faaliyetlerin tamamlanma sürelerinde sapmalar gibi durumlara öncelik vermeyi gerektirebilir. Bu durumlarda algoritmanın kıyaslanması verilerle uygun olarak CPM yöntemi yerine başkaca yöntemlerle kıyaslanması gerektirebilir. Bu sebeple de araştırma, bu husus veya kısıtların da dikkate alınabileceğini başka araştırmalara bir öneri olarak sunmaktadır.

Kaynakça

- Blum, C. and Roli, A. (2003). Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 35(3): 268-308.
- Brucker, P., Drexel, A., Möhring, R., Neumann, K. and Pesch, E. (1999). Resource-Constrained Project Scheduling: Notation, Classification, Models, and Methods. *European Journal of Operational Research*, 112(1): 3-41.
- Brucker, P. and Kampmeyer, T. (2005). Tabu Search Algorithms for Cyclic Machine Scheduling Problems. *Journal of Scheduling*, 8: 303-322.
- Burke, E. K. and Kendall, G. (2005). *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*. Springer.
- Chen, S., Zheng, J. and Zhang, W. (2025). A Cooperative Grey Wolf Optimizer For The Joint Flowshop Scheduling Problem With Sequence-Dependent Set-Up Time. *Engineering Optimization*, 57(3): 739-761.
- Çorumlu, V., Atalay, K. D. ve Dinler, E. (2024). Proje Çizelgelemede Bulanık Doğrusal Programlama İle Yeni Bir Yöntem Önerisi: Yazılım Projesinde Uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 8(1): 20-38.
- Demeulemeester, E. and Herroelen, W. (2002). *Project Scheduling: A Research Handbook*. Kluwer Academic Publishers.
- Ebesek, Ş. ve Yaman, H. (2019). Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminde Tekrarsız Kromozom Destekli Paralel Genetik Algoritma Uygulaması. *Journal of International Social Research*, 12(62).
- Falk, J. H. and Dierking, L. D. (2013). *The Museum Experience Revisited*. Walnut Creek, CA: Left Coast Press.
- Gantt, H. L. (1919). *Organizing for Work*. Harcourt, Brace and Howe.
- Glover, F. and Kochenberger, G. A. (2006). *Handbook of Metaheuristics, Resende, M.G.C., Ribeiro, C.C., Glover, F. and Marti, R. (Eds.), Scatter Search and Path-Relinking: Fundamentals, Advances, and Applications* (pp. 1-20). Springer.
- Hartmann, S. (2001). Project Scheduling with Multiple Modes: A Genetic Algorithm. *Annals of Operations Research*, 102: 111-135.
- Türkiye İstatistik Kurumu (2022) Erişim Adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kulturel-Miras-Istatistikleri-2022>, Erişim Tarihi (07.09.2024).
- Huang, X., Xie, M., An, D., Su, S. and Zhang, Z. (2024). Task Scheduling in Cloud Computing Based on Grey Wolf Optimization with A New Encoding Mechanism. *Parallel Computing*, 122: 103111.
- Jadhav, A. N. and Gomathi, N. (2018). WGC: Hybridization of Exponential Grey Wolf Optimizer with Whale Optimization for Data Clustering. *Alexandria Engineering Journal*, 57(3): 1569-1584.
- Jiang, T. and Zhang, C. (2018). Application of Grey Wolf Optimization for Solving Combinatorial Problems: Job Shop and Flexible Job Shop Scheduling Cases. *Ieee Access*, 6: 26231-26240.

- Kadalia, K., Shah, V. and Kadam, R. (2017). Comparative Study of Grey Wolf Optimization with Different Optimization Algorithms for Optimal Power Flow Solutions. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(2): 1383-1394.
- Karakoyun, M., (2021). Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Kurbağa Sıçrama ve Gri Kurt Optimizasyonu Algoritmaları Tabanlı Hibrit Bir Yöntemin Geliştirilmesi. Doktora Tezi. Konya: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). Wiley.
- Kolaylıoğlu, Ö. (2006). İnşaat Sektöründe Proje Yönetimi ve Proje Yöneticisi. Dokuz Eylül Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Kolisch, R. and Hartmann, S. (2006). Experimental Investigation of Heuristics for Resource-Constrained Project Scheduling: An Update. *European Journal of Operational Research*, 174(1): 23-37.
- Kurt, Ö. (2006). Proje Planlama Ve Programlama Teknikleri Ve İnşaat Sektörüne Ait Bir Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. and Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances In Engineering Software*, 69: 46-61.
- PMI (Project Management Institute). (2017). *A Guide to The Project Management Body of Knowledge*(6th ed.). Project Management Institute.
- Rasmussen, R. V. and Sørensen, K. (2000). The Use of Genetic Algorithms in Project Scheduling. *Computers & Operations Research*, 27(6): 527-541.
- Ruiz, R. and Stützle, T. (2007). A Simple and Effective Iterated Greedy Algorithm for The Permutation Flowshop Scheduling Problem. *European journal of operational research*, 177(3): 2033-2049.
- Thierauf, R. J. and Klekamp, R. C. (1975). *Decision Making Through Operations Research*. Wiley & Sons
- Tolouei, K. and Moosavi, E. (2020). Production Scheduling Problem and Solver Improvement Via Integration of The Grey Wolf Optimizer into The Augmented Lagrangian Relaxation Method. *SN Applied Sciences*, 2(12): 1963.
- Van Rossum, G. and Drake, F. L. (2009). *Introduction to PYTHON 2.6*. CreateSpace.
- Vanhoucke, M. (2012). *Project Management with Dynamic Scheduling: Baseline Scheduling, Risk Analysis and Project Control*. Springer.
- Yilmaz, M., Dede, T. and Grzywiński, M. (2023). Investigating Multi-Objective Time, Cost, and Risk Problems Using The Grey Wolf Optimization Algorithm. *Construction of Optimized Energy Potential Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 12(1): 79-86.
- Zhang, S. and Zhou, Y. (2015). Grey Wolf Optimizer Based on Powell Local Optimization Method for Clustering Analysis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015(1): 481360.
- Zhou, K., Tan, C., Zhao, Y., Yu, J., Zhang, Z. and Wu, Y. (2024). Research On Solving Flexible Job Shop Scheduling Problem Based On Improved GWO Algorithm SS-GWO. *Neural Processing Letters*, 56(1): 26.