



## Tarihi eser restorasyonu planlaması için bir optimizasyon yaklaşımı An optimization approach for historical building restoration planning

Halenur ŞAHİN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
halenursahin@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 12.12.2022  
Kabul Tarihi/Accepted: 31.08.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 03.07.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.98440  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu çalışmada tarihi binalarda yapılması öngörülen restorasyon işlerini planlayacak bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Literatürde tarihi eser ve kültürel mirasların restorasyon işlerinin modellenmesine yönelik çok az sayıda çalışma bulunmakta olup, bu çalışmaların çoğu yapılacak işleri önceliklendirmeyi amaçlayan çok kriterli karar verme modellerine dayanmaktadır. Tarihi eser restorasyonu pahalı ve uzun süren bir süreçtir. Restorasyonu devam eden eserlerin ziyarete kapalı olacağı varsayımı altında eserlerin kültürel, sosyal ve ekonomik önemi göz önünde bulundurulduğunda, restorasyon işlerinin optimize edilmesinin önemi anlaşılmaktadır. Ancak, yöneyem araştırması literatüründe bu problemi bahsedilen kapsamda ele alan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bir binadaki kusurları düzeltmek için gereken minimum eylemler dizisinin "iş" olarak adlandırıldığı durumda, bir binada farklı kusurlardan ötürü birden fazla "iş" olabileceği varsayımı yapılabilir. Eserlerin restorasyonu için ayrılan sınırlı bütçeye göre restorasyon işlerinin iş paketlerine atanması ve çizelgelenmesi gerekmektedir. Bütçe kısıtlı olduğundan, belirli bir dönem için ayrılan bütçenin tamamı yalnızca bir iş paketi için ayrılmaktadır. Yani iş paketleri paralel olarak yürütülemez, bir iş paketi tamamlanmadan yeni iş paketi başlayamaz. Benzer türdeki işlerin aynı ekipler tarafından yapılabileceği düşünülebilir. Birbirine yakın mesafelerde bulunan farklı tarihi eserler için benzer işlerin, aynı ekipler tarafından yapılmasının sağlayacağı ekonomik avantajlar bulunmaktadır. Bir eserdeki restorasyon işlerinin tümü tamamlanmadan binanın kullanıma/ziyarete kapalı kalacağı varsayımı altında, binaların restorasyon işlerinin mümkün olduğunca erken bitirilmesi hedeflenebilir. Bu kapsamda, geliştirilen matematiksel model ile işlerin benzerlik ve coğrafi yakınlıkları dikkate alınarak iş paketlerine atanması ve böylece kısıtlı bütçe koşullarında optimal atama ve çizelgeleme yapılması amaçlanmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Restorasyon, Optimizasyon, Atama, Çizelgeleme.

### Abstract

In this study, an optimization model has been developed to plan the restoration works envisaged to be done in historical buildings. There are very few studies in the literature on modeling the restoration works of historical monuments and cultural heritages, and most of these studies are based on multi-criteria decision-making models that aim to prioritize the works to be done. Restoration of historical monuments is an expensive and long process. Considering the cultural, social and economic importance of the buildings under the assumption that the works under restoration will be closed to visitors, the importance of optimizing the restoration works is understood. However, no study has been found in the operations research literature that deals with this problem in the scope mentioned. Where the minimum set of actions required to correct defects in a building is termed a 'work', it can be assumed that there may be more than one 'work' due to different defects in a building. Restoration works need to be assigned to work packages and scheduled according to the limited budget allocated for the restoration of the works. Since the budget is limited, the entire budget allocated for a certain period is reserved for only one work package. That is, work packages cannot be executed in parallel, a new work package cannot be started before a work package is completed. It is conceivable that similar types of work could be done by the same teams. There are economic advantages for similar works to be done by the same teams for different historical buildings located at close distances to each other. Under the assumption that the building will remain closed to use/visit before all the restoration works on a work are completed, it can be aimed to complete the restoration works of the buildings as early as possible. In this context, with the developed mathematical model, it is aimed to assign the works to the work packages by taking into account their similarity and geographical proximity, thus making optimal assignment and scheduling under limited budget conditions.

**Keywords:** Restoration, Optimization, Assignment, Scheduling.

## 1 Giriş

İnşa edilmiş miras' tarihi, estetik, arkeolojik, bilimsel, etnolojik veya antropolojik değeri olan anıtlar, yapı grupları ve sit alanları anlamına gelir. Kültürel mirasa verilen önem ve potansiyel faydaları nedeniyle tarihi yapıların korunması dünya çapında giderek daha önemli hale gelmektedir [1]. Karar vericiler veya uygulayıcılar genellikle sınırlı bütçe dahilinde hangi mirasın restore edilmesine öncelik verileceği konusunda kararlar almakla karşılaşır. Ancak, belki de sistemli karar verme araçlarının eksikliğinden dolayı, çeşitli tarihi miraslar için uygun restorasyon önceliklerini belirleyecek çok az araç mevcuttur [2]. Bu sebeple bu kararlar öznel olarak alınmaktadır. Binaların restorasyonlarının ne zaman yapılması

gerektiği ile ilgili kararların öznel olarak alınmasından ötürü, bu süreçlerde ortaya çıkabilecek konjonktür baskılarından kaçınmayı sağlayacak karar destek araçlarına ihtiyaç duyulduğu birçok çalışmada vurgulanmaktadır. Kamu tarafından yürütülecek projelerde, kamu fonlarının tahsisinin hassas bir siyasi mesele olması da bu süreçlere nesnellik, şeffaflık ve tutarlılık getirilmesi açısından önem teşkil etmektedir [3]. Türkiye için yapılmış bir çalışmada da Türkiye'deki tescilli eser restorasyonunun ne zaman, neye göre ve nasıl yapılması gerektiğine sağlıklı cevap veren bir çalışmaya ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır [4].

Tarihi eserlerin restorasyon süreçlerine yatırımcı veya bina sakini/lehtar, mimarlar ve şehir plançıları, başta inşaat ve jeomekanik olmak üzere çeşitli uzmanlık alanlarından inşaat

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

mühendisleri, haritacılar, jeologlar, konservatörler ve restoratörler, arkeologlar ve sanat tarihçileri gibi farklı alanlardan birçok kişi dahil olmaktadır [5]. Tarihi eserler tarihsel, estetik, sanatsal, sosyal, teknik ve teknolojik, özgünlük, enderlik, teklik, kültürel-sembolik, ekonomik, geleneksel, çevresel olarak çok boyutlu öneme sahiptir [6],[7]. Tarihi eser restorasyonu ise pahalı ve uzun süren bir süreçtir. Restorasyonu devam eden eserlerin ziyarete kapalı olacağı varsayımı altında eserlerin kültürel, sosyal ve ekonomik önemi göz önünde bulundurulduğunda, restorasyon işlerinin optimize edilmesinin önemi anlaşılmaktadır. Ancak, yöneylem araştırması literatüründe bu problemi bahsedilen kapsamda ele alan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bir binadaki kusurları düzeltmek için gereken minimum eylemler dizisinin "iş" olarak adlandırıldığı durumda, bir binada farklı kusurlardan ötürü birden fazla "iş" olabileceği varsayımı yapılabilir. İşlerin farklı tipleri olabilir. Eserlerin restorasyonu için ayrılan sınırlı bütçeye göre restorasyon işlerinin iş paketlerine atanması ve çizelgelenmesi gerekmektedir. Bütçe kısıtlı olduğundan, belirli bir dönem için ayrılan bütçenin tamamı yalnızca bir iş paketi için ayrılmaktadır. Yani iş paketleri paralel olarak yürütülemez, bir iş paketi tamamlanmadan yeni iş paketi başlayamaz. Ancak öncüllük ilişkisi olmayan işlerin paralel yürütülmesinin önünde herhangi bir engel bulunmamaktadır. Benzer türdeki işlerin aynı ekipler tarafından yapılabileceği düşünülebilir. Birbirine yakın mesafelerde bulunan farklı tarihi eserler için de benzer işlerin, aynı ekipler tarafından yapılmasının sağlayacağı ekonomik avantajlar bulunmaktadır. Bir eserdeki restorasyon işlerinin tümü tamamlanmadan binanın kullanıma/ziyarete kapalı kalacağı varsayımı altında, binaların restorasyon işlerinin mümkün olduğunca erken bitirilmesi hedeflenebilir. Bu kapsamda, geliştirilen matematiksel model ile işlerin benzerlik ve coğrafi yakınlıkları dikkate alınarak iş paketlerine atanması ve böylece kısıtlı bütçe koşullarında optimal atama ve çizelgeleme yapılması amaçlanmaktadır.

## 2 Literatür taraması

Literatürde tarihi eser ve kültürel mirasların restorasyon işlerinin modellenmesine yönelik çok az sayıda çalışma bulunmakta olup, bu çalışmaların çoğu binaların yapısal özelliklerini inceleyen ve buna göre yapılacak işleri önceliklendirmeyi amaçlayan çok kriterli karar verme (ÇKKV) modellerine dayanmaktadır.

Morkunaite ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada kültürel miras ve bu binaların restorasyonları konusunun inşaat mühendisliği, inşaat yapı teknolojisi, çok disiplinli malzeme bilimi, mimari, bilgisayar bilimi disiplinleri arası uygulamalar ve bilgisayar bilimi teorisi yöntemleri kategorilerinde geniş bir şekilde analiz edildiği belirtilmiştir. Aynı çalışmada, kültürel miras konusunda en çok kullanılan ÇKKV yöntemleri: AHP, Fuzzy AHP, ANP, Fuzzy Delphi, Delphi, ELECTRE, TOPSIS, PROMETHEE yöntemleri olarak listelenmiştir [8].

Bana e Costa ve Oliveira, bir belediye konut stokunun yönetiminde bakım, onarım ve yenileme için önceliklerin belirlenmesi için çok kriterli bir sıralama modeli önermişlerdir. Çalışmalarında, yapılacak temel işleri potansiyel bina işi (PJ) olarak adlandırmışlar ve PJ'leri "paketlerde" toplamak için bir atama modeli tasarlamışlardır. PJ'yi bir konut veya binada tespit edilen ve kusurları düzeltmek için yapılması gereken asgari eylemler dizisi olarak tanımlamışlardır. Buna göre, bir binadaki tüm kusurların, bir veya daha fazla PJ üretebileceği

varsayımı yapılmıştır. Maliyet azaltma, eylem tutarlılığı, kentsel çevre etki sinerjileri gibi faktörler işlerin tek bir sözleşme altında ortak yürütülmesini destekleyen bazı argümanlar olarak sunulmuş ve paketlere atamaları bu argümanlar göz önünde tutularak yapılmıştır [3].

Bir başka çalışmada optimal bütçe tahsisi ve ilgili sözleşme yöntemlerinin belirlenmesinde karar vericilere destek olmak için genetik algoritmaya (GA) dayalı yeni bir sözleşme yöntemi sunulmaktadır. Bu çalışmada tarihi binalar için geleneksel restorasyon bütçesi tahsis yöntemlerinin yalnızca tek bir binayı bir sözleşme birimi olarak kabul ettiğinden bahsedilmiş ve bunun da verimsiz bütçe ödeneklerine, restorasyon öncelikleri hakkında yanlış yargılara ve hatta bazı siyasi veya sosyal tartışmalara neden olabileceği vurgulanmıştır. Bunun yerine karar vericinin bütçenin çoğunu daha değerli veya acil sorunları olan birkaç binaya yatırabileceği ya da her binaya eşit miktarda bütçe ayırabileceği alternatif tahsis yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bazı restorasyon faaliyetlerinin aynı sözleşmelerde toplanmasının avantajlarının olabileceğinin üzerinde de durulmuştur. Bu kapsamda, her bir restorasyon işi (RW) olarak adlandırılmış ve RW, bozulmanın önlenmesi, kumaşın sağlamlştırılması ve iç mekan çevre kalitesinin iyileştirilmesi vb. ile ilgili beceriler gibi tarihi bir bina için kusurları düzeltmeye yönelik restorasyon teknolojisi veya faaliyetinin temel birimi olarak tanımlanmıştır. Restorasyon işleri TOPSIS yöntemi kullanılarak dört acillik seviyesine göre sınıflandırılmış, ardından bu işlerin kontratlara ataması yapılmıştır. Atama sürecinde işlerin aciliyeti ve bir arada yapılmalarının sağlayacağı sinerjik etki ve avantajları hesaba katılmıştır. Sinerjik etki skorlarının hesaplanmasında işlerin benzerliği ve coğrafi yakınlığı göz önünde bulundurulmuştur [9].

1986 yılında yayınlanan bir çalışmada, Paris'teki hangi metro istasyonlarının renove edileceğine karar vermek amacıyla bir programlama modeli önerilmiştir. Bu çalışmada, her istasyon yedi kriter bazında değerlendirilmiş ve ELECTRE III yöntemi kullanılarak sıralanmıştır [10].

Tupenaite ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada yapı ve insan ortamının yenilenmesi amacıyla alternatiflerin çoklu kriter değerlendirmesi için bir model önerilmiş, kriterlerin ağırlıkları AHP kullanılarak elde edilmiş ve SAW, TOPSIS, COPRAS gibi bilinen çok kriterli değerlendirme yöntemleri ve ARAS adı verilen yeni bir yöntem kullanılmıştır [11].

Kore Kültürel Miras İdaresi'ne kayıtlı 14 adet tarihi eser için yapılmış bir çalışmada, restorasyonun aciliyetini değerlendirmek, sınıflandırmaları işlevsel benzerliklere dayalı olarak oluşturmak, uzmanların yargılarından elde edilen kriterleri ağırlıklandırmak, önceliklerin açık bir sıralamasını hesaplamak ve restore edilecek mirasları sıralamak için bir model oluşturulmuştur. Binaların tarihsel sembolizmi, benzersizlikleri ve karakteristik özellikleri açısından önemli olabilecek 24 kriter baz alınmış ve Delphi tekniği ile stokastik analitik hiyerarşi süreci birlikte kullanılarak bir karar destek modeli sunulmuştur [2].

Delphi yönteminin AHP ve ARAS-G yöntemleri ile beraber kullanıldığı bir başka çalışma ise Vilnius'ta bulunan tarihi eser yenileme projeleri ile ilgilidir. Bu çalışmada restorasyon sürecinde önemli olabilecek faktörler belirlenmiş ve en önemlileri Delphi yöntemi ile seçilmiş, kriterlerin ağırlıklarının tahmini için ise AHP tabanlı bir yöntem kullanılmıştır [1].

Tanımladığımız probleme teknik açıdan benzerlik göstermesi açısından Kaynak Kısıtlamaları Altında Proje Çizelgeleme Problemi ve birden çok projenin çizelgelendiği, Kaynak Kısıtlamaları Altında Çoklu Proje Çizelgeleme problemi de literatür taraması bölümünde ele alınmıştır.

Proje süresinin her bir döneminde sabit miktarda kaynak mevcut olduğunda ve mevcut miktarlar eşzamanlı faaliyetlerin taleplerini karşılamak için yeterli olmadığında proje süresindeki artışı ve maliyetleri en küçükleyecek şekilde sıralama kararları gerekir [12]. Faaliyetler kıt kaynaklar için rekabet etmeleri ve aralarındaki öncelik gereksinimleri sebebiyle birbirlerine bağlıdır. Kaynak Kısıtlamaları Altında Proje Çizelgeleme problemi tanımlanırken, faaliyetler arasında öncüllük ilişkilerinin olabileceği, başlayan bir aktivitenin bölünemeyeceği gibi varsayımlar yapılmıştır [13]. Tek projeli varyantına kıyasla, Kaynak Kısıtlamaları Altında Çoklu Proje Çizelgeleme problemini ele alan daha az sayıda çalışma olduğuna dikkat çekilmiştir [14]. Problemin amacı genel olarak kısıtlı kaynakların projelere tahsis edilmesi ve faaliyetlerin başlangıç ve tamamlanma sürelerinin belirlenmesi olarak tanımlanmıştır [15]. Tüm projenin tamamlanma süresinin en küçüklenmesi, toplam ağırlıklı proje gecikmesinin en küçüklenmesi, gecikmeyen bir program için gereken kaynak miktarının en küçüklenmesi ve maksimum gecikmenin en küçüklenmesi gibi alternatif amaç fonksiyonları üzerinde durulmuştur [16]. Ortalama gecikme yüzdesi ve portföy gecikmesi de literatürde yaygın olarak kullanılan iki amaç fonksiyonu olarak bahsedilmiştir [14].

Eynde ve Vanhoucke tarafından yapılan bir çalışmada, kaynak kısıtlamaları ihlal edilmediği sürece projelerin paralel olarak yürütülebileceğine işaret edilmiştir [17]. Proje faaliyetlerini yürütmek için kullanılması gereken çok çeşitli kaynaklar olabileceği vurgulanmış ve işçi, araç ve para gibi örnekler verilmiştir [18]. Kaynaklar ayrıca yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki sınıfta incelenmiştir. Yenilenebilir kaynaklar, zaman birimi başına sabit bir kapasiteye sahip kaynaklar olarak tanımlanırken, yenilenemez kaynaklar tüm proje süresi boyunca sabit bir kapasiteye sahip kaynaklar olarak tanımlanmıştır [19]. Bir başka çalışmada da yenilenebilir kaynaklardan, para ya da ofis malzemeleri gibi, kullanılmadıklarında sonraki dönemlere aktarılabilen kaynaklar olarak bahsedilmiştir [20].

Kaynak Kısıtlamaları Altında Çoklu Proje Çizelgeleme probleminin ele alındığı bir başka çalışmada, problemin işlem süresi bilinen bir dizi etkinliktен oluşan birden çok projeden oluştuğu, projeler arasındaki öncüllük kısıtlarından ötürü bir projeye başlandığında o bitmeden yenisine geçilemeyeceği, birden çok kaynak çeşidi olabileceği, kaynakların sınırlı miktarlarda olduğu ancak dönemden döneme yenilenebileceği ve faaliyetlerin kesintiye uğratılmayacağı ifade edilmiştir [21].

Tamamen Belirsiz Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme olarak adlandırılan bir başka problemde ise, proje yöneticilerinin, aktiviterin sürelerinin ve kaynak gereksinimlerinin, kaynakların kapasitelerinin ve aktivite bitiş zamanlarının kesin olarak bilinemediği, çok sayıda belirsizliğin olduğu bir problem ele alınmış ve problemin çözümü için aralık programlama tabanlı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada proje yöneticilerinin riske karşı tutumları da hesaba katılmaktadır [22].

Kaynak paylaşımlı gerçek hayat proje çizelgeleme problemlerinin karmaşık olduğu, mevcut literatürde etkin bir

çözüm bulunmadığı [16] ve bu problemin NP-Zor bir problem olarak sınıflandırılabilceği ifade edilmiştir [13]. Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme Problemi'nin üretim hattı dengeleme ve "job-shop" çizelgeleme problemleri ile benzerlikler taşıdığı da literatürde bahsedilen konular arasındadır [12].

Problemin uygulama alanları olarak kablo demeti üretimi, bilgi teknolojisi hizmet sağlayıcılarında müşteri hizmetleri talepleri, deniz limanlarında gemi geliş ve gidişleri, masa tenisi liglerinin programlanması, hastanelerde hasta randevularının programlanması, hastanelerde hasta tedavi planlaması sorunu, bir değerlendirme merkezinde aktiviterin planlanması [13], yazılım projelerinin ve inşaat projelerinin üst düzey operasyonlarının ayrıntılı programlanması [19] sayılmıştır. Bir başka çalışmada, literatürde proje olarak tanımlanan işin bir binanın yapımı olarak ele alınabileceğinden bahsedilmiştir [18].

Çalışmamızda ele aldığımız problemle benzerlikleri olan bir başka konu da proje portföy seçimi problemleridir. Portföy seçimi, değerlendirme, seçim, çizelgeleme ve kaynak tahsisini de içeren farklı karar problemlerini bünyesinde barındırır [20]. Her üç karar problemini de barındıran problem, bir dizi projenin ve seçilen projeleri yürütmek için de bir dizi kaynağın olduğu bir durumu ele almaktadır. Model, birden çok zaman diliminden oluşan bir planlama ufku sahiptir ve her projenin belirli bir süresi vardır. Her projenin kaynak kullanımı ve her bir zaman dilimindeki mevcut kaynak miktarı önceden belirlenir. Her bir zaman diliminde seçilen her proje belirli bir fayda sağlar. Amaç, hem seçilen projelerin toplam beklenen faydasını maksimize edecek hem de birbirini takip eden iki zaman periyodunun her bir çifti arasında tahsis edilen kaynağın mutlak varyasyonunun toplamını minimize edecek bir proje alt kümesi seçmektir. Bir proje seçilirse kesintisiz devam etmeli ve bitirilmelidir [23].

Karmaşık bir problem olması nedeniyle, sinerji, proje portföyü seçim probleminde pek modellenmemiş bir konu iken, son yıllarda, Proje Portföy Seçimi ve Çizelgeleme problemi için önerilen formülasyonlarda ilgili bir özellik haline gelmiştir [20]. Projeler arasındaki sinerji, belirli bir kaynağın veya teknolojinin projeler arasında paylaşılması gibi projeler arasındaki etkileşimden kaynaklanabilir. Sinerji olumlu ve olumsuz olarak iki kategoriye ayrılabilir, buna göre olumlu sinerji projenin beklenen sonucunu artırırken, olumsuz sinerji projenin beklenen sonucunu azaltır [24]. Mevcut araştırmalardaki projelerin sinerjisi, fayda sinerjisi, kaynak sinerjisi ve teknoloji sinerjisi olarak sınıflandırılabilir [24].

Proje portföyü seçimi problemlerinden biri, birçok projenin etkileşimi olduğunu ve bazı projelerin aynı portföye atanmasının sinerjik bir etki oluşturduğunu varsaymaktadır. Bu çalışmada, sinerjinin proje faaliyetleri arasında değil, projeler arasında olabileceği ifade edilmiştir [24].

Bir başka çalışmada genel olarak, literatürde, proje seçimi yapıldığında ve çizelgeleme modellendiğinde, proje düzeyinde öncelik kuralları ve başlangıç kurallarının korunduğunun ancak projelerin faaliyetler aracılığıyla temsilinin yaygın olmadığı altı çizilmiştir [20].

Sinerjinin projeler bazında ele alındığı bir başka çalışma da proje portföy çalışması ve çizelgeleme problemini ele almış ve mevcut çalışmaların çoğunun yalnızca proje portföylerinin seçimine veya çizelgenmesine odaklandığının, ancak proje

portföylerinin seçimini ve çizelgelemesini aynı anda hesaba katmanın daha anlamlı olduğunu ifade etmiştir [25].

Proje Portföy Seçimi ve Çizelgeleme probleminin ele alındığı bir çalışmada karma bir tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Bahsi geçen problem proje tekliflerinin bir alt kümesini seçmek ve belirli önceliğe uygun olarak seçilen projelere gerekli kaynakları atayarak bir yürütme planı uygulamak olarak tanımlanmıştır [20].

Son on yılda proje portföy seçimi ve proje portföy seçimi ve çizelgeleme problemlerine artan bir ilgi olmasına rağmen, ilgili yayınların hala sayıca az olduğu belirtilmiştir [20].

Li ve diğ. tarafından proje portföy seçimi probleminin, proje bölünebilirliği ve karşılıklı bağımlılık faktörlerini içeren bir versiyonu için bir model geliştirilmiştir. Projenin başladığında bölünememesi ve bitirilmek zorunda olması kısıtının aksine, proje bölünebilirliği modele dahil edilmiş ve proje bölünebilirliği literatürde olduğu gibi talihsiz bir olay olarak değil, projeler için en iyi yürütme zamanlamasını seçmede bir strateji olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada projeye bütçe kısıtları dahilinde herhangi bir anda ara verilebileceği varsayılmıştır [26].

Planlama problemlerinde sıkça karşılaşıldığı şekliyle projelerin tanımlanmış faaliyetlerden oluştuğunu varsayan bir çalışma ise Arratia ve diğ. tarafından yapılmıştır. Çalışmanın önemli katkılarından biri faaliyetler düzeyinde dahi sinerjilere izin verilmiş olmasıdır. Yazarlar görev çizelgelemenin literatürde sık rastlanan bir problem olduğuna, görev çizelgelemenin portföy seçimine entegre edilmesinin ise oldukça az çalışıldığına dikkat çekmişlerdir [27].

### 3 Problem tanımı ve model formülasyonu

Bu çalışma kapsamında,  $i \in H$  tarihi eserleri ve bu eserlerde bulunan  $j \in J$  restorasyon işleri ele alınmaktadır. Her tarihi eser farklı tiplerde restorasyon işleri içerebilmektedir. Bu işlerin tiplerinin, tamamlanmaları için gereken zaman ve para gibi özelliklerin bilinmekte olduğu varsayılmaktadır. Tarihi eserlerin restorasyon işlerinin paketlere (kontratlar) atanması gerekmektedir. Aynı anda yalnızca bir paket aktiftir. Her paket için ayrılmış ve miktarı önceden belirlenmiş bir bütçe vardır. İşler arasında öncüllük ilişkileri bulunmaktadır. Bu çalışmada her tarihi eserdeki işin ardışık olduğu, yani  $j + 1$  işine başlanabilmesi için  $j$  işinin tamamlanmış olması gerektiği varsayımı yapılmaktadır.

Farklı tarihi eserlerdeki aynı tipteki işlerin aynı pakete atanması eğer bu tarihi eserler coğrafi olarak yakınlarsa ekonomik ve zamansal avantajlar doğurmaktadır. Modelimizde bu durum sinerji olarak isimlendirilmiştir. Aynı iş tipini içeren ve birbirine uzaklığı 2 km'den az olan tarihi eser ve restorasyon işi ikilileri sinerjik ikililer ( $Syn2$ ) olarak adlandırılmıştır.

Restorasyonuna başlanan bir tarihi eserin, tüm işler tamamlanmaya dek ziyarete kapalı olacağı varsayılmaktadır. Bu kapsamda, tüm tarihi eserlerdeki işlerin öncüllük ilişkileri gözetilerek paketlere atanması hedeflenmektedir.

Sinerjik işlerin aynı pakete atanmalarının sağlayacağı avantaj göz önünde bulundurulmaktadır. Bu kapsamda, her sinerjik iş ikilisinin beraber (aynı pakette) yapılması durumunda, yapılacak işin süresinin  $DF$  olarak adlandırılan indirim oranında azalacağı varsayılmış ve modeldeki süreler bu şekilde hesaplanmıştır.

Önerilen matematiksel modelde kullanılan notasyon Tablo 1'de verilmektedir.

#### 3.1 Karar değişkenleri

$$X_{ijp} = \begin{cases} 1, & \text{Tarihi eser } i' \text{ nin } j \text{ işi } p \text{ paketine atandıysa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$$

$$Z_{ijp} = \begin{cases} 1, & \text{Tarihi eser } i' \text{ nin } j \text{ işi } p \text{ paketindeki son iş ise} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$$

$$S_{ij} = \text{Tarihi eser } i' \text{ nin } j \text{ işinin başlama zamanı}$$

$$S_p = p \text{ paketinin başlama zamanı}$$

$$E_p = p \text{ paketinin tamamlanma zamanı}$$

$$NUT_i = \text{Tarihi eser } i' \text{ nin kapalı kaldığı süre}$$

$$A_{iiv'jj'p} = \begin{cases} 1, & i \text{ ve } i' \text{ tarihi eserlerinin, } j \text{ ve } j' \text{ işlerinin} \\ & p \text{ paketine atanması avantajlıysa} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$$

$$syn_{ij}$$

$$= \text{Tarihi eser } i' \text{ nin } j \text{ işi ile aynı paketteki sinerjik iş sayısı}$$

$$C_{max} = \text{Restorasyonu en geç tamamlanan eserin restorasyonunun tamamlanma zamanı}$$

$$Y_{ijp} = \text{Tarihi eser } i' \text{ nin } j \text{ işinin } p \text{ paketine atanmasıyla ortaya çıkan maliyet}$$

$$DT_{ij} = \text{Tarihi eser } i' \text{ nin } j \text{ işinin sinerjiler etki ettiğinde tamamlanabileceği en kısa süre}$$

$$DC_{ij} = \text{Tarihi eser } i' \text{ nin } j \text{ işinin sinerjiler etki ettiğinde tamamlanması için gereken en düşük maliyet.}$$

Tablo 1. Matematiksel modelde kullanılan notasyon.

Table 1. Notation used in the mathematical model.

H	Tarihi eser kümesi
J	Tamamlanması gereken restorasyon işleri kümesi
P	İş paketleri kümesi (kontratlar)
Types	Tarihi eserlerdeki restorasyon işlerinin tipleri kümesi
Type <sub>ij</sub>	Tarihi eser i' nin j restorasyon işinin türü, Type <sub>ij</sub> ∈ Types
dist <sub>ii'</sub>	Tarihi eser i ve tarihi eser i' arasındaki mesafe
Syn2	Aynı iş tipini içeren ve birbirine uzaklığı 2km'den az olan tarihi eser ve restorasyon işi ikilileri kümesi (Yani dist <sub>ii'</sub> ≤ 2 km ve Type <sub>ij</sub> = Type <sub>i'j'</sub> ise ((i,j)(i',j')) ∈ Syn2'dir.)
t <sub>ij</sub>	Tarihi eser i' nin j işinin tamamlanması için gereken süre
c <sub>ij</sub>	Tarihi eser i' nin j işinin tamamlanma maliyeti
B <sub>p</sub>	p paketinin bütçesi
N <sub>i</sub>	Tarihi eser i'deki restorasyon işlerinin sayısı
DF	Sinerjilerden doğacak indirim faktörü

#### 3.2 Matematiksel model

Modelde amaç fonksiyonu olarak restorasyonu en geç tamamlanan tarihi eserin restorasyonunun tamamlanma süresinin en küçüklenmesi, eserlerin kapalı kaldığı toplam sürenin en küçüklenmesi ve toplam maliyetin en küçüklenmesi ayrı ayrı ele alınmıştır.

$$\text{Obj1} = \min C_{max}$$

$$\text{Obj2} = \min \sum_{i \in H} NUT_i$$

$$\text{Obj3} = \min \sum_{i \in H} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} Y_{ijp} \text{ olarak belirlenmiştir.}$$



$$\min \text{Obj} \quad (1)$$

$$2 \cdot A_{ij'i'j'p} \leq X_{ijp} + X_{i'j'p} \quad \forall p \in P, (i, j)(i', j') \in \text{Syn2} \quad (2)$$

Syn2 kümesine ait olan tarihi eser ve restorasyon işi ikilileri  $(i, j)$  ve  $(i', j')$ 'nin aynı pakete atanması avantajlı bir durum ortaya çıkarmaktadır. Eğer bu tarihi eser ve restorasyon işi ikilileri aynı pakete atanmışlarsa, Kısıt (2)  $A_{ij'i'j'p}$  değişkeninin alacağı değeri serbest bırakmasına rağmen, amaç fonksiyonlarının da iyileşmesine sebep olacağı için  $A_{ij'i'j'p}$  değişkeni 1 değerini almaktadır. Aksi durumda,  $X_{ijp}$  ya da  $X_{i'j'p}$  değişkenlerinden birisi 0 ise, Kısıt (2) bu tarihi eser ve restorasyon işi ikililerinin aynı pakete atanmasından doğan avantajı gösteren  $A_{ij'i'j'p}$  değişkenini 0 değerini almaya zorlamaktadır.

$$\text{syn}_{ij} = \sum_{p \in P} \sum_{(i', j') \in \text{Syn2}} A_{ij'i'j'p} \quad \forall (i, j)(i', j') \in \text{Syn2} \quad (3)$$

(3) No.lu kısıt sayesinde, belirli bir  $p$  paketinde, tarihi eser  $i$ 'nin  $j$  işi ile sinerjik kaç adet işi olduğu hesaplanabilmektedir.

$$DT_{ij} = \max \left\{ \frac{t_{ij}}{2}, t_{ij} \cdot (1 - DF \cdot \text{syn}_{ij}) \right\} \quad \forall i \in H, j \in J$$

$$DC_{ij} = \max \left\{ \frac{c_{ij}}{2}, c_{ij} \cdot (1 - DF \cdot \text{syn}_{ij}) \right\} \quad \forall i \in H, j \in J$$

Aynı pakete atanan sinerjik işlerin sayısı ne olursa olsun, elde edilen indirimli tamamlanma süresi ve tamamlanma maliyeti en fazla o işin orijinal süresinin ve tamamlanma maliyetinin yarısı kadar olabilir. Bu kısıtlardan ilki denklem (4) ve (5) ile ikincisi ise denklem (6) ve (7) ile doğrusal hale getirilmiştir.

$$DT_{ij} \geq \frac{t_{ij}}{2} \quad \forall i \in H, j \in J \quad (4)$$

$$DT_{ij} \geq t_{ij} \cdot (1 - DF \cdot \text{syn}_{ij}) \quad \forall i \in H, j \in J \quad (5)$$

$$DC_{ij} \geq \frac{c_{ij}}{2} \quad \forall i \in H, j \in J \quad (6)$$

$$DC_{ij} \geq c_{ij} \cdot (1 - DF \cdot \text{syn}_{ij}) \quad \forall i \in H, j \in J \quad (7)$$

$$NUT_i = S_{i, N_i} + DT_{i, N_i} - S_{i, 0} \quad \forall i \in H \quad (8)$$

Bir tarihi eser restorasyonunun sürdüğü süre boyunca kullanılamamaktadır. (8) No.lu kısıt da, tarihi eser  $i$ 'nin kullanılamaz olduğu süreyi hesaplamaktadır.

$$C_{max} \geq S_{ij} + DT_{ij} \quad \forall i \in H, j \in J \quad (9)$$

$C_{max}$  restorasyonu en geç tamamlanan tarihi eserin restorasyon tamamlanma zamanını ifade etmektedir.

$$\sum_{p \in P} X_{ijp} = 1 \quad \forall i \in H, j \in J \quad (10)$$

Her tarihi eserdeki her bir restorasyon işi kesinlikle bir pakete atanmalıdır.

$$X_{ijp} \leq \sum_{p'=p}^{|P|} X_{ij+1p'} \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (11)$$

Tarihi eser  $i$ 'nin herhangi bir işinin atandığı paket, o işin öncülünün atandığı paketle ya aynı paket olmalıdır ya da öncülü daha önceki paketlerden birine atanmış olmalıdır.

$$S_{ij} \geq S_p - (1 - X_{ijp}) \cdot T \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (12)$$

Tarihi eser  $i$ 'nin  $j$  işinin başlama zamanı, atandığı paketin başlama zamanından büyük olmalıdır. Burada,  $T$  yeterince büyük bir tam sayıyı ifade etmektedir.

$$S_{ij} \geq S_{ij-1} + DT_{ij-1} \quad \forall i \in H, j \in J \quad (13)$$

Tarihi eser  $i$ 'nin  $j$  işinin başlama zamanı, öncülünün bitiş zamanından büyük olmalıdır. Burada öncülünün tamamlanma zamanı sinerjik etkilerin sağlayacağı süre kazanımı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

$$S_p \geq S_{ij} + DT_{ij} - (1 - X_{ijp-1}) \cdot T \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (14)$$

$p$  paketinin başlama zamanı  $p-1$  paketindeki tüm işlerin bitme zamanından büyük olmalıdır. Burada da sinerjik etkilerin sağlayacağı süre kazanımı hesaba katılmıştır.

$$S_p = E_{p-1} \quad p \in P \quad (15)$$

Herhangi iki paket arasında boşluklar olmaması için, bir paketin başlama zamanı, kendinden önceki paketin tamamlanma zamanına eşit olacak şekilde kurgulanmıştır.

Bir paketin tamamlanma zamanı ise, o pakete atanan işlerden en son tamamlananın, yani o paketin sonuncu işinin tamamlanma zamanına eşittir. Yani

$$E_p \geq \max \{ X_{ijp} \cdot (S_{ij} + DT_{ij}) \} \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P$$

$$E_p = \max \{ Z_{ijp} \cdot (S_{ij} + DT_{ij}) \} \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P$$

Ancak verilen denklemler doğrusal olmadıklarından, (16)-(18) kısıtları ile doğrusal hale getirilmiştir. Kısıtlarda kullanılan  $M$  yeterince büyük bir tam sayıyı ifade etmektedir.

$$E_p \geq S_{ij} + DT_{ij} - (1 - X_{ijp}) \cdot M \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (16)$$

$$E_p \geq S_{ij} + DT_{ij} - (1 - Z_{ijp}) \cdot M \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (17)$$

$$E_p \leq S_{ij} + DT_{ij} + (1 - Z_{ijp}) \cdot M \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (18)$$

Bir paketin son işi, o pakete atanan işlerden biri olmalıdır.

$$Z_{ijp} \leq X_{ijp} \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (19)$$

Her paketin yalnızca bir adet son işi olabilir. Birden fazla olması durumunda, model yalnızca birini seçerek hesaplamaları yapabilir.

$$\sum_{i \in H} \sum_{j \in J} Z_{ijp} = 1 \quad \forall p \in P \quad (20)$$

$$\sum_{i \in H} \sum_{j \in J} X_{ijp} \cdot DC_{ij} \leq B_p \quad \forall p \in P$$

Bir pakete atanan işlerin toplam maliyeti o paket için ayrılan bütçeyi aşamaz. Burada da sinerjik etkilerin sağlayacağı süre kazanımı hesaba katılmıştır. Ortaya çıkan eşitsizliğin doğrusal olmaması sebebiyle,

$$Y_{ijp} = X_{ijp} \cdot DC_{ij}$$

Olarak tanımlanmış ve (21)-(24) kısıtları modele eklenmiştir.

$$Y_{ijp} \leq X_{ijp} \cdot M \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (21)$$

$$DC_{ij} - ((1 - X_{ijp}) \cdot M) \leq Y_{ijp} \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (22)$$

$$Y_{ijp} \leq DC_{ij} + ((1 - X_{ijp}) \cdot M) \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (23)$$

$$\sum_{i \in H} \sum_{j \in J} Y_{ijp} \leq B_p \quad \forall p \in P \quad (24)$$

Amaç fonksiyonu  $C_{max}$ 'i enküçükmek değilken, model, tüm işleri aynı pakette başlayıp biten tarihi eserlerin işlerinin başlama zamanlarını rastgele seçebilmektedir. Bunu engellemek ve bu tarihi eserlerin işlerinin başlama zamanlarının atandıkları paketin başlama zamanına eşit olmasını sağlamak için (25) ve (26) No.lu kısıtlar Obj2 ve Obj3 için çözdürülen modellere eklenmiştir.

$$S_{i0} \geq S_p - (2 - (X_{i0p} + X_{i|N_i|p})) \cdot M \quad \forall i \in H, p \in P \quad (25)$$

$$S_{i0} \leq S_p + (2 - (X_{i0p} + X_{i|N_i|p})) \cdot M \quad \forall i \in H, p \in P \quad (26)$$

(27)-(36) No.lu denklemler işe işaret kısıtlarını göstermektedir.

$$NUT_i \geq 0 \quad \forall i \in H \quad (27)$$

$$X_{ijp} \in \{0,1\} \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (28)$$

$$S_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in H, j \in J \quad (29)$$

$$S_p \geq 0 \quad (30)$$

$$A_{i'j'jp} \in \{0,1\} \quad \forall i, i' \in H, j, j' \in J, p \in P \quad (31)$$

$$syn_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in H, j \in J \quad (32)$$

$$DT_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in H, j \in J \quad (33)$$

$$DC_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in H, j \in J \quad (34)$$

$$C_{max} \geq 0 \quad (35)$$

$$Y_{ijp} \geq 0 \quad \forall i \in H, j \in J, p \in P \quad (36)$$

#### 4 Veri

İstanbul'da bulunan 15 tarihi eseri baz alarak, bu eserlerin birbirlerine olan uzaklıklarını, yıllık ziyaretçi sayılarını ve bilet ile giriş yapılıyorsa bilet fiyatlarını kullanarak, hipotetik olarak oluşturulan restorasyon işleri için önerilen modeli denedik.

Tarihi eserlerin birbirlerine uzaklıklarının olduğu matris Ek A'da bulunan Ek Tablo 1'de görülebilir. Tablo 2 ise bu tarihi eserlerin her biri için bahsedilen özellikleri ve her bir eserdeki restorasyon işi sayısını göstermektedir.

Tüm restorasyon işleri göz önünde bulundurulduğunda altı farklı restorasyon iş tipinin olacağı varsayılmaktadır. Her iş tipinin tamamlanması için gereken süre ve saatlik maliyeti Tablo 3'te verilmektedir.

Buna göre, Tablo 4 her tarihi eserdeki her bir işin bu altı iş tipinden hangisine ait olduğunu ve işlerin maliyetlerini göstermektedir.

Çalışmamızda dört adet paket olduğu varsayılmıştır ve her bir paketin bütçesi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 2. Tarihi eserler ve özellikleri.

Table 2. Historical buildings and their features.

Eser No.	Yıllık Ziyaretçi Sayısı	Bilet Fiyatı (TL)	Yıllık Gelir (TL)	Restorasyon işi sayısı
1	3943078	0	0	5
2	1489978	0	0	7
3	2525122	34	85854148	4
4	842939	0	0	7
5	2641868	0	0	5
6	3534554	85	300437090	1
7	2665928	0	0	2
8	4252132	20	85042640	7
9	2385841	0	0	6
10	4787182	66	315954012	10
11	4708434	85	400216890	2
12	193677	43	8328111	8
13	2867287	0	0	9
14	4436559	0	0	8
15	4147639	95	394025705	1

Tablo 3. Restorasyon iş tipleri ve maliyetleri.

Table 3. Restoration work types and costs.

	Gereken Zaman (saat)	Saatlik maliyet (TL)
Tip 1	746	345
Tip 2	4038	252
Tip 3	957	688
Tip 4	4604	113
Tip 5	3447	730
Tip 6	8630	555

Tablo 4. Tarihi eserler ve tamamlanması gereken restorasyon işlerinin özellikleri (İş tipi/İşin maliyeti).

Table 4. Characteristics of historical buildings and restoration work to be completed (Type of work/Cost of work).

	İş 1	İş 2	İş 3	İş 4	İş 5	İş 6	İş 7	İş 8	İş 9	İş 10
Eser 1	4/520252₺	5/2516310₺	1/257370₺	3/658416₺	2/1017576₺					
Eser 2	1/257370₺	5/2516310₺	6/4789650₺	1/257370₺	4/520252₺	6/4789650₺	5/2516310₺			
Eser 3	3/658416₺	4/520252₺	1/257370₺	4/520252₺						
Eser 4	3/658416₺	6/4789650₺	4/520252₺	2/1017576₺	4/520252₺	4/520252₺	6/4789650₺			
Eser 5	5/2516310₺	6/4789650₺	6/4789650₺	3/658416₺	4/520252₺					
Eser 6	1/257370₺									
Eser 7	4/520252₺	3/658416₺								
Eser 8	4/520252₺	6/4789650₺	1/257370₺	2/1017576₺	4/520252₺	4/520252₺	5/2516310₺			
Eser 9	1/257370₺	4/520252₺	1/257370₺	3/658416₺	1/257370₺	4/520252₺				
Eser 10	5/2516310₺	5/2516310₺	6/4789650₺	6/4789650₺	2/1017576₺	3/658416₺	4/520252₺	3/658416₺	6/4789650₺	5/2516310₺
Eser 11	1/257370₺	3/658416₺								
Eser 12	6/4789650₺	5/2516310₺	4/520252₺	4/520252₺	2/1017576₺	3/658416₺	2/1017576₺	6/4789650₺		
Eser 13	5/2516310₺	1/257370₺	1/257370₺	3/658416₺	1/257370₺	3/658416₺	1/257370₺	1/257370₺	2/1017576₺	
Eser 14	4/520252₺	4/520252₺	4/520252₺	1/257370₺	6/4789650₺	6/4789650₺	2/1017576₺	2/1017576₺		
Eser 15	4/520252₺									

Tablo 5. Paketlerin özellikleri.

Table 5. Characteristics of work packages.

	Bütçe (TL)
Paket 1	34064328
Paket 2	43820303
Paket 3	35819762
Paket 4	35884816
Toplam Bütçe	149589209

## 5 Hesapsal sonuçlar

Model üç farklı amaç fonksiyonu ve indirim oranının farklı değerleri için çözdürülmüştür.

Modelin amaç fonksiyonları  $C_{max}$  olarak da ifade ettiğimiz restorasyonu en geç tamamlanan binanın restorasyonunun bitme zamanının (Obj1), eserlerin restorasyondan ötürü kullanılamaz oldukları toplam sürenin (Obj2), ve toplam maliyetin (Obj3) en küçüklenmesi olarak seçilmiştir.

Deneyler Intel(R) Core(TM) i7-7Y75 CPU @ 1.30GHz 1.60 GHz özellikleri olan ve Windows işletim sistemi ile çalışan bir bilgisayarda, Phyton programlama dili ile Gurobi çözücüsü kullanılarak yürütülmüştür.

Tablo 6, farklı indirim oranları için, Obj1, Obj2 ve Obj3 modellerinin ortalama çözüm sürelerini göstermektedir.

Tablo 6. Modellerin ortalama çözüm süreleri.

Table 6. Average solution times of models.

	Ortalama Çözüm Süreleri (dk.)
Obj1	76.7
Obj2	0.4
Obj3	1.3

Tüm deneylerin performanslarının detaylı bir gösterimi Ek B'de yer alan Ek Tablo 2, Ek Tablo 3 ve Ek Tablo 4'te verilmektedir. Ayrıca tüm deneyler için, tarihi eser işlerinin paketlere ne şekilde atandığı da Ek C'de yer alan Ek Tablo 5, Ek Tablo 6 ve Ek Tablo 7'de görülebilir. Sonuçların anlaşılabilirliğini artırmak adına, Tablo 7, üç amaç fonksiyonu için, indirim oranı %15'iken ortaya çıkan atama ve çizelgeleme kararlarını özetlemektedir.

Verilen çözümü görselleştirmek amacıyla, benzer iş tiplerinin atandıkları paketlerin görülebilmesi için, iş tipleri Şekil 1'de verildiği gibi farklı renkler kullanılarak kodlanmış ve Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilen çizelgeler oluşturulmuştur. Şekillerdeki çubukların uzunlukları işlerin süreleri ile orantılı olacak şekilde çizilmiştir. Sinerjiler dikkate alındığında, her bir pakete atanan restorasyon işlerinin ne kadar sürede tamamlandığı da şekillerin altında belirtilmiştir.

	Gereken süre (yıl)
Tip 1	0.09
Tip 2	0.46
Tip 3	0.11
Tip 4	0.53
Tip 5	0.39
Tip 6	0.99

Şekil 1. İş tipleri için gereken süreler ve sürelerle orantılı tanımlanmış çubukların renk kodları.

Figure 1. Durations for job types and duration proportional bars' color codes.

Şekil 2'de verilen örnek çözüm Obj1 modeli içindir ve bu model için eserlerin kullanılamaz oldukları sürelerin en küçüklenmesi modelin önceliği olmadığından bazı tarihi eserler için, eserdeki bazı işler tamamlandıktan sonra yenileri başlayana kadar eserin boş beklediği gözlemlenmektedir. Örneğin tarihi eser 1 için tip 4 işin bitiş zamanı paket 2'nin başlama zamanına denk gelecek şekilde seçilebilecek olmasına rağmen, model çizelgelemeyi bu şekilde yapmamıştır.

Eserlerin kapalı kaldığı toplam süreyi en küçükmeyi hedefleyen Obj2 modelinde ise, Şekil 3'te de gözlemlenebileceği gibi, tarihi eserlerin işleri başka paketlerde olsalar dahi artarda yapılmıştır. Şekil 4 ile gösterilen çizelge ise toplam maliyetin en küçüklendiği model için örnek bir çözümü görselleştirmektedir.

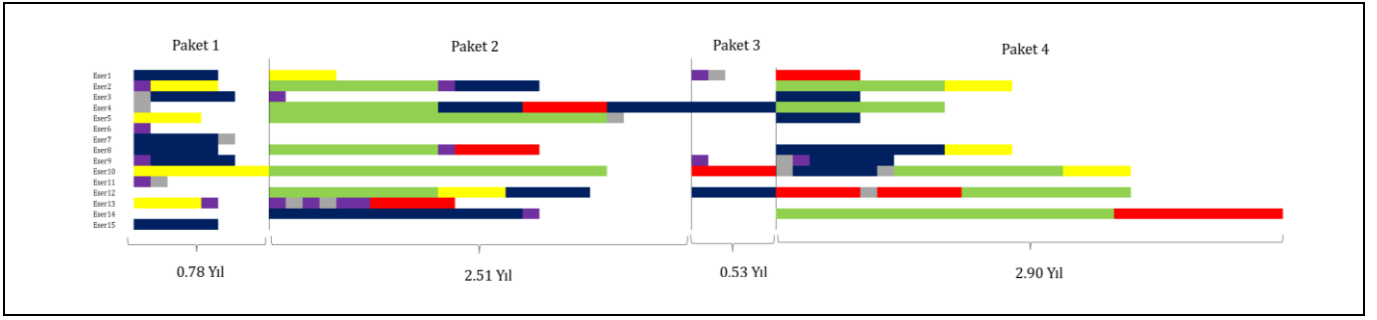
Gözlemlenen diğer performans kriterleri aktif restorasyonda geçen zaman, aktif restorasyonda geçen zamanın eserlerin kullanıma kapalı olduğu zamana oranının ortalaması, eserlerin restorasyondan ötürü kapalı kaldıkları süre boyunca kaçırıldığı bilet geliri ve ziyaretçi sayısı olarak ifade edebileceğimiz toplam kayıp hasılat ve toplam kayıp ziyaretçi sayısıdır.

Tablo 7. Örnek Çözüm.

Table 7. Sample Solution.

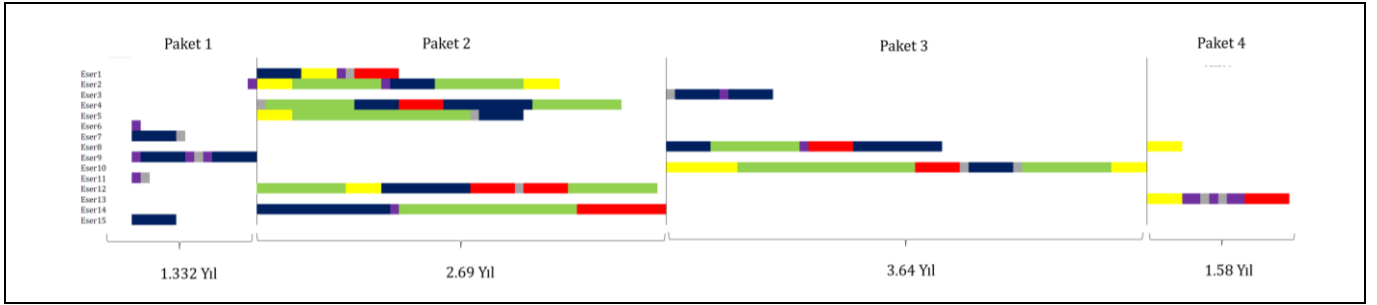
Obj1 (İndirim Oranı=0.15)			
Paket 1	Paket 2	Paket 3	Paket 4
0	1	23	4
01	234		56
01	2		3
0	1234	5	6
0	123		4
0			
01			
0	123		456
01		2	345
01	23	4	56789
01			
	012	3	4567
01	2345678		
	0123		4567
0			
Obj 2 (İndirim Oranı=0.15)			
Paket 1	Paket 2	Paket 3	Paket 4
0	012345 123456		
		0123	
	0123456 01234		
0			
01			
		012345	6
012345			
		0123456789	
01	01234567		
			012345678
	01234567		
0			
Obj3 (İndirim Oranı=0.15)			
Paket 1	Paket 2	Paket 3	Paket 4
0	01234 123456		
			0123
	0123456 01234		
			0
		01	
		012345	6
		012345	
			0123456789
			01
	01234567		
	01234567		012345678
			0





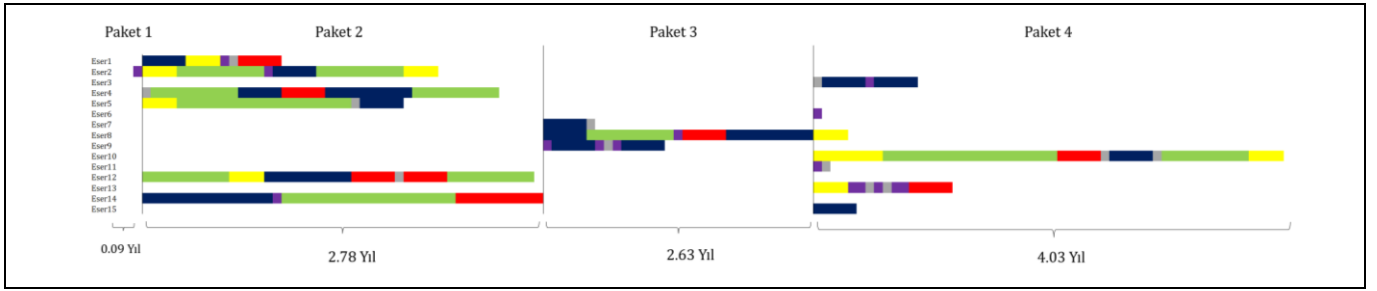
Şekil 2. Örnek Çözüm (Model=Obj1, İndirim Oranı=0.15).

Figure 2. Sample Solution (Model=Obj1, Discount Factor=0.15).



Şekil 3. Örnek Çözüm (Model=Obj2, İndirim Oranı=0.15).

Figure 3. Sample Solution (Model=Obj2, Discount Factor=0.15).



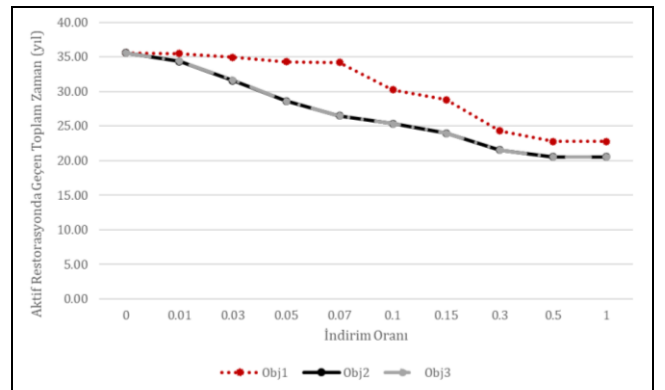
Şekil 4. Örnek Çözüm (Model=Obj3, İndirim Oranı=0.15).

Figure 4. Sample Solution (Model=Obj3, Discount Factor=0.15).

Her bir işin süresi ve maliyeti herhangi bir sinerji etki etmezken Tablo 4'te verilen değerleri almaktadır. Buna göre, tüm tarihi eserlerdeki tüm işlerin tamamlanması için gereken toplam süre 35.57 senedir. Eser 10 tüm restorasyon işlerinin (öncülük kısıtları da göz önünde bulundurulduğunda) tamamlanması en uzun süren tarihi eserdir ve bahsedilen süre 5.3 senedir. Tüm tarihi eserlerdeki tüm işlerin tamamlanması için gereken toplam maliyet ise 124,320,588 TL'dir.

İndirim oranı %0 ile %100 arasında değişen değerler alacak şekilde testler yapılmıştır, ancak sonuçların gerçekçi olması için indirim oranı ne olursa olsun, bir işin süresinin ve maliyetinin en fazla %50 oranında azalabileceği varsayılmış ve model buna göre kurgulanmıştır. Bahsedilen sebepten ötürü, Şekil 5, Şekil 11'de verilen grafiklerde de gözlemlenebileceği gibi, incelenen performans kriterleri indirim oranının 0.5 ve 1 olduğu durumlarda aynı değerleri almaktadır.

Şekil 5'te verilen grafikten de gözlemlenebileceği gibi, aktif restorasyonda geçen toplam zaman eserlerin kullanılamaz oldukları toplam süreyi ve toplam maliyeti en küçükleyen modeller için neredeyse aynı değerleri almıştır.

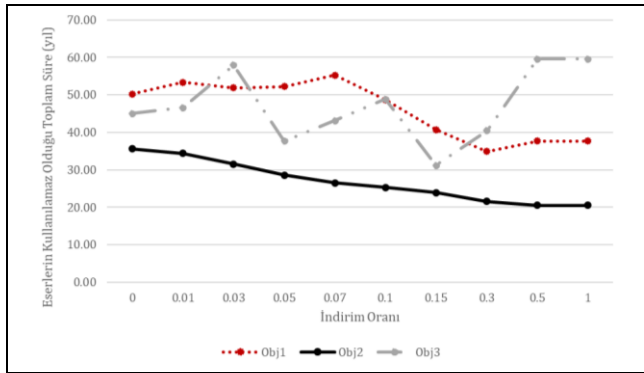


Şekil 5. Aktif restorasyonda geçen toplam zaman (yıl).

Figure 5. Total time in active restoration (years).

Obj2 modeli için bu performans kriterinin aldığı minimum, maksimum ve %0 ile %50 arasındaki indirim oranları için ortalama değer sırasıyla 20.54, 35.57 ve 27.55 bulunmuştur. Obj3 modeli için minimum ve maksimum değerler aynı iken,

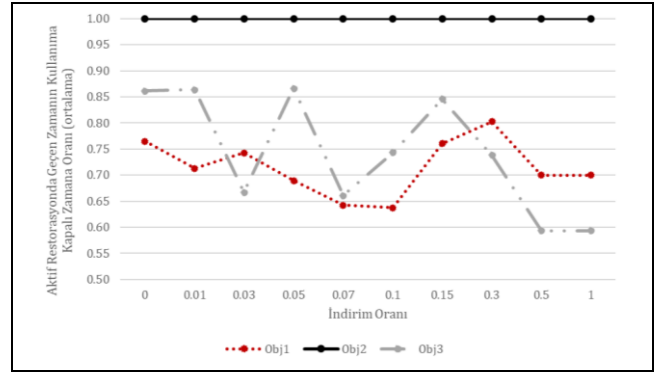
ortalama değer 27.57'dir. Restorasyonu en geç tamamlanan binanın restorasyonunun bitme zamanını en küçükleyen model içinse, bu performans kriteri diğer modellerden tüm indirim oranları göz önünde bulundurulduğunda ortalama 3.5 sene (minimum 0, maksimum 7.69 yıl) daha uzundur. Artan indirim oranları için aktif restorasyonda geçen zaman tüm modellerde beklediği gibi azalan bir grafik izlemiştir. Eserlerin kullanılmaz oldukları süreleri farklı modeller için incelediğimizde Obj2 ile belirtilen modelin aldığı optimal değerlerin, indirim oranları %0 ile %50 arasında değişirken 35.57 ile 20.54 arasında olduğu görülmüştür. İşler arasında herhangi bir sinerjik etkiden bahsedilemeyeceği durumda dahi, bu model 15 tarihi eserin kullanıma kapalı kaldığı toplam süreyi 35.57 bularak, bir tarihi eser için ortalama 2.37 yılda restorasyonun tamamlanabileceğini öngörmektedir. İndirim oranları artırıldığında, modelin bulduğu sonuç bir tarihi eser için ortalama 1.37 seneye kadar inebilmektedir. Obj1 ve Obj3 olarak adlandırdığımız modellerin bu performans kriteri bakımından aldığı değerlere baktığımızda ise, farklı indirim oranları için modellerin farklı sonuçlar verebileceği gözlemlenmiştir. %0 ve %50 arasındaki indirim oranları için, Obj1, Obj2 ve Obj3 modelleri için eserlerin kullanıma kapalı kaldıkları sürenin ortalaması sırasıyla 47.22, 27.55 ve 45.61 sene olarak bulunmuştur. Şekil 6'da görülebileceği üzere, Obj2 için, artan indirim oranları eserlerin kullanılmaz olduğu toplam sürenin azalmasını sağlarken, diğer modeller için bu genellemeyi yapmamızı engelleyen sonuçlar olduğu görülmektedir. Bu modellerin birincil önceliği eserlerin kullanılmaz olduğu toplam süreyi minimize etmek olmadığından, değişken sonuçlar gözlemlenmesi şaşırtıcı değildir.



Şekil 6. Eserlerin kullanılmaz olduğu toplam süre (yıl).

Figure 6. Total time the heritages are unusable (years).

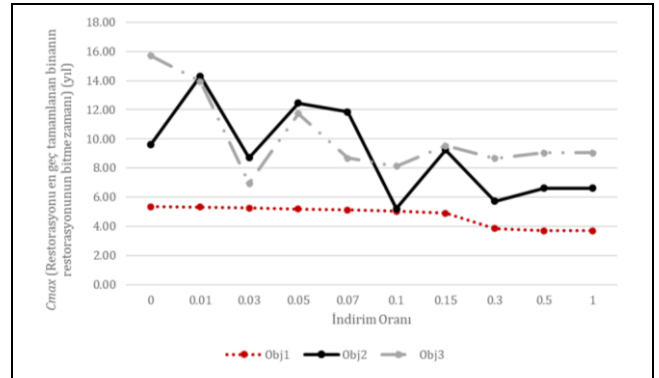
Şekil 7'de grafiği verilen aktif restorasyonda geçen zamanın kullanıma kapalı zamana oranına baktığımızda da, eserlerin restorasyondan ötürü kullanılmaz oldukları toplam süreyi en küçükleyen modelin, tüm indirim oranları için 1 değerini aldığı gözlemlenmiştir. Bu, Obj2 modeli için, eserlerin kullanıma kapalı oldukları sürenin tamamında restorasyon işlerinin yürütüldüğünü göstermektedir. Bu oran, tüm modellerin tüm indirim değerleri için bakıldığında en az 0.59 değerini almaktadır. Cmax değerini en küçükleyen Obj1 modeli için ilgili performans kriterinin %0 ile %50 arasındaki indirim oranları için aldığı ortalama değer 0.72 iken, toplam maliyeti en küçükleyen Obj3 modeli için bu değer 0.76 olarak hesaplanmıştır. Obj1 ve Obj3 modellerinde, indirim oranının farklı değerleri için sonuçların değişken olduğu ve bir trendden söz edilemeyeceği gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Aktif restorasyonda geçen zamanın kullanıma kapalı zamana oranı (ortalama).

Figure 7. Ratio of time spent in active restoration to time out of use (average).

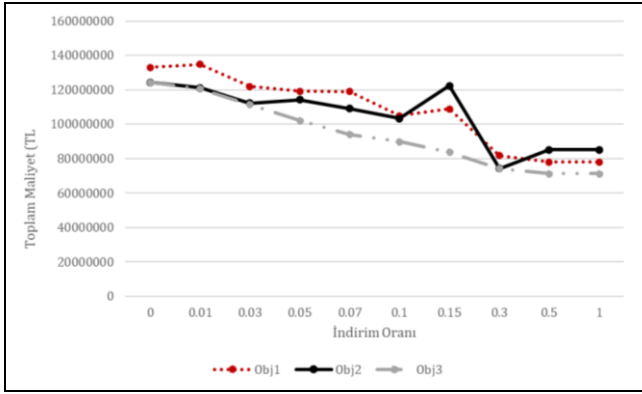
Restorasyonu en geç tamamlanan binanın restorasyonunun bitme zamanları Obj1, Obj2 ve Obj3 modeli için incelendiğinde, bu performans kriterinin en küçükleyen Obj1 modelinin aldığı değerlerin 3.71 ile 5.34 arasında değiştiği ve %0 ile %50 arasındaki indirim oranları için ortalama değer 4.86 olduğu gözlemlenmiştir. Artan indirim oranları için Obj1 modelinin bulduğu sonuçlar azalan bir grafik izlemektedir. Obj2 modeli için Cmax'ın aldığı minimum, maksimum ve ortalama değerler sırasıyla 5.21, 14.30, 9.30 olarak gözlemlenmiştir. Aynı değerler Obj3 modeli için 6.95, 15.69 ve 10.27 olarak bulunmuştur. Obj2 ve Obj3 olarak isimlendirdiğimiz modellerde birincil öncelik Cmax'ın en küçüklenmesi olmadığından, modellerin buldukları sonuçların değişkenlik gösterdiği ve bir trend izlemediği görülmüştür. Şekil 8'de Cmax'ın farklı amaç fonksiyonları ve indirim oranları için aldığı değerler gözlemlenebilir.



Şekil 8. Cmax (Restorasyonu en geç tamamlanan binanın restorasyonunun bitme zamanı) (yıl).

Figure 8. Cmax (Completion time of the restoration of the building whose restoration was completed at the latest) (year).

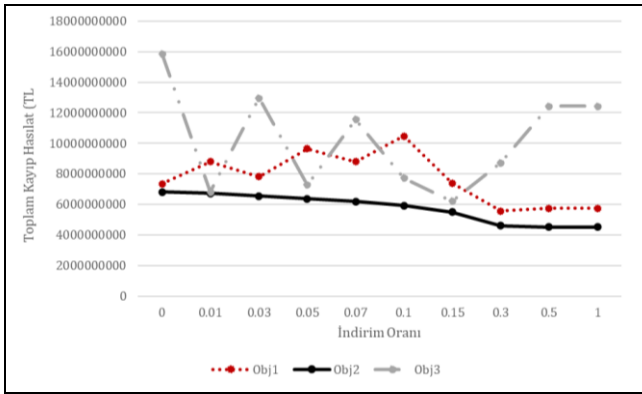
Toplam maliyet bakımından üç modelin performansları incelendiğinde, Şekil 9'da da görülebileceği gibi, toplam maliyeti en küçükleyen Obj3 modelinin aldığı değerlerin artan indirim oranları için azalan bir grafik izlediği gözlemlenmiştir. İndirim oranlarının %0 olduğu durumda bu model tüm tarihi eserlerin işlerini 124,320,588 TL maliyetle tamamlarken, %0 ile %50 arasındaki tüm indirim oranları için ortalama değerinin 96,833,225 olduğu gözlemlenmiştir. Ortalama maliyetin %0 ile %50 arasındaki tüm indirim oranları için Obj1 modelinde 111,298,268 TL; Obj2 modelinde ise 107,351,320 TL değerlerini aldığı görülmüştür.



Şekil 9. Toplam maliyet.

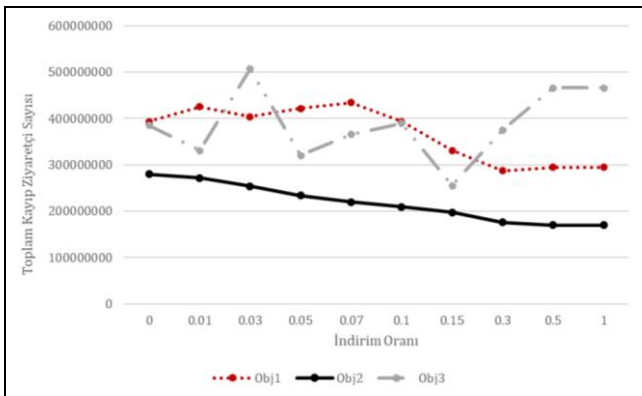
Figure 9. Total cost.

Benzer analizler toplam kayıp hasılat ve toplam kayıp ziyaretçi sayısı için yapıldığında da (Şekil 10 ve Şekil 11), kayıp hasılat ve kayıp ziyaretçi sayısı eserlerin restorasyonda oldukları süre boyunca mahrum kaldıkları bilet geliri ve ziyaretçi nüfusu olduğundan, eserlerin toplam kullanılamaz olduğu süreyi en küçükleyen modelin her durumda en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Toplam kayıp hasılat (TL)

Figure 10. Total lost revenue (TL).



Şekil 11. Toplam kayıp ziyaretçi sayısı.

Figure 11. Total number of lost visitors.

## 6 Sonuçlar

Bu çalışmada tarihi binalarda yapılması öngörülen restorasyonu her birinin süresi, tipi ve maliyeti bilinen restorasyon işlerinin tamamı olarak tanımlayan ve bu

restorasyon işlerinin birbirine yakın tarihi eserlerdeki aynı tip işlerinin aynı pakette yapılmasını motive eden bir atama ve çizelgeleme modeli geliştirilmiştir. Çalışma yöneylem araştırması literatüründe problemi bahsedilen kapsamda ele alarak matematiksel olarak modelleyen ve çözen ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır. İşlerin tipleri ve eserlerin coğrafi yakınlıkları dikkate alınarak sinerjik etkiler hesaplanmış ve işlerin atama sonrası süreleri ve maliyetleri bu sinerjik etkiler doğrultusunda bulunmuştur. Model üç farklı amaç fonksiyonu ve sinerjilerin ortaya çıkaracağı farklı indirim oranları için test edilmiştir. Test için İstanbul'da bulunan 15 tarihi eserin verileri, hipotetik olarak oluşturulan restorasyon verileri ile birlikte kullanılmıştır. Farklı öncelikleri olan modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. İleriki çalışmalarda modeldeki restorasyon tipleri, süreleri ve maliyetleri ile ilgili verilerin gerçek eserler için elde edilmesi ve modellerin tamamen gerçek veriler kullanılarak test edilmesi hedeflenmektedir.

## 7 Conclusions

This study proposes a model that defines the restoration of historical buildings as the sum of restoration works whose duration, type and cost are known. This assignment and scheduling model motivates to carry out the same type of works of historical buildings in the same package due to economies of scale. The study is the first one in the operations research literature that addresses the problem in the given scope, mathematically models, and solves it. The synergistic effects were calculated considering the types of restoration works and the geographical proximity of the heritages. Then, the post-assignment durations and costs of the works were found in line with these synergistic effects. The model has been tested for three different objective functions, and for different discount rates that will result from synergies. For the test, the data from 15 historical buildings in Istanbul were used together with the hypothetical restoration data. Comparisons were made between the outputs of the models with various objective functions. Future research aims to collect real data on restoration types, restoration costs, and restoration times in order to test the models using only real data.

## 8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Halenur ŞAHİN fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, verinin temin edilmesi, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuştur.

## 9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 10 Kaynaklar

- [1] Turskis Z, Zavadskas EK, Kutut V. "A model based on arag and ahp methods for multiple criteria prioritizing of heritage value". *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 12(01), 45-73, 2013.
- [2] Kim CJ, Yoo WS, Lee UK, Song KJ, Kang KI, Cho H. "An experience curve-based decision support model for prioritizing restoration needs of cultural heritage". *Journal of Cultural Heritage*, 11(4), 430-437, 2010.

- [3] E. Costa CAB, Oliveira RC. "Assigning priorities for maintenance, repair and refurbishment in managing a municipal housing stock". *European Journal of Operational Research*, 138(2), 380-391, 2002.
- [4] Deniz MŞ. "İstanbul'da 2003-2017 yılları arasında gerçekleştirilen restorasyon ve onarımların sayısal verilerle değerlendirilmesi ve eski envanter bulgularına göre analizi". *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 22(1), 87-91, 2019.
- [5] Causevic A, Rustempasic N. "Methodology for the restoration of heritage properties". *IX Congreso Internacional de Rehabilitacion del Patrimonio Arquitectonico y Edificacion*, Sevilla, Spain, 9-11 June 2008.
- [6] Vodopivec B, Zarnic R, Tamosaitiene J, Lazauskas M, Selih J. "Renovation priority ranking by multi-criteria assessment of architectural heritage: the case of castles". *International Journal of Strategic Property Management*, 18(1), 88-100, 2014.
- [7] Ünal ZG. *Kültürel Mirasın Korunması*. İstanbul Valiliği. İstanbul Proje Koordinasyon Birimi (İPKB) İSMEP Rehber Kitaplar. İstanbul, Türkiye, 2014.
- [8] Morkunaite Z, Kalibatasa D, Kalibatiene D. "A bibliometric data analysis of multi-criteria decision making methods in heritage buildings". *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(2), 76-99, 2019.
- [9] Perng YH, Juan YK, Hsu HS. "Genetic algorithm-based decision support for the restoration budget allocation of historical buildings". *Building and Environment*, 42(2), 770-778, 2007.
- [10] Roy B, Present M, Silhol D. "A programming method for determining which paris metro stations should be renovated". *European Journal of Operational Research*, 24(2), 318-334, 1986.
- [11] Tupenaite L, Zavadskas EK, Kaklauskas A, Turksis Z, Seniut M. "Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovations". *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(2), 257-266, 2010.
- [12] Davis EW. "Project scheduling under resource constraints-historical review and categorization of procedures". *AIIE Transactions*, 5(4), 297-313, 1973.
- [13] Hartmann S, Briskorn D. "An updated survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem". *European Journal of Operational Research*, 297(1), 1-14, 2022.
- [14] Van Eynde R, Vanhoucke M. "Resource-constrained multi-project scheduling: benchmark datasets and decoupled scheduling". *Journal of Scheduling*, 23(3), 301-325, 2020.
- [15] Gonçalves JF, Mendes JJM, Resende MGC. "A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem". *European Journal of Operational Research*, 189(3), 1171-1190, 2008.
- [16] Lee CY, Lei L. "Multiple-project scheduling with controllable project duration and hard resource constraint: some solvable cases". *Annals of Operations Research*, 102(1), 287-307, 2001.
- [17] Van Eynde R, Vanhoucke M. "New summary measures and datasets for the multi-project scheduling problem". *European Journal of Operational Research*, 299(3), 853-868, 2022.
- [18] Issa S, Tu Y. "A survey in the resource-constrained project and multi-project scheduling problems". *Journal of Project Management*, 5(2), 117-138, 2020.
- [19] Wauters T, Kinable J, Smet P, Vancroonenburg W, Berghe GV, Verstichel J. "The multi-mode resource-constrained multi-project scheduling problem". *Journal of Scheduling*, 19(3), 271-283, 2016.
- [20] Arratia-Martinez NM, Hernandez-Gonzales NM, Lopez-Irarragorri F. "Project portfolio selection and scheduling with resource allocation, synergies, and project divisibility". *Mathematical Problems in Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4163287>.
- [21] Kim KW, Yun YS, Yoon JM, Gen M, Yamazaki G. "Hybrid genetic algorithm with adaptive abilities for resource-constrained multiple project scheduling". *Computers in Industry*, 56(2), 143-160, 2005.
- [22] Subulan K. "An interval programming based approach for fully uncertain resourceconstrained project scheduling problem considering project manager's". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 481-497, 2019.
- [23] Tofighian AA, Naderi B. "Modeling and solving the project selection and scheduling". *Computers & Industrial Engineering*, 83, 30-38, 2015.
- [24] Wang Z, Esangbedo MO, Bai S. "Project portfolio selection based on multi-project synergy". *Journal of Industrial and Management Optimization*, 19(1), 117-138, 2021.
- [25] Zhang X, Hipel KW, Tan Y. "Project portfolio selection and scheduling under a fuzzy environment". *Memetic Computing*, 11(4), 391-406, 2019.
- [26] Li X, Fang SC, Guo X, Deng Z, Qi J. "An extended model for project portfolio selection with project divisibility and interdependency". *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 25(1), 119-138, 2016.
- [27] Arratia M NM, Lopes I F, Schaeffer SE, Cruz-Reyes L. "Static r&d project portfolio selection in public organizations". *Decision Support Systems*, 84(c), 53-63, 2016.

## Ek A

Ek Tablo 1. Tarihi eserler arasındaki mesafeler.

*Appendix Table 1. Distances between historical buildings.*

MESAFE (KM)	Eser 1	Eser 2	Eser 3	Eser 4	Eser 5	Eser 6	Eser 7	Eser 8	Eser 9	Eser 10	Eser 11	Eser 12	Eser 13	Eser 14	Eser 15
Eser 1	0	1.8	4.6	0.045	1.6	4.3	4.9	13.1	43.6	27.2	6.2	0.26	14.4	0.22	7.6
Eser 2	1.8	0	6.8	2.9	3.3	6.5	7.1	15.4	50.7	28.5	6.8	2.8	15	2.8	9.8
Eser 3	4.6	6.8	0	4	4.4	3.6	3.5	22.1	41.9	25.6	4.7	4	12.9	3.8	8.9
Eser 4	0.045	2.9	4	0	0.95	4.3	4.9	13.2	50.1	27.3	6.2	0.3	14.4	0.26	7.6

Ek Tablo 1. Devamı.

Appendix Table 1. Continued.

MESAFE (KM)	Eser 1	Eser 2	Eser 3	Eser 4	Eser 5	Eser 6	Eser 7	Eser 8	Eser 9	Eser 10	Eser 11	Eser 12	Eser 13	Eser 14	Eser 15
Eser 5	1.6	3.3	4.4	0.95	0	4.9	5.5	13.8	49.7	34.6	5.8	0.55	14	0.5	8.2
Eser 6	4.3	6.5	3.6	4.3	4.9	0	3.9	20.3	40.1	23.8	7.2	3.5	15.4	3.4	6.3
Eser 7	4.9	7.1	3.5	4.9	5.5	3.9	0	19.5	39.3	23	7.2	6.8	15.7	6.6	12.3
Eser 8	13.1	15.4	22.1	13.2	13.8	20.3	19.5	0	27.1	10.9	20.6	21.1	19.2	20.9	6
Eser 9	43.6	50.7	41.9	50.1	49.7	40.1	39.3	27.1	0	21.1	48.6	48.1	41.5	52.1	30.9
Eser 10	27.2	28.5	25.6	27.3	34.6	23.8	23	10.9	21.1	0	33.2	32.7	26.1	32.6	16.6
Eser 11	6.2	6.8	4.7	6.2	5.8	7.2	7.2	20.6	48.6	33.2	0	9.4	15.5	9.2	16.5
Eser 12	0.26	2.8	4	0.3	0.55	3.5	6.8	21.1	48.1	32.7	9.4	0	14.4	0.077	8
Eser 13	14.4	15	12.9	14.4	14	15.4	15.7	19.2	41.5	26.1	15.5	14.4	0	14.1	14.6
Eser 14	0.22	2.8	3.8	0.26	0.5	3.4	6.6	20.9	52.1	32.6	9.2	0.077	14.1	0	7.8
Eser 15	7.6	9.8	8.9	7.6	8.2	6.3	12.3	6	30.9	16.6	16.5	8	14.6	7.8	0

### Ek B

Ek Tablo 2. Obj1 amaç fonksiyonu ile yapılan deneylerin performansları.

Appendix Table 2. Performances of experiments with Obj1 objective function.

DF	Cmax (Restorasyonu En Geç Tamamlanan Binanın Restorasyonunun Bitme Zamanı) (yıl)	Eserlerin Kullanılmaması Toplam Süre (yıl)	Toplam Maliyet (TL)	Toplam Kayıp Hasılat (TL)	Toplam Kayıp Ziyaretçi Sayısı	Aktif Restorasyonda Geçen Zamanın Kullanıma Kapalı Zamana Oranı (ortalama)
0	5.34	50.26	133122266	7358476777.99	393939244.31	0.76
%1	5.33	53.38	134928972.50	8789282484.78	425690295.99	0.71
%3	5.25	51.88	121886566.92	7809739332.38	403601076.45	0.74
%5	5.19	52.20	119229873.10	9647279818.35	421883644.94	0.69
%7	5.13	55.28	119101039.68	8801496508.75	434275463.18	0.64
%10	5.04	48.72	104901740	10460751890.23	393661674.62	0.64
%15	4.89	40.73	108836168	7391875538.18	331153445.76	0.76
%30	3.85	34.88	81713760.60	5570026066.23	287340099.91	0.80
%50	3.71	37.65	77964026	5753323452.30	294991794.59	0.70
%100	3.71	37.65	77964026	5753323452.30	294991794.59	0.70

Ek Tablo 3. Obj2 amaç fonksiyonu ile yapılan deneylerin performansları

Appendix Table 3. Performances of experiments with Obj2 objective function.

DF	Cmax (Restorasyonu En Geç Tamamlanan Binanın Restorasyonunun Bitme Zamanı) (yıl)	Eserlerin Kullanılmaması Toplam Süre (yıl)	Toplam Maliyet (TL)	Toplam Kayıp Hasılat (TL)	Toplam Kayıp Ziyaretçi Sayısı	Aktif Restorasyonda Geçen Zamanın Kullanıma Kapalı Zamana Oranı (ortalama)
0	9.63	35.57	124320526.97	6823784416.86	280234501.78	1.00
%1	14.30	34.37	121194143.90	6734115244.94	271874312.09	1.00
%3	8.71	31.57	112231012.24	6549541126.81	253809011.51	1.00
%5	12.45	28.61	114311342.20	6364594984.24	233915907.05	1.00
%7	11.85	26.51	109172279.72	6184104221.41	219750359.50	1.00
%10	5.21	25.33	103296549.68	5924390469.88	209698241.21	1.00
%15	9.24	23.95	122353540.40	5497671605.57	197505768.37	1.00
%30	5.72	21.56	74224052.28	4622694811.62	175863170.79	1.00
%50	6.61	20.54	85058434.46	4534024008.87	169756224.13	1.00
%100	6.61	20.54	85058434.46	4534024008.87	169756224.13	1.00

Ek Tablo 4. Obj3 amaç fonksiyonu ile yapılan deneylerin performansları.

Appendix Table 4. Performances of experiments with Obj3 objective function.

DF	Cmax (Restorasyonu En Geç Tamamlanan Binanın Restorasyonunun Bitme Zamanı) (yıl)	Eserlerin Kullanılmaması Toplam Süre (yıl)	Toplam Maliyet (TL)	Toplam Kayıp Hasılat (TL)	Toplam Kayıp Ziyaretçi Sayısı	Aktif Restorasyonda Geçen Zamanın Kullanıma Kapalı Zamana Oranı (ortalama)
0	15.69	45.01	124320588.00	15851923621.15	385556122.51	0.86
%1	13.94	46.57	120582342.72	6813937953.85	330862960.36	0.86
%3	6.95	58.00	111396156.40	12966874085.73	507174803.83	0.67
%5	11.74	37.71	102191879.20	7287643179.87	320762119.49	0.87



Ek Tablo 4. Devamı

Appendix Table 4. Continued.

DF	Cmax (Restorasyonu En Geç Tamamlanan Binanın Restorasyonunun Bitme Zamanı) (yıl)	Eserlerin Kullanılamaz Olduğu Toplam Süre (yıl)	Toplam Maliyet (TL)	Toplam Kayıp Hasılat (TL)	Toplam Kayıp Ziyaretçi Sayısı	Aktif Restorasyonda Geçen Zamanın Kullanıma Kapalı Zamana Oranı (ortalama)
%7	8.69	43.10	94016723.74	11555244014.77	366283542.79	0.66
%10	8.14	48.87	89807618.40	7732584876.95	389536853.67	0.74
%15	9.53	31.19	83749919.80	6223587836.51	255307990.67	0.85
%30	8.67	40.48	74224061.80	8741295083.73	375841806.15	0.74
%50	9.05	59.59	71209743.00	12439800409.76	466351105.31	0.59
%100	9.05	59.59	71209743.00	12439800409.76	466351105.31	0.59

### Ek C

Ek Tablo 5, Obj1 amaç fonksiyonu ile çözdürülen modelin sonuçları (İş ve paket atamaları).

Appendix Table 5. Solutions of the model with Obj1 objective function (Job and packet assignments).

Amaç Fonksiyonu: Obj1												
DF: %0				DF: %1				DF: %3				
Paket No:												
#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	
Eser 1	0	1	234	0	2	1	234	0	0	1	234	
Eser 2	01	2	34	01	2	34	56	01	234		56	
Eser 3	012	3	3	0	1	23		012			3	
Eser 4	012	3	45	01	23	45	6	0	123	45	6	
Eser 5	0	1	23	01	2	3	4	0	1	2	34	
Eser 6	0	0				0		0				
Eser 7	01	01			01			01				
Eser 8	0	1	234	0	1	234	56	0	12	34	56	
Eser 9	01	23	45	0	1	23	45	012			345	
Eser 10	012	3	456	012	3	456	789	01	23	4567	89	
Eser 11	0	01			0	1				01		
Eser 12	0	12	345	0	12	345	67		012	345	67	
Eser 13	01	2345	678		0123456	78		0		12345678		
Eser 14	0123	4	5	0123	4	5	67	0	1234	5	67	
Eser 15	0	0			0	0		0				

Amaç Fonksiyonu: Obj1												
DF: %5				DF: %7				DF: %10				
Paket No:												
#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	
Eser 1	0	1	234	0	2	1234		0	123	4		
Eser 2	01	234	5	01	234		56	01	234		56	
Eser 3	012	3		012	3			01	2		3	
Eser 4	0	123	45	0	123	45	6	0	12		3456	
Eser 5	0	1	2	0	1	23	4	0	12	3	4	
Eser 6	0	0				0			0			
Eser 7	01			0		1		0		1		
Eser 8	0	1	234	0	1	234	56	0	12	3	456	
Eser 9	01		234	0			12345	0	12	34	5	
Eser 10	01	23	4567	01	23	4567	89	01	23	4	56789	
Eser 11	0	1		01				0			1	
Eser 12	0	012	345	0	012	345	67		0123	4	567	
Eser 13	0123		456	0		12345678		01	2	34567	8	
Eser 14	0	1234	5	0	1234	5	67	0	12345		67	
Eser 15	0	0			0	0			0			

Amaç Fonksiyonu: Obj1												
DF: %15				DF: %30				DF: %50				
Paket No:												
#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	
Eser 1	0	1	23	0123			4	0123			4	
Eser 2	01	234		01	2345		6	01	2345		6	
Eser 3	01	2	3	012	3			0	123			
Eser 4	0	1234	5	01	23456			01	2345		6	
Eser 5	0	123	4	01	234			0	1234			
Eser 6	0					0					0	
Eser 7	01			0			1	0			1	
Eser 8	0	123		0	12345		6	0	12345		6	
Eser 9	01		2	0123	45			0	12345			
Eser 10	01	23	4	01	2345678		9	01	2345678		9	
Eser 11	01						01			0	1	
Eser 12	0	012	3	01	234567			0	123456		7	
Eser 13	01	2345678		0123456	78			012	345678			
Eser 14	0	0123	4567	01	23456		7	01	2345		67	
Eser 15	0	0		0				0				

Ek Tablo 6. Obj2 amaç fonksiyonu ile çözdürülen modelin sonuçları (İş ve paket atamaları).  
 Appendix Table 6. Solutions of the model with Obj2 objective function (Job and packet assignments).

Amaç Fonksiyonu: Obj2												
DF: %0				DF: %1				DF: %3				
Paket No:												
#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	
Eser 1		0	1234		0	1234			0		1234	
Eser 2	01	23456				0123456					0123456	
Eser 3	01	2	3			0	123				0123	
Eser 4			0123456		0123456				0123456			
Eser 5	0	12	3	4	0	1234		0	1234			
Eser 6	0				0						0	
Eser 7	0	1			01						1	
Eser 8		01	23456	012345		6		012345			6	
Eser 9	01234	5					012345	012345678			012345	
Eser 10	012	3	456789				0123456789					
Eser 11	0	1				01					1	
Eser 12	012	3456	7		01	234567			01234567			
Eser 13	01234567	8		01234567	8					0	12345678	
Eser 14	01	2	345	67	0	01234567			01234567			
Eser 15			0	0	0				0			
DF: %5				DF: %7				DF: %10				
Paket No:												
#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	
Eser 1		01234					01234					
Eser 2			0123456	0123456				012345		01234		
Eser 3	0123			0123					6			
Eser 4		0123456					0123456		0123456		0123	
Eser 5		01234					01234		01234			
Eser 6		0				0					0	
Eser 7			0	1		1		01				
Eser 8			0123456	012345	6						0123456	
Eser 9			012345		012345						012345	
Eser 10			012345679			0123456789		0123456789				
Eser 11			0	1	0	1		0	1			
Eser 12		0123456					0123456			01234567		
Eser 13			0	1234567	0	1234567	8		01234567	8		
Eser 14		0123456					0123456		01234567			
Eser 15		0				0			0			
DF: %15				DF: %30				DF: %50				
Paket No:												
#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	
Eser 1		01234		012			34					
Eser 2	0	123456		0123456				0123456				
Eser 3			0123	0			123				0123	
Eser 4		0123456					0123456		0123	4	56	
Eser 5		01234		012			34		0	12	34	
Eser 6	0					0					0	
Eser 7	01					01					01	
Eser 8			012345	6		012345	6		012345		6	
Eser 9	012345			012345				012345	012345678			
Eser 10			012345678				0123456789					
Eser 11	01			0	1						01	
Eser 12		0123456		0123			4567		01	23	4567	
Eser 13			0123456			01234567	8				01234567	
Eser 14		0123456		0123			4567	01	234567		8	
Eser 15	0			0				0				

Ek Tablo 7. Obj3 amaç fonksiyonu ile çözdürülen modelin sonuçları (İş ve paket atamaları).  
 Appendix Table 7. Solutions of the model with Obj3 objective function (Job and packet assignments).

Amaç Fonksiyonu: Obj3												
DF: %0				DF: %1				DF: %3				
Paket No:												
#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	
Eser 1			01234	012	34			012	34			
Eser 2			0123456	0123456				0123456				
Eser 3			0123	0123				0123				
Eser 4			0123456	0	123456			0	123456			
Eser 5		01234		0	1234			0	1234			
Eser 6			0	0				0				
Eser 7		01		01				01				

Ek Tablo 7. Devamı.  
 Appendix Table 7. Continued.

Amaç Fonksiyonu: Obj3												
DF: %0				DF: %1				DF: %3				
Paket No:												
Eser 8			0123456					0123456			012345	6
Eser 9			012345					012345				012345
Eser 10		012345	6789					0123456789				0123456789
Eser 11		01						01	01			
Eser 12		01234567		01	234567					01234567		
Eser 13		012345678						01234567	8	01234567		8
Eser 14	012345	67			01234567					01234567		
Eser 15		0						0				0
DF: %5				DF: %7				DF: %10				
Paket No:												
	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4
Eser 1		01234					01234		01234			
Eser 2	0123456					0123456				0123456		
Eser 3	0123				0	123			0	123		
Eser 4		0123456					0123456		0123456			
Eser 5		01234					01234		01234			
Eser 6	0					0					0	
Eser 7	0	1			01					0	1	
Eser 8	012345			6				0123456			012345	6
Eser 9	012345							012345		012345		
Eser 10				0123456789				0123456789			0123456789	
Eser 11	01				0	1				0		1
Eser 12		01234567					01234567		01234567			
Eser 13	01234567	8				01234567		8		0	1234567	8
Eser 14		01234567					01234567		01234567			
Eser 15			0			0				0		
DF: %15				DF: %30				DF: %50				
Paket no:												
	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4
Eser 1		01234				012		34			012	34
Eser 2	0	123456				0123456					0123456	
Eser 3				0123			0	123	0		123	
Eser 4		0123456						0123456	01		2	3456
Eser 5		01234				012		34	0123			4
Eser 6				0				0	0			
Eser 7			01				0	1			01	
Eser 8			012345	6				0123456		0123456		
Eser 9			012345			012345			012345			
Eser 10				0123456789			0123456789		0123456789			
Eser 11				01			01		0	1		
Eser 12		01234567				012		34567	01		2	34567
Eser 13				012345678			012345678				012	345678
Eser 14		01234567				0123		4567	012		3	4567
Eser 15				0	0				0			