



A Multiobjective multidimensional knapsack model for exhibition selection for science centers

Kemal Taha Hülagü¹ , Alpaslan Fıçlalı^{2*} 

¹Kocaeli Metropolitan Municipality, Director of Museums, 41040, İzmit, Kocaeli, Türkiye

²Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Kocaeli University, 41001, İzmit, Kocaeli, Türkiye

Highlights:

- Mathematical model for exhibition selection for science centers
- Exhibition selection under real-life constraints
- Multiobjective model for exhibition selection

Keywords:

- Science center
- Multiobjective knapsack problem
- Multidimensional knapsack problem
- Exhibition selection

Article Info:

Research Article

Received: 15.11.2022

Accepted: 27.01.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1204181

Correspondence:

Author: Alpaslan Fıçlalı

e-mail:

figlalia@kocaeli.edu.tr

phone: +90 262 303 3312

Graphical/Tabular Abstract

In the literature, there is no mathematical approach for the selection of the exhibits of museums and science centers. In this study, a mathematical programming-based multiobjective method is proposed for the selection of the most suitable exhibits in science centers. The flow chart of the proposed method is given in Figure A.

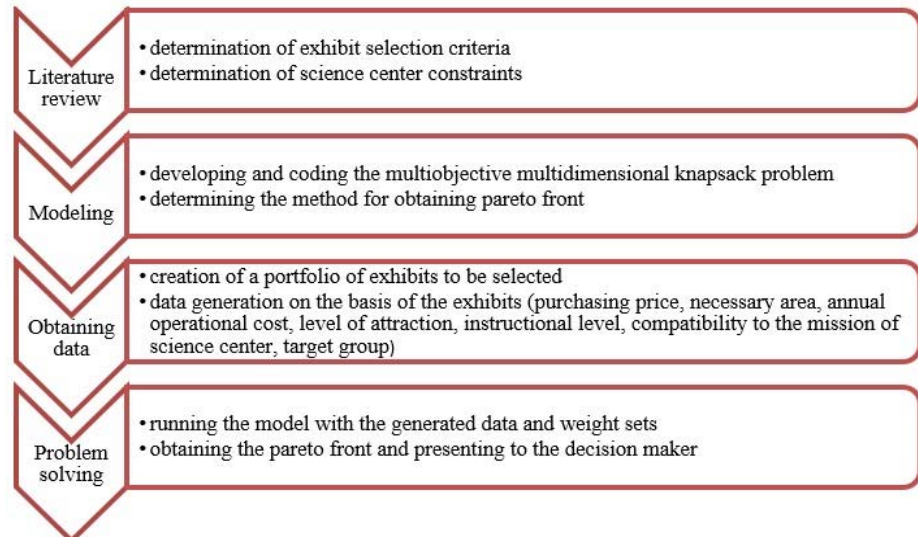


Figure A. Proposed methodology for exhibition selection for science centers

Purpose:

Intuitive methods are applied and especially the experiences of the curators are used to create an exhibition. Creating a new exhibition for a science center can be taken as the process of bringing together a portfolio of various exhibits to optimize certain objectives and can be modeled as a knapsack problem.

Theory and Methods:

The problem is considered as a multiobjective, multidimensional knapsack problem. It is modeled and solved as a 0-1 integer programming model. Suggested model selects the exhibits that supports the mission at a high level, has a high instructional level and attractiveness under the constraints of the total area, purchasing budget and annual operating budget.

Results:

The proposed 0-1 integer programming model was coded and solved with MATLAB. Since the model aims at maximizing three separate objective functions, objectives are expressed as a summative function and non-dominated solutions are obtained. In solutions made for different combinations of budget, area and operating costs, obtaining the pareto front requires a solution time in the range of 3-10 seconds.

Conclusion:

The proposed model can be used in the selection process to create temporary or permanent exhibitions for science centers. The model is expected to bring an analytical approach and contribute to the intuitive selection process based on the experience of curators and managers.



Bilim merkezlerine düzenek seçimi için çok amaçlı çok boyutlu bir sırt çantası modeli

Kemal Taha Hülagü¹, Alpaslan Fıgıllı^{2*}

¹Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Müzeler Şb. Müdürlüğü, 41040, İzmit, Kocaeli, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 41001, İzmit, Kocaeli, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Bilim merkezlerine düzenek seçimi için matematiksel model
- Gerçek hayat kısıtları altında düzenek seçimi
- Düzenek seçimi için çok amaçlı model

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 15.11.2022

Kabul: 27.01.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1204181

Anahtar Kelimeler:

Bilim merkezi,
çok amaçlı sırt çantası
problemi,
çok boyutlu sırt çantası
problemi,
sergi ve düzenek seçimi

Ö Z

Bilim Merkezleri kendilerinden beklenen görevleri içerilerinde bulundukları sergi ve düzenekler aracılığıyla gerçekleştirmektedir. Sözü edilen sergi, düzenek ve benzeri donanımların seçimi ise elde edilmek istenen yarar doğrultusunda, merkezin hedefleri ve ziyaretçi profili göz önünde tutularak; mekan sınırlamaları ve bütçe kısıtları altında yapılmaktadır. Ancak literatürde, çeşitli düzeneklerin belirlenen amaca yönelik olarak bir araya getirilerek sergi oluşturulmasına ilişkin bir matematiksel yaklaşım yer almamaktadır. Çalışmalar incelendiğinde bilim merkezleri için sergi oluşturmada sezgisel yöntemlerin kullanıldığı ve özellikle küratörlerin deneyimlerinden yararlandığı görülmektedir. Bir bilim merkezi için yeni bir sergi oluşturmak, çeşitli düzeneklerden oluşturulacak bir portföyün belirli amaçları optimize etmeye yönelik olarak bir araya getirilmesi işlemi olarak bir sırt çantası problemi yapısında modellenebilir. Bu çalışmada, bilim merkezlerinde en uygun düzeneklerin seçimi için matematiksel programlama tabanlı bir yöntem önerilmektedir. Önerilen çok amaçlı ve çok boyutlu sırt çantası modeli; bilim merkezi misyonunu yüksek düzeyde destekleyen, öğreticilik düzeyi ve ilgi çekicilik düzeyi yüksek olan; buna karşılık toplam tesis alanı, satın alma bütçesi ve işletme bütçesi kısıtlarını da sağlayan düzeneklerin seçimini gerçekleştirmektedir. Modelde portföyü oluşturan düzeneklerin farklı bilim alanlarından seçilmesini sağlamak üzere bir ek kısıt da yer almaktadır. Oluşturulan çeşitli problemlerin çözümü için gereken süreler ve elde edilen baskın çözüm sayıları dikkate alındığında önerilen modelin gerçek hayat problemlerinde rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir.

A Multiobjective multidimensional knapsack model for exhibition selection for science centers

H I G H L I G H T S

- Mathematical model for exhibition selection for science centers
- Exhibition selection under real-life constraints
- Multiobjective model for exhibition selection

Article Info

Research Article

Received: 15.11.2022

Accepted: 27.01.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1204181

Keywords:

Science center,
multiobjective knapsack
problem,
multidimensional knapsack
problem,
exhibition selection

ABSTRACT

Science Centers carry out their missions through the exhibits and exhibitions they have. The selection of the exhibits is made under the space limitations and budget constraints, taking into account the center's goals and the visitor profile. However, there is no mathematical approach in the literature for the selection of exhibits in order to create exhibitions for the determined objective. It is seen that intuitive methods are applied and especially the experiences of the curators are used to create the exhibition for science centers. Creating a new exhibition for a science center can be taken as the process of bringing together a portfolio of various exhibits to optimize certain objectives and can be modeled as a knapsack problem. In this study, a mathematical programming-based multiobjective method is proposed for the selection of the most suitable exhibits in science centers. The problem is considered as a multiobjective, multidimensional knapsack problem. It is modeled and solved as a 0-1 integer programming model. Suggested model selects the exhibits that supports the mission of the science center at a high level, has a high instructional level and attractiveness under the constraints of the total area, purchasing budget and annual operating budget. In the model, there is an additional constraint to ensure that the exhibits that make up the portfolio are selected from different fields of science. Considering the time required to solve the various problems created and the number of dominant solutions obtained, it can be said that the proposed model can be easily used in real life problems.

1. Giriş (Introduction)

Bilim merkezleri her yaşta farklı birikime sahip insanları bilimle buluşturmak ve bilim kültürünü geliştirmek üzere tasarlanmış, uygulama ve deneyimlemeye dayalı bilimsel temalı merkezlerdir. Bu amaçları gerçekleştirmek için deneysel ve uygulamalı etkinlikler içermekte, ziyaretçilerini denemeye ve keşfetmeye teşvik etmektedirler. Bilim merkezlerinin tüm yaş grupları için yararlı unsurlar barındırdığı bilinmektedir: Plummer ve Cho uygun tasarlanan düzeneklerin okul öncesi çocukların bilime yaklaşması için rahatlıkla kullanılabilmesini belirtmektedir [1]. Souza vd. 'nin çalışmasında, bilim müzelerine yapılan okul ziyaretlerinin, öğrencilere benzersiz öğrenme deneyimleri sağlayan eğitim kaynakları olduğu ifade edilmektedir. Bu ziyaretlerin, öğrencilerin bilim eğitimine olan motivasyonunu artırmanın yanı sıra, çocukların yeni beceriler ve yetenekler geliştirmesine önemli katkısının olduğu belirtilmektedir [2]. Bilim merkezi gönüllüleri ile yapılan çeşitli çalışmalarda, okul dışı bilim eğitimi programlarının, bilim kariyerlerine uzun vadeli ilgiyi etkili bir şekilde oluşturduğu ve sürdürdüğü gösterilmektedir [3, 4]. Domenici, bilim müzeleri gibi okul dışı öğrenme ortamlarının fen bilgisi eğitiminde temel bir role sahip olduğunu ve fen bilgisi öğretmenlerinin eğitimi için yüksek potansiyelli ideal ortamlar olduğunu belirtmektedir [5]. Yüklendikleri önemli görev nedeniyle pek çok bilimsel çalışmanın da konusu olmuşlardır. Bilim merkezlerini konu alan çalışmaların genel olarak bir müzeyi veya bilim merkezini ziyaret eden ziyaretçilerin davranışlarına odaklandığı ve ziyaretçi davranışları esas alınarak sergi düzenekleri için tasarım önerilerinin oluşturulduğu görülmektedir. Ziyaretçinin düzenegi incelemesi ve deneyimlemesi için sergi düzenegine ilgisini çekmek önemlidir. Alt ve Shaw [6], katılımcı davranışı teşvik etmek üzere sergilerin ziyaretçilerin ilgisini nasıl etkilediğini araştırmıştır. Londra'daki The Natural History Museum'u ziyaret eden 2000 kişinin 45 sergi için verdiği yanıtlardan, "ideal sergi" yi; göz alıcı, çarpıcı, kısa ve öz, vermek istediği mesajı açık veren, çoklu katılımın sağlanabildiği sergiler olarak tanımlamışlardır. Bu özelliklerin tanımlanması, ziyaretçilerin ihtiyaçlarını karşılayacak sergi tasarımı prensiplerini formüle etmek için öncü bir çalışma olarak görülmektedir. Sonrasında Perry [7], "motive edici sergiler tasarlamak" amacıyla altı tasarım ilkesi içeren bir model geliştirmiştir. Bu ilkeler; merak uyandırmak, güvenli kullanım, zorluk derecesi, kontrol edilebilirlik, oynanabilirlik ve iletişim kurmak olarak tanımlanmıştır. Önerilen bu model daha sonra farklı müzelerde interaktif bilim sergileri ile uzun yılların deneyimlerine bağlı olarak geliştirilmiştir. Perry, bu ilkelerin ziyaretçilerin sergilere katılımı ile ilişkili olduğunu ve ziyaretçilerin bilimi kavrayışını artırdığını da ifade etmiştir.

Eldamshiry vd. çalışmalarında müze sergi tasarımı için prototip bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilecek bir çerçeve model sunmaktadır. Çalışmada zaman içerisinde müze ziyaretçilerinin koleksiyon odaklı 'statik sergi'lerdeki pasif tüketicilerden, ziyaretçi merkezli 'etkileşimli sergi'lerin aktif katılımcılarına dönüştüğü vurgulanmakta ve müze ziyaretçilerinin müze ortamıyla sosyal etkileşimini artırmak için kullanılabilecek sergileme teknikleri analiz edilmektedir [8]. Rhee vd. nin çalışmasında bilim merkezi ziyaretçilerinin düzeneklerle etkileşim düzeyi ve ziyaretle ilgili sosyal medyada yayınladıkları fotoğraflar arasındaki ilişki incelenerek, daha yüksek ziyaretçi etkileşimi sağlayacak düzenek tasarımı konusunda ipuçları verilmiştir [9]. Amerika Washington DC.'de Ulusal Parklar Birimi'nce yayımlanan Müze Elkitabında müze ve arşiv koleksiyonları içeren sergilerin nasıl geliştirilebileceği açıklanmakta ve sergi oluşturulurken atılması gereken adımlar özetlenmektedir. Burada yer alan düzenek seçim adımlarında küratörün kişisel deneyimi ve ekip çalışması önemli bir rol oynamakta, düzenek seçimi ve sergi tasarımı sürecinde bilimsel ve sistematik bir karar analiz

yöntemi kullanılmamaktadır [10]. Rudman vd. [11]'nin çalışmasında farklı disiplinlerden katılımcıların yaptıkları düzenli toplantılar ile yapılan sergi tasarımının uygun bir yöntem olduğundan ve tasarım sırasında ekip çalışmasının yararlarından söz edilmektedir. Sergi tasarımında işbirlikçi küratöryal (collaborative curation) yaklaşım örnekleri için Stuedahl vd. [12]'nin çalışmasına bakılabilir.

Hodder ve Hodder [13]'ün çalışmasında Yeni Zelanda Hamilton'daki Excite Bilim Teknoloji Merkezi'nin ilk yedi yıllık ziyaretçi katılımı incelenmiş, üç yılda bir tekrarlayan "ürün yaşam döngüsü" gerçekleştiği görülmüştür. Her döngü sonrasında ziyaretçi sayılarını yeniden canlandırmak için müdahale gerekmektedir. Ziyaretçi sayılarını artırma amaçlı bu müdahale, finansal sürdürülebilirlik için bir zorunluluktur. Bu çalışmada bilim merkezlerine gelen ziyaretçi sayısının zamanla azalma eğiliminde olduğu savunulmaktadır. Belirli bir coğrafyaya hitap eden bilim merkezinin yakın coğrafyasındaki nüfusla sınırlı ve orantılı bir ziyaretçi potansiyeli bulunmaktadır. Ziyaretçileri bilim merkezine birden çok kez çekebilmek için geçici sergiler organize edilmesi gerektiğinden söz edilmektedir. Kim vd. [14]'nin çalışmasında sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla bilim müzeleri arasında bilgi ve düzenek paylaşımını sağlamak üzere tasarlanan bir platform tanıtılmaktadır. Bu yolla platforma dahil olan diğer bilim müzelerinin sahip olduğu düzenekler arasında özel amaçlı bir seçim yapmak mümkün olabilecektir. Bu tür eğilimler göz önünde tutulduğunda, sergi düzenegi seçiminin Bilim Merkezinin yalnızca kuruluşu aşamasında yapılan bir iş olmadığı, yer aldığı bölgenin nüfus yapısına bağlı olacak şekilde belirli dönemlerde tekrarlanması gereken bir iş olduğu belirtilebilir.

Düzenekler, bilim merkezlerinin üstlendikleri görevleri yerine getirmelerinde en önemli unsurlardan olduklarından uygun düzenek seçimi ile bilim merkezlerinin topluma sağlayacağı fayda maksimize edilebilir. Günümüzde bilim merkezleri sergi ve deney düzeneklerini alırken öncelikli olarak bütçelerini yani maliyetleri göz önüne almaktadırlar. Bu yüzden de maliyeti daha düşük sergi ve deney düzeneklerine yönelmeyi tercih etmektedirler. Bu tercihler yapılırken genellikle sergilerin eğiticiliği ve ilgi çekiciliği, maliyeti, temaların hitap edeceği kitleye uygun olması, serginin alanı ve bunun gibi kriterler ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Literatürde bu konulardaki çalışmalar incelendiğinde sayılan kriterlerin pek çoğunu kullanarak bir bütün olarak değerlendiren ve "Karar Teorisi" alanında bir yöntem kullanan tek çalışma Imbernon vd. [15]'nin çalışmasıdır. Bu çalışmada sanat müzelerinin yıllık sergi planlamasında yer alacak sanatçı veya sergilerin seçim işinin sanat yöneticileri tarafından deneyim ve sezgilere dayalı olarak yapıldığından bahsedilmekte ve sistematik bir karar süreci önerilmektedir. Bilim merkezinin kuruluşunda veya geçici sergilerin oluşturulmasında kullanılacak sergi düzenegi seçimi de benzer şekilde küratör veya yöneticilerin deneyimlerine bağlı bir biçimde ve sezgisel süreçler izlenerek yapılmaktadır. Bilim merkezlerinde yapılacak planlamada sanat müzelerinden farklı ölçütler ve amaçlar kullanılması gereklidir ve sergi düzeneklerinin seçimini portföy oluşturma bakış açısıyla, çok ölçütlü olarak ve bütünsel bir yaklaşımla modellemek, sağlanacak faydayı maksimize etmek ve kaynakları etkin kullanmak açısından önem taşımaktadır.

Genel olarak literatür incelendiğinde; Bilim Merkezleri, Bilim Müzeleri ve Müzelerde sergi oluşturma aşamasında hangi düzeneklerin/eserlerin seçilmesinin en uygun konfigürasyonu oluşturacağı konusunda literatürde sınırlı sayıda çalışma görülmektedir. Çalışmaların esas bölümünü düzenek tasarım ilkeleri, hitap edilen kitlenin özellik ve ihtiyaçları, ziyaretçi davranışlarının analiziyle sergi etkinliklerinin ilişkilendirilmesi, tasarımda kaçınılmaz gereken hatalar, öğrenme ve düzenekler arasındaki ilişki, düzenek tasarımı süreci, bu süreçte ekip çalışması ve çalışma

planının oluşturulmasının önemi gibi konular oluşturmaktadır. Çalışmalarda konu daha çok küratoryal boyutta ele alınmakta, müzelerde ve bilim merkezlerinde oluşturulacak geçici sergiler için sergi düzeni seçimi ölçütleri tanımlanmaktadır. Bilim Merkezi ve Bilim Müzeleri için düzenek seçimine ilişkin çok az sayıda çalışmada ise düzenek seçiminde dikkat edilmesi gereken unsurlara değinilmekte, seçim işleminin çok disiplinli bir ekipçe yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bilim düzeneklerinin geliştirilmesine yönelik literatür incelemesi Bobbe ve Fischer'in çalışmasında görülebilir. Bu çalışmada sergi tasarımının tarihçesi ve etkin bir bilim sergisinin taşıması gereken pedagojik özellikler de ayrıntılı olarak anlatılmıştır [16].

Literatürde yer alan çalışmaların genel olarak düzenek tasarımı konusunda olduğu, sergileme amaçlı bir portföyün seçimine yönelik sayısal bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda sergi etkinliklerinin artırılmasına yönelik ilkelerin oluşturulduğu ve tartışıldığı anlaşılmaktadır. Güncel uygulamada sergi oluşturma işlevinin küratörler ve/veya müze yöneticilerinin deneyim ve sezgilerine dayalı olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Bilim merkezleri, sağlayacakları yararın enbüyüklenmesi amacıyla genel olarak şehir merkezlerinde yer alan geniş yapılarıdır. İçerdikleri düzenekler de göz önüne alındığında önemli yatırım maliyetleriyle karşılanmaktadır. Bilim merkezlerinin maliyet etkinlikleri açısından kişisel deneyim ve sezgiler önemli olmakla birlikte, küratör ve müze yöneticilerinin karar süreçlerine katkıda bulunacak sayısal modellere dayalı seçim yaklaşımları da önem kazanmaktadır. Bu çalışmada düzenek seçimi amacıyla 0-1 tam sayılı programlama modelini esas alan ve sırt çantası problemi yaklaşımını kullanan bir model önerilmektedir. Literatürdeki çalışmalardan bilim merkezlerinin belirli bir misyon çerçevesinde tasarlanması ve kurulması gerektiği, eğiticilik yönlerinin yanı sıra ilgi çekicilik düzeylerinin de yüksek olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle model önerimizdeki amaç fonksiyonları olarak, seçilecek düzeneklerin bilim merkezi için belirlenmiş ana temaya uygunluğunun maksimizasyonu, eğiticilik düzeyinin maksimizasyonu ve ilgi çekicilik düzeyinin maksimizasyonu esas alınmıştır. Modelin kısıtları ise gerçek yaşama paralel olarak ilk yatırım bütçesi, mevcut alan ve yıllık işletme giderleridir.

Çalışmanın 2. bölümünde öncelikle düzenek seçimi literatürü özetlenmiş; önerilen modelin amaç fonksiyonlarını oluşturmak üzere, bilim merkezi düzenek ve sergilerinin taşıması gereken özellikler belirlenmiştir. Ardından önerilen çok ölçütlü 0-1 tamsayılı programlama modeli tanıtılmaktadır. 3. bölümde çözüm sürecine ilişkin akış şeması sunulmakta, örnek bir problem için süreç izletilmektedir. Ayrıca modelin çözüm performansını gözlemleyebilmek amacıyla oluşturulan farklı senaryolara ait problemler çözülmekte ve sonuçlar yorumlanmaktadır. Çalışmanın son bölümünde ise bir önceki bölümde oluşturulan senaryolar ek kısıtlarla çözülmekte, sonuç ve öneriler sunulmaktadır.

2. Düzenek ve sergi seçimi için çok ölçütlü model (Multiobjective model for exhibition selection)

Bilim merkezleri için düzenek seçimine ilişkin matematiksel bir model önerilmemiş olmakla birlikte, literatürde bir bilim merkezinin barındırması gereken özellikleri vurgulayan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Sergi düzenekleri, bilim merkezlerinin üstlendikleri görevleri yerine getirmelerinde en önemli unsurlardan olduklarından uygun sergi düzeni seçimi ile bilim merkezlerinin topluma sağlayacağı fayda maksimize edilebilir. Aşağıda özetlenen çalışmalardan bilim merkezlerinin belirli bir misyon çerçevesinde tasarlanması ve kurulması gerektiği, eğiticilik yönlerinin yanı sıra ilgi çekicilik düzeylerinin de yüksek olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle model önerimizdeki amaç fonksiyonları olarak, seçilecek

düzeneklerin bilim merkezinin misyonuna uygunluğunun maksimizasyonu, eğiticilik düzeyinin maksimizasyonu ve ilgi çekicilik düzeyinin maksimizasyonu esas alınmıştır.

Kristinsdóttir [17] müze temelli eğitimin karşı karşıya olduğu değişimler ve belirsizlikler içerisinde nasıl sürdürülebileceğini tartıştığı çalışmada; müzelerin eğitime yönelik bir iddiaları var ise bunu destekleyen bir misyonlarının da bulunması gerektiğini belirtmektedir. Eğitime yönelik misyonun müzenin diğer alanlardaki misyonları ile de iç içe sürdürülmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Aynı makalede önceki yıllarda daha yüksek ağırlığa sahip olan eğitim fonksiyonunun zaman içerisinde azaldığı ilgi çekicilik ve eğlence fonksiyonunun ise artmakta olduğu değerlendirilmektedir.

Cheng, ilginin hem öğrenmeyi hem de öğrencilerin bilime karşı tutumlarını ve kariyer seçimlerini de etkilediğini belirterek; bu nedenle, geleceğin karmaşık zorluklarıyla baş edebilmek için öğrencilerin bilime olan ilgi ve tutumlarını hızla geliştirmek gerektiğini ifade etmektedir. Çalışmada toplam 52 lise öğrencisi ile bir bilim müzesinde yapılan tek günlük atölye çalışmasının sonucu olarak okul dışı fen derslerinin tasarımı ve öğretimi için öneriler sunulmaktadır [18]. Hsieh vd. ilgi çekici düzenek tasarımları için bir takım çıkarım genellemeler yapabilmek amacıyla ziyaretçi göz hareketlerinin izlenmesi ve bakış sabitlenmesinin tespitini yapan bir yöntem kullanmışlar ve önerdikleri yöntemin iyi bir gösterge olduğunu belirtmişlerdir [19]. Caporaso vd. 'nin çalışmasında, çocukların müzeler ve bilim merkezlerindeki öğrenme sürecine ilişkin bir araştırma yer almaktadır: İki düzenekli bir sergide, farklı sergi tasarımı yöntemlerinin sağladığı etkileşim ve ebeveyn katılım düzeyleri açıklanmakta ve her tür etkileşimi teşvik eden tek bir ideal tasarım olmadığı belirtilmektedir [20]. Quiang'ın çalışmasında çocukların farklı tasarıma sahip dijital sergilerle olan etkileşimleri ortalama etkileşim süreleri dikkate alınarak analiz edilmekte ve daha uzun etkileşim süresi sağlayabilecek sergi tasarımları için ipuçları verilmektedir [21]. Pedretti [22]'nin çalışması bilim müzeleri ve bilim merkezlerinin geçmişten günümüze geçirdiği değişimi ayrıntılı şekilde anlatmaktadır. Günümüzde bilim merkezlerinin belirli bir misyona yönelik tasarlanmaları gerektiğini ve içerdikleri sergi ve düzeneklerin bilimsel motivasyon, çoklu zeka kuramına bağlı öğrenme çeşitliliği, farklı sunuş biçimlerinin içerilmesi, bir hikayesinin veya tezinin olması, aktif öğrenme biçimlerinin sunulması gibi ölçütlere göre seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Lee ve diğerleri bilim merkezi temelli eğitimin COVID-19 pandemisinde dijital sergiler aracılığıyla yapıldığını ve bu sergilerin de istenen yararı üretebilmesi için canlı sergilerle benzer özellikleri taşıması gerektiğini ifade etmiştir [23]. Vassilakis vd. [24] de, her bir sergi düzeni için ayrı hikayesi olması gerektiği gibi, düzeneklerin bir arada kullanılarak farklı hikayeler anlatılabileceğini ifade etmektedir. Whitney'in çalışmasında, kullanıcı deneyimleri konusundaki bir uzmanla yaptığı mülakat özetlenmekte ve müzelerin mesajlarını daha iyi iletebilmesi için oluşturması gereken hikayelerin özelliklerinden söz edilmektedir [25]. Kamariotou vd. [26]'nin çalışmasında son dönemlerde teknolojinin de çok hızlı gelişimiyle sayıca çok artan sanal sergiler için de klasik sergi örneklerinde olduğu gibi, stratejik planlamanın gerekliliği ve katılımcılığın artan önemi anlatılmaktadır.

Kabassi [27] müzelerin web sitelerini beş farklı karar analizi tekniği ile değerlendirmiş ve yöntemlerin duyarlılık analizlerini yapmıştır. Ana değerlendirme ölçütleri olarak kullanım kolaylığı, fonksiyonellik ve mobil etkileşim tanımlanmıştır, ana ölçütlerin alt başlıkları olarak da, site tasarımı, hatasızlık, navigasyon kolaylığı, kalite, etkileşim düzeyi, öğrenme etkinliği ve ilgi çekici olma gibi ölçütlerin kullanıldığı görülmektedir.

Hooper-Greenhill [28], Müze ve Galeri Eğitimi adlı kitabında müzelerin eğitim rolünün gelişimini 19. Yüzyılın başından 20.

Yüzyılın sonuna kadar incelemiş ve geleceğe yönelik önerilerde bulunarak “müze eğitimi” için uygun çalışma yöntemlerini anlatmış ve stratejiler sunmuştur. Müzelerin eğitim fonksiyonları ile katılımcıların bilgi birikimini desteklemesinin yanı sıra katılımcıların yaratıcılıkları üzerinde de önemli etkileri olduğu bilinmektedir [29]. Kırıcı'nın çalışmasında müzelerin üstlendiği eğitim rolünden ve ziyaretçi çekebilmek için davetkar bir görünümünün olması gerektiğinden söz edilmektedir [30]. Tran ve King'in [31] müze eğitimlerinin rollerini tartıştığı makalesinde öğretmenlerin okul grupları, aileler ve bireysel ziyaretçiler için programlar tasarlamak ve uygulamak, çeşitli iletişim ve sunuş yöntemleriyle ziyaretçiler ile ilişkiler kurarak müzenin ilgi çekiciliğini arttırmak gibi görevlerinin yanı sıra sergi ve düzeneklerin tasarım ve geliştirme süreçlerine katılım sağladıkları da vurgulanmaktadır.

Bilimin yapısı ve yeniden yapılandırılması ile sergi tasarımı arasındaki ilişkiyi süreç odaklı bir yaklaşımla irdeleyen ve bilimsel esasların en iyi şekilde ifade edilmesini sağlamak üzere düzenek geliştirme ve tasarımı süreci arasındaki ilişkiyi tanımlayan yapılar öneren çok sayıda çalışma bulunmaktadır [32-35].

King vd.'nin ziyaretçiler için daha anlamlı içerik sunabilecek müzelerin tasarımına yönelik çalışmasında müze sergisi deneyimi hem müze hem de ziyaretçi açısından ele alınmakta, kullanıcı deneyimine yönelik kapsamlı bir model sunulmaktadır. Oxford Üniversitesi Doğa Tarihi Müzesi'nde (OUMNH) ziyaretçi değerlendirmelerinden elde edilen sonuçlar, müze personelinin değerlendirmeleri ile karşılaştırıldığında, ziyaretçilerin ziyaret motivasyonları ve ziyaret sonuçlarının müzenin sergileme amacından farklı olduğunu göstermektedir [36]. Genel olarak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bilim merkezinin bir misyon çerçevesinde ve bir temayı esas alacak şekilde kurulması gerektiği belirtilmekte; bilim merkezinde bulunan sergi düzeneklerinin ilgi çekici olması, eğitici olması, bir hikayesinin olması, kolay ve anlaşılır olması ve ziyaretçinin aktif olarak sergi düzenine katılım gösterebilmesi istenmektedir. Bu nedenle, düzenekler uygun biçimde seçilerek; kuruluş temasına uygunluğunun yanı sıra, bilim merkezinin eğitimlik ve ilgi çekicilik düzeyleri de maksimize edilmelidir. Elbette bu maksimizasyon işleminde bütçe, yıllık işletme gideri ve kullanılabilir alan en önemli kısıtları oluşturmaktadır.

Yukarıda tanımlanan problem bilimsel olarak ele alındığında temel olarak bir sırt çantası problemi olarak görülmektedir. Seçilecek düzeneklerin belirli bir amaca/ana temaya uygunluğunun maksimizasyonu ve seçilecek düzeneklerin öğreticilik düzeyleri ile ilgi çekicilik düzeylerinin maksimizasyonu amaçları birlikte değerlendirildiğinde problem çok ölçütlü bir sırt çantası problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Klasik sırt çantası probleminden farklı olarak alan kısıtının yanı sıra toplam satın alma bütçesi ve yıllık işletme giderlerine ilişkin kısıtlar da barındırdığından problem aynı zamanda çok boyutlu bir sırt çantası problemidir. Aşağıda sırt çantası problemi ve matematiksel formülasyonu konusunda özet bilgi verilmektedir:

Bir tırmanış için gerekli olabilecek çok sayıda malzeme arasından seçim yaparak çantasını hazırlayacak bir dağcıyı ele alalım. 1'den n'e kadar sıralanan çok sayıda malzemenin her birinin yapılacak tırmanışa kolaylaştırma yönünde pozitif bir P_j katkısı ve doğal olarak bir de W_j ağırlığı bulunacaktır.

Dağcının taşıyabileceği ağırlık üst sınırı da C olarak tanımlansın. Amaç çok sayıda malzeme arasından C'yi geçmemek üzere toplam faydayı maksimize edecek bir N alt kümesinin seçimidir. Modeldeki X_j değişkeninin 1 değerini alması j malzemesinin seçilmiş olduğunu, 0 değerini alması ise seçilmediğini ifade etmektedir. Problem, 0-1 tam

sayılı doğrusal programlama modeli olarak Eş. 1-Eş. 3 ile ifade edilebilir [37].

$$\text{Max } \sum_{j=1}^n P_j X_j \quad (1)$$

$$\text{Kısıtlar } \sum_{j=1}^n W_{1j} X_j \leq C \quad (2)$$

$$X_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

Pozitif katsayılı olması ve içerdiği tek kısıt nedeniyle sırt çantası problemi en basit doğrusal programlama modelleri arasında yer almaktadır. Ancak Eş. 3'de yer alan 0-1 tam sayı koşulları problemi NP- tam sınıfına sokmaktadır [38].

Tanımlanmış olan dağcı örneğinin iş dünyasındaki benzer bir uygulaması yatırım problemlerinde görülmektedir. Elinde C miktarında parası olan bir yatırımcının çok sayıda seçenek içerisinde bir portföy oluşturması da bir sırt çantası problemi olarak modellenebilir. Bu modelde her bir yatırım seçeneğinin maliyeti W_j ile, beklenen net kazancı ise P_j ile ifade edilmektedir.

Sırt çantası probleminin iş dünyasındaki uygulama alanları arasında proje seçim problemleri, kargo yükleme problemleri ve kesme problemleri de yer almaktadır. Gerçek hayat problemlerinde yer alan aciliyet, öncelik, teslim tarihi gibi çeşitli ek kısıtlar temel sırt çantası modeline eklenerek yeni sırt çantası problemleri tanımlanmaktadır. Dağcı örneğinde ağırlık kısıtının yanı sıra sırt çantasının hacimsel kapasitesi ile ilgili bir üst sınır da tanımlandığında problem çok boyutlu sırt çantasına (d-dimensional knapsack problem, multidimensional knapsack problem) dönüşmekte ve Eş. 4-Eş. 7 ile ifade edilmektedir [39].

$$\text{Max } \sum_{j=1}^n P_j X_j \quad (4)$$

$$\text{Kısıtlar } \sum_{j=1}^n W_{1j} X_j \leq C_1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n W_{2j} X_j \leq C_2 \quad (6)$$

$$X_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n \quad (7)$$

P_j , her bir malzemenin tırmanışa katkısını,
 W_{1j} , her bir malzemenin birim ağırlığını,
 C_1 , taşınabilecek ağırlık üst sınırını,
 W_{2j} , her bir malzemenin birim hacmini,
 C_2 , sırt çantasının hacimsel kapasitesini ifade etmektedir.

Çok boyutlu sırt çantası modelinin geliştirilmiş ifadesi Eş. 8-Eş. 10 ile ifade edilebilir.

$$\text{Max } \sum_{j=1}^n P_j X_j \quad (8)$$

$$\text{Kısıtlar } \sum_{j=1}^n W_{ij} X_j \leq C_i, i = 1, \dots, d \quad (9)$$

$$X_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n \quad (10)$$

Dağcı örneğinde tırmanış için seçilecek malzemelerin farklı malzeme grupları içerisinde yer aldığı düşünülürse ve örneğin tırmanış ayakkabıları grubundan bir malzemenin, halatlar grubundan bir halatın vb. seçilmesine ilişkin kısıt konulmak istenirse problem çoktan seçimli sırt çantasına (multiple-choice knapsack problem) dönüşmekte ve genel ifadesi Eş. 11-Eş. 14'deki gibi olmaktadır.

$$\text{Max } \sum_{i=1}^m \sum_{j \in N_i} P_{ij} X_{ij} \quad (11)$$

$$\text{Kısıtlar } \sum_{i=1}^m \sum_{j \in N_i} W_{ij} X_{ij} \leq C \quad (12)$$

$$\sum_{j \in N_i} X_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, m \quad (13)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j \in N_i \quad (14)$$

Bu modelde C taşınabilecek ağırlık üst sınırını ifade etmektedir. Malzeme grupları içerisinde i malzemesinin farklı çeşitleri bulunmakta ve i malzemesinin j çeşidinin ağırlığı W_{ij} ve tırmanışa katkısı ise P_{ij} değeriyle gösterilmektedir.

Klasik sırt çantası probleminde her bir malzeme için tırmanış kolaylaştırma amacına yönelik bir P_j değeri tanımlanmaktadır. Hızlı tırmanma, tırmanış güvenilirliği, iniş kolaylığı vb. gibi birden çok amacın optimize edilmeye çalışıldığı durumlarda ise çok amaçlı sırt çantası probleminin çözümüne ihtiyaç vardır. Bu tür problemlerde her j malzemesinin ($j=1, \dots, n$) t (amaç sayısı) sayıda P_{kj} , $k=1, \dots, t$ katkı değeri ve bir W_j ağırlığı söz konusu olacaktır. Sırt çantasında taşınabilecek ağırlık üst sınırı C dir.

Amaçlar ve kısıtlar açısından bir değerlendirme yapıldığında, bir bilim merkezi için belirli bir ana tema çerçevesinde en uygun düzeneklerin seçimi için kullanılabilir modelin çok amaçlı ve çok boyutlu bir sırt çantası problemi olduğu ifade edilebilir. Amaç fonksiyonları:

- Z₁: Tema uygunluğu (stratejik hedefe uygunluk),
- Z₂: Eğiticiilik düzeyi,
- Z₃: İlgi çekicilik düzeyi.

Kısıtlar ise bilim merkezinin düzenekler için ayrılmış toplam alanı, düzenekler için satın alma bütçesi ve yıllık işletme giderleri için ayrılan bütçeden oluşmaktadır. Ele alınan problemde düzenekler farklı bilim alanları içerisinde seçilebildiğinden ve düzeneklerin bilim alanları arasında dengeli dağıtılması da arzu edildiğinden çok amaçlı, çok boyutlu sırt çantası problemine ek kısıtlar da konulmuştur.

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{j=1}^n s_j X_j \quad s_j ; j. \text{ düzenegin tema uygunluğu} \quad (15)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{j=1}^n e_j X_j \quad e_j ; j. \text{ düzenegin eğiticiilik düzeyi} \quad (16)$$

$$\text{Max } Z_3 = \sum_{j=1}^n h_j X_j \quad h_j ; j. \text{ düzenegin ilgi çekicilik düzeyi} \quad (17)$$

$$\text{Max } Z = \alpha_k Z_1 + \beta_k Z_2 + \delta_k Z_3 \quad (\alpha_k + \beta_k + \delta_k = 1) \quad (18)$$

$\alpha_k, \beta_k, \delta_k$ amaç fonksiyonu ağırlık katsayılarını ifade etmektedir.

$$\text{Kısıtlar } \sum_{j=1}^n W_{1j} X_j \leq A \quad W_{1j}; j. \text{ düzenegin gerek duyduğu alan} \quad (19)$$

A, toplam alanı ifade etmektedir.

$$\sum_{j=1}^n W_{2j} X_j \leq B \quad W_{2j}; j. \text{ düzenegin satın alma fiyatı} \quad (20)$$

B, toplam satın alma bütçesini ifade etmektedir.

$$\sum_{j=1}^n W_{3j} X_j \leq C \quad W_{3j}; j. \text{ düzenegin yıllık işletme gideri} \quad (21)$$

C, yıllık işletme maliyet üst sınırını ifade etmektedir.

$$X_j = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, \quad (j \text{ düzenegi seçilirse } 1, \text{ aksi halde } 0) \quad j = 1, \dots, n \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} X_j \geq 1, \quad i = 1, \dots, d \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} X_j \leq r, \quad i = 1, \dots, d \quad (24)$$

T_{ij} , j düzeneginin i bilim alanı ile ilişkisini göstermektedir. İlişki var ise T_{ij} değeri 1 olmaktadır.

Eş. 15 ile ifade edilen Z_1 amaç fonksiyonu, katalog içerisinde seçilecek düzeneklerin kurulacak bilim merkezinin misyonuna/ana temasına uygunluğunu maksimize etmektedir. Eş. 16 ile ifade edilen Z_2 amaç fonksiyonu, katalog içerisinde seçilecek düzeneklerin toplam eğiticiilik düzeyini maksimize etmektedir. Eş. 17 ile ifade edilen Z_3 amaç fonksiyonu, katalog içerisinde seçilecek düzeneklerin toplam ilgi çekicilik düzeyini maksimize etmektedir. Eş. 18 ile ifade edilen Z , ağırlıklandırılarak birleştirilmiş amaç fonksiyonunu maksimize etmektedir [37, 39]. Eş. 19 ile ifade edilen kısıt, seçilen düzeneklerin bilim merkezinde belirlenmiş olan toplam alanı aşmamasını sağlamaktadır. Eş. 20 ile ifade edilen kısıt, seçilen düzeneklerin belirlenmiş satın alma bütçesini aşmamasını sağlamaktadır. Eş. 21 ile ifade edilen kısıt, seçilen düzeneklerin yıllık işletme giderleri toplamının belirlenmiş işletme maliyeti bütçesi içerisinde kalmasını sağlamaktadır. Eş. 22 bir düzenegin seçilip seçilmediğini belirlemeye yönelik kısıttır. Eş. 23 ile kısıt oluşturulacak portföye her bilim alanından en az bir düzenek seçilmesi garantisi altına alınmaktadır. Eş. 24 ile ifade edilen kısıt, düzeneklerin portföyde farklı bilim alanlarını temsil etmek üzere dengeli seçimini sağlamak için kullanılmaktadır ve her bilim alanından belirlenen sayıdan (r) fazla düzenek seçilmesini engellemektedir. Bilim merkezi ziyaretçilerinin farklı yaş grupları ve eğitim düzeylerine dağılmış olduğu bilinmektedir. Kurulacak bilim merkezinin veya oluşturulacak serginin belirli bir yaş grubu veya eğitim düzeyine hitap etmesi amacıyla düzenek seçimlerinin ziyaretçilerin eğitim düzeyleri ile ilişkilendirilmesi de istenebilir.

Bu durumda Eş. 25 ve Eş. 26 kısıtları aracılığıyla toplam satın alma bütçesi veya toplam alanın farklı eğitim düzeylerine hitap eden düzenek gruplarına istenilen oranlarda dağılımı sağlanabilir.

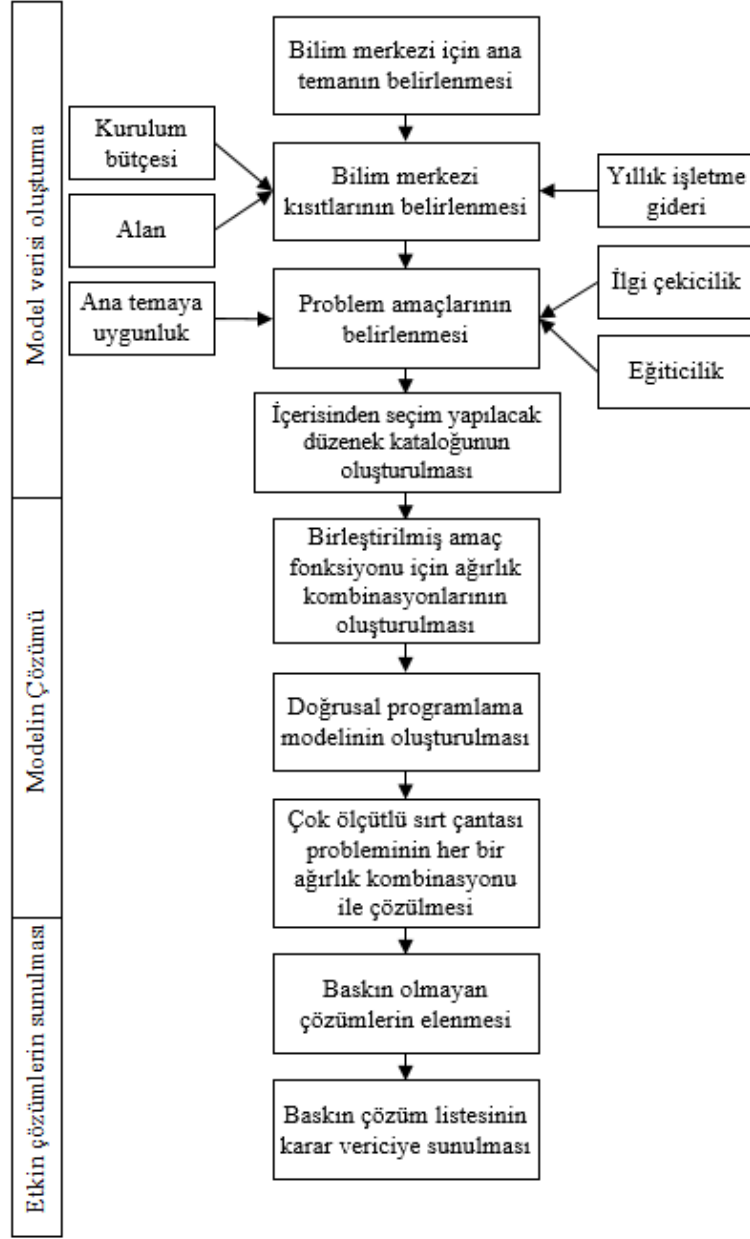
$$\sum_{j=1}^n a_{jl} X_j \leq A_l \quad l = 1, \dots, m \quad (m; \text{ eğitim düzeyi sayısı}) \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^n b_{jl} X_j \leq B_l \quad l = 1, \dots, m \quad (m; \text{ eğitim düzeyi sayısı}) \quad (26)$$

3. Modelin uygulaması (Application on a case study)

Önerilen yaklaşım temel olarak, modele girdi sağlayacak verilerin elde edilmesi, baskın çözüm kümesi oluşturmak amacıyla modelin farklı amaç ağırlık kombinasyonları ile çözümü ve baskın olmayan çözümlerin elenerek karar vericiye Pareto optimal çözümlerin sunulması şeklinde özetlenebilecek üç adımdan oluşmaktadır. Çözüm yaklaşımının genel çerçevesi Şekil 1’de yer almaktadır. Sürecin adımlarını gösterebilmek amacıyla örnek bir problemin çözümü aşağıda verilmektedir.

“Enerji” temasının, Bilim Merkezlerinin son dönemlerde üzerine yoğunlaştıkları bir konu olması nedeniyle, önerilen model “Enerji” alanında bir bilim merkezi oluşturma senaryosu üzerinden test edilmiştir. Dünyadaki önde gelen düzenek tasarımcısı ve üreticisi olan Exploratorium ‘un katalogu [40] esas alınarak, katalogda yer alan her bir düzenek için yatırım maliyeti, işletme için gerek duyulan alan, yıllık işletme gideri, düzenegin gerektirdiği bilgi seviyesi, eğiticiilik ve öğreticiilik düzeyi, ilgi çekicilik düzeyi, enerji temasına uygunluk düzeyi ve hangi bilim alanı içerisinde yer aldığı belirlenmiş; gereken durumlarda uzman görüşüne başvurulmuştur. Sözü edilen düzenek listesi Tablo 1’de görülmektedir. Tabloda, katalogda yer alan ve modelin verilerini oluşturan düzeneklere ait satın alma fiyatı, alan ihtiyacı, yıllık işletme maliyeti, ilgili olduğu eğitim düzeyi, enerji konseptine uygunluk, ilgi çekicilik düzeyi ve eğiticiilik düzeyleri yer



Şekil 1. özüm yaklaşımının genel çerçevesi (Framework of the solution process)

almaktadır. Düzenek aracılığıyla aktarılmak istenen bilginin anlaşılabilirliği için ilköğretim düzeyinde bilgi sahibi olmak yeterliyse; düzenegin “gerektirdiği bilgi seviyesi”, 1; ortaöğretim düzeyinde bilgi gereklirse, 2 ve yükseköğretim düzeyinde bilgiye ihtiyaç duyuluyorsa, 3 olarak tanımlanmıştır. Konsepte uygunluk, 1-5 aralığında 5’li ölçekle değerlendirilmiştir: Düzenegin, bilim merkezinin kuruluş ana teması olan “enerji” alanı ile uyum düzeyine bağlı olarak, en yüksek ilişki 5 ile tanımlanmaktadır. Benzer şekilde, düzenegin “ilgi çekicilik düzeyi” ve “eğitcilik-öğreticilik düzeyi” de 1-5 aralığında artan değerlerle ifade edilmektedir. Küme olarak ifade edildiğinde (1-5) aralığındaki değerler {çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek} tanımlarına karşılık gelmektedir. İlk aşamada küçük ölçekli bir problem en genel haliyle ve ek kısıtlar konulmadan özölmüştür. Diğer bir ifadeyle tüm bütçe ve tüm alan eğitim düzeylerinden bağımsız olarak kullanılabilir, ayrıca düzeneklerin farklı bilim alanlarından seçilerek çeşitlilik sağlanması

gerekmemektedir. Model üzerinden ifade edilirse, çözümde Eş. 15-Eş. 22 arasındaki eşitlikler kullanılmakta, Eş. 23-Eş. 26 bu aşamada kullanılmamaktadır. Örnek problem için modelin kısıtlarını oluşturan veriler Tablo 2’de görölmektedir. Tablodaki parasal birimler Euro, Alan birimleri m^2 olarak tanımlanmaktadır. Toplam alan ve farklı eğitim düzeylerine hitap eden düzenekler için ayrılan alanların eşit olması, özel bir kısıt konulmadığı, tüm alanın esnek olarak kullanılabilceği anlamına gelmektedir. Çok amaçlı optimizasyon problemleri karar vericinin sahip olduğu bilgi ve tercihlere bağlı olarak üç farklı yaklaşımla özölünebilmektedir: “A Priori” yöntemlerde karar verici farklı amaçların önem düzeylerini veya öncelik sırasını başlangıçta verebilmektedir. “A Posteriori” yöntemlerde ise karar verici çözüm süreci sonunda elde edilen çok sayıda baskın çözüm arasından tercih yapabilmektedir. Etkileşimli yöntemlerde ise arama yönü karar vericinin tercihlerine göre şekillenmekte ve çözüm uzayının belirli bir bölgesinde ayrıntılı arama yapılmaktadır.

Tablo 1. Katalog verileri (Catalog data)

Düzenek No	Fiyat (Euro)	Alan (m2)	İşletme Maliyeti (Euro)	Gerekli Bilgi Düzeyi	Temaya Uygunluk	İlgi Çekicilik Düzeyi	Eğitcilik Öğreticilik Düzeyi	İlgili Bilim Alanları
d1	3250	8	100	1	2	5	4	1,8,14,17,20,21
d2	2340	5	50	1	3	5	1	1,4,12,14,18,20
d3	1260	10	100	1	1	4	2	13
d4	657	7,5	50	1	2	2	1	17,18,19,21
d5	756	2,5	75	2	4	5	4	5,6,12,16,17,20
d6	4140	21	15	2	3	4	5	6,8,14,20,21
d7	153	45	150	1	1	3	4	4,11,18
d8	1890	7	10	1	1	4	3	12,18
d9	3330	3,5	100	2	3	5	3	4,5,6,12,20,21
d10	8064	35	500	1	3	5	5	4,8,14,15,16,19,21
d11	4410	12,5	100	1	1	3	4	4,12,18
d12	3780	20	20	1	1	4	2	3,19,21
d13	12350	50	600	2	3	4	4	7,14,15,19
d14	6850	20	100	2	4	4	5	4,6,7,15,18,19,20
d15	5650	30	250	2	4	4	4	14,15,19,20,21
d16	7500	15	150	1	1	5	5	14,19,21
d17	12200	33	700	2	3	3	5	7,14,19,21
d18	11350	41	750	2	2	3	4	8,14,19
d19	8235	26	550	1	3	5	5	2,6,10,18
d20	3350	2,5	150	2	4	5	4	2,4,6,9,10,12,18
d21	5550	10	150	2	2	5	4	2,10,18
d22	8660	25	100	2	1	4	4	2,10,17,18
d23	13350	75	150	2	1	5	5	2,1
d24	1500	28	1000	1	2	5	3	2,9,12
d25	30000	200	650	1	2	5	4	10,12,17,18
d26	6550	15	350	1	3	4	4	7,8,14,20
d27	3300	5	50	1	5	3	5	6,9,12
d28	5500	12,5	400	3	4	3	4	5,7,8,9,14,16,18,20
d29	7850	75	850	1	2	4	5	8,14,17,18,20
d30	60100	50	550	2	5	5	5	3,5,6,14
d31	1200	5	100	2	5	4	4	3,5,6,13,17,18
d32	760	15	50	2	5	3	4	5,6,18
d33	8350	7,5	50	3	5	3	4	5,6,16,18
d34	2250	5	50	2	5	4	5	3,5,6,13,18
d35	5650	24	150	1	5	5	2	5,6,12,15
d36	6330	15	250	1	4	4	4	6,14,15,19,21
d37	2450	5	50	1	4	4	2	6,7,14,17,18
d38	8850	25	300	2	5	4	4	1,8,14,17,20,21
d39	19164	28	350	2	2	4	5	6,13,14,15,21
d40	19560	24	300	2	2	5	4	2,10,17,18
d41	4787	12,5	50	1	5	3	4	2,3,10,17,18
d42	4530	7,5	50	2	4	2	3	6,17,18,19
d43	7180	15	50	2	4	2	3	1,7,13,14,15
d44	2869	17,5	100	1	4	4	4	1,7,13,15,21
d45	7652	55	150	1	1	4	2	4,6,12,18
d46	23450	10	50	1	1	4	5	2,3,4,12,17,18,19,21
d47	25500	20	50	1	2	5	3	14,15,17,18
d48	4785	50	75	1	4	4	4	14,15,17,18
d49	2500	25	400	1	4	4	3	6,7,14,15,16,17,21
d50	14600	50	650	1	4	5	4	8,18,21
d51	750000	1200	75000	2	5	5	4	6,8,14,16,19,21
d52	125000	150	30000	2	4	5	4	2,3,4,6,9,11,12,17,18,19,21
d53	1500000	3300	100000	2	4	5	4	2,3,6,10,18,19
d54	15000	25	10000	1	2	5	3	2,4,6,9,12,16,17,18,19,21
d55	18500	15	50	1	3	5	3	2,17,18,19,21
d56	35450	75	15000	1	1	5	2	2,17,18
d57	25530	120	12000	1	4	4	4	2,18,19
d58	28400	75	150	2	4	4	5	2,3,6,9,16
d59	4250	66	1000	1	5	5	4	1,6
d60	4400	150	1200	1	3	5	3	3,6,16,17,18
d61	5500	50	1500	3	4	1	5	3,4,14,16,17,18
d62	25000	90	500	2	4	5	4	3,6,9,17,18
d63	7500	40	700	2	4	4	5	6,9,14,21
d64	8200	50	500	2	3	4	5	6,8,9,14
d65	7500	75	800	1	3	5	4	7,14,17,18,20
d66	9250	65	500	2	4	3	5	7,8,14,17,18,20
d67	5500	25	500	2	3	4	4	1,9,12

d68	7250	60	350	2	2	4	4	1,6,9,18
d69	500	15	5	1	1	3	4	2,3,10,14,16,18
d70	7000	40	150	3	2	3	5	2,10,16,18
d71	6500	20	20	2	3	4	4	2,4,17,18
d72	10000	32	50	2	5	4	5	8,14,16
d73	50000	15	50	3	5	2	4	6,9,14
d74	15000	25	55	2	4	5	5	3,5,6,12,14,18,21
d75	17000	25	100	3	5	4	4	6,14,16,17,18,21

Tablo 2. Örnek Problem verileri (Data for case problem)

Problem kısıtı	Değer
Toplam Bütçe	39000 Euro
Alan	800 m2
İşletme maliyeti	1200 Euro
İlköğretim ve okul öncesi için alan	800 m2
Ortaöğretim için alan	800 m2
Yükseköğretim için alan	800 m2
İlköğretim ve okul öncesi için bütçe	39000 Euro
Ortaöğretim için bütçe	39000 Euro
Yükseköğretim için bütçe	39000 Euro

Son dönemlerde yapılan çalışmaların “A Posteriori” yöntemler kullanılarak yapıldığı gözlenmektedir [41]. Çok amaçlı problemlerin bu yaklaşımla çözümünde baskın çözümlerin olabildiğince büyük bir kümesinin (pareto front) elde edilmesi karar vericiye daha geniş bir seçenek listesi sunacaktır. Bu grupta yaygın kullanılan yöntemler arasında epsilon kısıt yöntemi [42], farklı ağırlık kümelerinin kullanıldığı ağırlıklandırma yöntemi [43], hedef programlama [44] ve bulanık programlama [45] yaklaşımları sayılabilir. Önerilen modelde seçilen düzeneklerin enerji temasına uygunluğunun maksimizasyonu, seçilen düzeneklerin toplam ilgi çekicilik düzeyinin maksimizasyonu ve toplam eğiticilik düzeyinin maksimizasyonu hedeflendiğinden söz konusu üç amaç, toplamı bir amaç fonksiyonu şeklinde ifade edilmiştir.

Üç farklı amaca ait katsayı değerleri benzer ölçeklerle ifade edildiğinden, normalizasyon işlemine ihtiyaç duyulmamıştır. Karar vericiye baskın çözüm yüzeyi sunarak tercih ettiği çözümü kullanabilmesi amacıyla problem farklı amaç ağırlığı kombinasyonları kullanılarak 66 kez çözülmüş ve tüm bu çözümler arasından baskın olmayanlar elenerek baskın çözüm yüzeyi elde edilmiştir. 0,1 birim artış aralıklarıyla oluşan 66 ağırlık kombinasyonu Tablo 3’de görülmektedir. Problemin tüm ağırlık kombinasyonlarıyla çözümlenip baskın çözümlerin seçilmesi için gereken işlem süresi i5-7200U CPU 2,50 GHz 8 Gb RAM konfigürasyonlu bir bilgisayarda 5,9 sn olmuştur.

Belirtilen ağırlık kombinasyonları ile elde edilen tüm çözümler içerisinde baskın olmayanlar elendiğinde Tablo 4’te verilen 5 baskın çözüm elde edilmiştir. Her bir çözüm için seçilen düzenek numaraları ilgili çözüm sütunlarında verilmektedir. Ayrıca çözümlerin üç farklı amaç fonksiyonu için sağladığı değerler ve her bir çözümün kaynak kullanım miktarları da aynı tabloda topluca görülmektedir. Tablo incelendiğinde amaç fonksiyonları için en büyük ve en küçük değerlerin temaya uygunluk için 59 ve 48, ilgi çekicilik için 69 ve 63, eğiticilik için 63 ve 56 olduğu görülmektedir. Toplam yatırım bütçesi ve yıllık işletme giderlerinin kat kaynaklar olarak ortaya çıktığı, alanın ise bol kaynak olduğu söylenebilir. Model en genel haliyle çözümlenip ek kısıtlar konmadığından ilköğretim ve okul öncesi ile ortaöğretime yönelik düzeneklerin seçilmiş olduğu ancak yükseköğretime yönelik düzenek seçilmediği görülebilir. Tüm çözüm seçeneklerinde 17 düzeneğin seçildiği görülmektedir. Sonraki aşamada model, farklı büyüklükteki problemlere ait çözüm süreleri ve baskın çözüm sayılarını gözlemlenmek amacıyla yine en genel haliyle

ve ek kısıtlar konulmadan çözülmüştür. Problemlerin sistematik olarak üretilebilmesi için bütçe, alan ve işletme giderlerinin Tablo 5’te verilen iki seviyesinin tüm kombinasyonlarını kullanarak sekiz farklı problem oluşturulmuştur.

Oluşturulan problemlerin çözümü sonunda ortaya çıkan baskın çözüm sayıları, çözüm süreleri ve farklı amaç fonksiyonları için elde edilen en büyük değerler Tablo 6’da toplu olarak verilmektedir. Çözümlerde i5-7200U CPU 2,50 GHz 8 Gb RAM konfigürasyonlu bilgisayar kullanılmıştır. Tablo incelendiğinde amaç fonksiyonu değerlerinin ilk dört problem için eşit olması bütçe kısıtının ana kısıtlayıcı olduğunu göstermektedir. Bu problemlerdeki baskın çözüm sayıları diğer kısıtlara bağlı olarak değişmektedir. Çözüm süreleri modelin gerçek hayat problemlerinin çözümünde rahatlıkla kullanılabilirliğini göstermektedir. Oluşan baskın çözüm sayıları da karar vericilerin geniş bir çözüm havuzundan seçim yapmalarına olanak sağlayacak büyüklüktedir.

Modeli test etmek amacıyla oluşturulan bir diğer problem Tablo 6’da yer alan Pr9’dur. Bu problemde bütçe, alan ve işletme maliyetine ait kısıt değerleri çok büyük seçilerek çözüm elde edilmiştir. Bu durumda tüm çözüm seçeneklerinde tüm düzenekler seçildiğinden beklendiği gibi tek bir baskın çözüm elde edilmiştir.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Bir önceki bölümde çözülen problem sonuçlarına dayanılarak, önerilen modelin sunduğu baskın çözüm sayısı ve çözüm süresi açısından bilim merkezlerine düzenek seçimi için kullanılmaya uygun olduğu söylenebilir. Böylece model aracılığıyla, bütçe, alan ve işletme maliyeti kısıtları altında ilgi çekicilik ve eğiticilik düzeyi yüksek düzeneklerden belirli bir temaya yönelik olarak portföy oluşturmak mümkün olacaktır.

Genel bakış açısının ardından gerçek hayatta sıklıkla rastlanabilecek birtakım kısıtların da dikkate alınması gereklidir. Bilim merkezi ziyaretçilerinin farklı yaş grupları ve eğitim düzeylerine dağılımı olduğu bilinmektedir. Gerçek hayatta karşılaşılabilecek ihtiyaçlardan ilki, oluşturulacak bilim merkezinin farklı eğitim düzeylerindeki ziyaretçilere hitap etmesidir. Kurulacak bilim merkezinin veya oluşturulacak serginin belirli bir yaş grubu veya eğitim düzeyine hitap etmesi amacıyla düzenek seçimlerinin ziyaretçilerin eğitim düzeyleri ile ilişkilendirilmesi istenebilir. Örneğin, Yasar ve Gürel’in çalışmasında çeşitli düzeneklerin çalışma ilkeleri konusunda farklı bilgi düzeylerine sahip kullanıcıların, deneyimleri sonucunda ulaştıkları yeni bilgi düzeyleri araştırılmış ve düzeneklerden elde edilen yararlar araştırılmıştır [46].

Bu durumda Eş. 25 ve Eş. 26 kısıtları aracılığıyla toplam satın alma bütçesi veya toplam alanın farklı eğitim düzeylerine hitap eden düzenek gruplarına istenilen oranlarda dağılımı sağlanabilir. Önceki bölümde çeşitli senaryoları deneyebilmek amacıyla oluşturulan problemlerde toplam alan ve toplam bütçeyi farklı eğitim düzeylerine paylaştırabilmek amacıyla ek kısıtlar konularak problemler çözülmüştür. Ek kısıtlar konularak yapılan çözümlere ait baskın çözüm sayıları, çözüm süreleri ve farklı amaç fonksiyonları için elde edilen en büyük değerler Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 3. Birleştirilmiş amaç fonksiyonu ağırlık kombinasyonları (Weight combinations for combined objective function)

Ağırlık Küme No	Ama1 Ağırlığı	Ama2 Ağırlığı	Ama3 Ağırlığı	Ağırlık Küme No	Ama1 Ağırlığı	Ama2 Ağırlığı	Ama3 Ağırlığı	Ağırlık Kme No	Ama1 Ağırlığı	Ama2 Ağırlığı	Ama3 Ağırlığı
1	0	0	1	23	0,2	0,1	0,7	45	0,4	0,6	0
2	0	0,1	0,9	24	0,2	0,2	0,6	46	0,5	0	0,5
3	0	0,2	0,8	25	0,2	0,3	0,5	47	0,5	0,1	0,4
4	0	0,3	0,7	26	0,2	0,4	0,4	48	0,5	0,2	0,3
5	0	0,4	0,6	27	0,2	0,5	0,3	49	0,5	0,3	0,2
6	0	0,5	0,5	28	0,2	0,6	0,2	50	0,5	0,4	0,1
7	0	0,6	0,4	29	0,2	0,7	0,1	51	0,5	0,5	0
8	0	0,7	0,3	30	0,2	0,8	0	52	0,6	0	0,4
9	0	0,8	0,2	31	0,3	0	0,7	53	0,6	0,1	0,3
10	0	0,9	0,1	32	0,3	0,1	0,6	54	0,6	0,2	0,2
11	0	1	0	33	0,3	0,2	0,5	55	0,6	0,3	0,1
12	0,1	0	0,9	34	0,3	0,3	0,4	56	0,6	0,4	0
13	0,1	0,1	0,8	35	0,3	0,4	0,3	57	0,7	0	0,3
14	0,1	0,2	0,7	36	0,3	0,5	0,2	58	0,7	0,1	0,2
15	0,1	0,3	0,6	37	0,3	0,6	0,1	59	0,7	0,2	0,1
16	0,1	0,4	0,5	38	0,3	0,7	0	60	0,7	0,3	0
17	0,1	0,5	0,4	39	0,4	0	0,6	61	0,8	0	0,2
18	0,1	0,6	0,3	40	0,4	0,1	0,5	62	0,8	0,1	0,1
19	0,1	0,7	0,2	41	0,4	0,2	0,4	63	0,8	0,2	0
20	0,1	0,8	0,1	42	0,4	0,3	0,3	64	0,9	0	0,1
21	0,1	0,9	0	43	0,4	0,4	0,2	65	0,9	0,1	0
22	0,2	0	0,8	44	0,4	0,5	0,1	66	1	0	0

Tablo 4. Baskın çözümler listesi (List of nondominated solutions)

	Baskın zm1	Baskın zm2	Baskın zm3	Baskın zm4	Baskın zm5		
Ağırlık deseni	0	0	0	0	0,5		
	0,1	0,4	0,6	0,8	0,2		
	0,9	0,6	0,4	0,2	0,3		
zm değeri	63,1	63,6	64,6	66,4	59,8		
Temaya uygunluk amaç fonk. değeri	56	51	56	48	59		
İlgi ekicilik amaç fonk. değeri	64	66	67	69	63		
Eğiticilik amaç fonk. değeri	63	62	61	56	59		
Maliyet kaynağı kullanımı	38357	38230	37980	38960	38632	≤	39000
Alan kullanımı	233,5	239,5	219,5	229,5	184,5	≤	800
İşletme maliyeti kaynağı kullanımı	1180	1200	1180	1200	1195	≤	1200
İlköğretim ve okul öncesi için alan kullanımı	182,5	185	165	190	122,5	≤	800
Ortaöğretim için alan kullanımı	51	54,5	54,5	39,5	62	≤	800
Yükseköğretim için alan kullanımı	0	0	0	0	0	≤	800
İlköğretim ve okul öncesi için bütçe kullanımı	25901	22444	22194	23934	18316	≤	39000
Ortaöğretim için bütçe kullanımı	12456	15786	15786	15026	20316	≤	39000
Yükseköğretim için bütçe kullanımı	0	0	0	0	0	≤	39000
Seçilen düzenek numaraları:	1	1	1	1	2		
	3	3	2	2	3		
	4	4	4	3	4		
	5	5	5	4	5		
	6	6	6	5	6		
	7	7	7	6	7		
	8	8	8	7	9		
	20	9	9	8	20		
	27	12	20	9	27		
	31	20	27	12	31		
	32	27	31	20	32		
	34	31	32	31	34		
	37	32	34	34	37		
	41	34	37	37	41		
	44	44	44	44	42		
	48	48	48	48	44		
	69	69	69	69	69		

Tablo 5. Kısıtlar için seviyeler (Levels for constraints)

Kısıtlar	Seviye1	Seviye2
Toplam bütçe kısıtı (Euro)	100000	300000
Alan kısıtı (m ²)	1000	3000
İşletme maliyeti kısıtı (Euro)	10000	25000

Tablo 7'deki sonuçlar, Tablo 6'da yer alan sonuçlarla karşılaştırıldığında konulan ek kısıtlar nedeniyle amaç fonksiyonu değerlerinde azalışlar olduğu belirtilebilir. Ancak bu azalışa karşılık olarak düzeneklerden oluşan portföy farklı eğitim düzeylerinden ziyaretçilere hitap edecek şekilde oluşmuştur. Elde edilen baskın çözüm sayıları karar vericinin iyi bir seçim yapabileceği büyüklüktedir.

Gerçek hayatta karşılaşılabilecek bir diğer istek de çeşitliliği artırmak amacıyla düzeneklerin farklı bilim alanlarından seçilmesi olabilir. Tanımlanan modelde, düzeneklerin fizik, kimya, biyoloji, astronomi, yer bilim vb. farklı bilim alanlarından seçilerek öğrenme ve bakış açısı

zenginliği oluşturabilmesi açısından ek kısıtlar da konabilir. Modelde verilen Eş. 23 kısıtı seçilen düzeneklerin farklı bilim alanlarından olmasını garanti altına alırken, Eş. 24 kısıtı ile her bir bilim alanından seçilebilecek düzenek sayısının üst sınırı belirlenmektedir. Toplam alan ve toplam bütçeyi farklı eğitim düzeylerine paylaşmak amaçlı kullanılan Eş. 25 ve Eş. 26 ya ek olarak Eş. 23 kısıtı da kullanılarak elde edilen çözümlere ait özet sonuçlar Tablo 9'da verilmektedir. Düzeneklerin yer aldığı katalogda esas alınan sınıflamaya göre düzeneklerin ilişkili oldukları bilim alanları Tablo 8'de verilmektedir. Her düzenegin ilişkili olduğu bilim alanı Tablo 1'de verilen katalog bilgisinde yer almaktadır.

Tablo 9'daki sonuçlar, Tablo 7'de yer alan sonuçlarla karşılaştırıldığında konulan ek kısıtlar nedeniyle amaç fonksiyonu değerlerinde azalışlar olduğu görülmektedir. Bu azalışa karşılık düzeneklerin oluşturduğu portföy farklı bilim alanlarına ait çalışma ilkelerini kullanacak biçimde çeşitlenmiştir. Elde edilen baskın çözüm sayıları karar vericinin iyi bir seçim yapabileceği büyüklüktedir.

Tablo 6. Çeşitli senaryolar için özet çözüm tablosu (Summary of solutions for various scenarios)

	Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	Pr7	Pr8	Pr9
Toplam bütçe kısıtı (Euro)	100000	100000	100000	100000	300000	300000	300000	300000	1500000
Alan kısıtı (m ²)	1000	1000	3000	3000	1000	1000	3000	3000	5000
İşletme maliyeti kısıtı (Euro)	10000	25000	10000	25000	10000	25000	10000	25000	25000
İlköğretim ve okul öncesi için alan kısıtı	1000	1000	3000	3000	1000	1000	3000	3000	5000
Ortaöğretim için alan kısıtı	1000	1000	3000	3000	1000	1000	3000	3000	5000
Yükseköğretim için alan kısıtı	1000	1000	3000	3000	1000	1000	3000	3000	5000
İlköğretim ve okul öncesi için bütçe kısıtı	100000	100000	100000	100000	300000	300000	300000	300000	1500000
Ortaöğretim için bütçe kısıtı	100000	100000	100000	100000	300000	300000	300000	300000	1500000
Yükseköğretim için bütçe kısıtı	100000	100000	100000	100000	300000	300000	300000	300000	1500000
Temaya uygunluk amaç fonk. en büyük değeri	107	107	107	107	166	169	168	180	218
İlgi çekicilik amaç fonk. en büyük değeri	126	126	126	126	200	201	206	218	276
Eğitcilik amaç fonk. en büyük değeri	113	113	113	113	195	196	200	215	272
Baskın çözüm sayısı	15	17	14	15	10	14	8	11	1
Çözüm süresi (sn)	8,10	7,54	7,91	8,13	7,82	8,47	6,59	5,31	2,71

Tablo 7. Ek kısıtlı senaryolar için özet çözüm tablosu (Summary of solutions for additional constrained scenarios)

	Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	Pr7	Pr8
Toplam bütçe kısıtı (Euro)	100000	100000	100000	100000	300000	300000	300000	300000
Alan kısıtı (m ²)	1000	1000	3000	3000	1000	1000	3000	3000
İşletme maliyeti kısıtı (Euro)	10000	25000	10000	25000	10000	25000	10000	25000
İlköğretim ve okul öncesi için alan kısıtı	400	400	2000	2000	400	400	2000	2000
Ortaöğretim için alan kısıtı	400	400	2000	2000	400	400	2000	2000
Yükseköğretim için alan kısıtı	400	400	2000	2000	400	400	2000	2000
İlköğretim ve okul öncesi için bütçe kısıtı	70000	70000	70000	70000	200000	200000	200000	200000
Ortaöğretim için bütçe kısıtı	70000	70000	70000	70000	200000	200000	200000	200000
Yükseköğretim için bütçe kısıtı	70000	70000	70000	70000	200000	200000	200000	200000
Temaya uygunluk amaç fonk. en büyük değeri	106	106	107	107	164	165	168	180
İlgi çekicilik amaç fonk. en büyük değeri	123	123	126	126	192	193	206	218
Eğitcilik amaç fonk. en büyük değeri	113	113	113	113	189	191	200	215
Baskın çözüm sayısı	10	11	15	16	9	7	7	11
Çözüm süresi (sn)	6,16	6,19	6,44	6,51	6,71	5,39	5,08	4,44

Tablo 8. Düzeneklerin ilişkili olduğu bilim alanları (Field of sciences related with the exhibits) [40]

Bilim Alanı	Bilim Alanı	Bilim Alanı
1 Astronomi ve Güneş Sistemi	8 Yerbilimi ve Malzeme	15 Navigasyon
2 Biyoloji	9 Isı ve Sıcaklık	16 Koku, Tat ve Dokunma
3 Kimya	10 İnsan Anatomisi	17 Ses ve Duyma
4 Renk	11 Dil	18 Görme
5 Elektrik ve Manyetizma	12 Işık	19 Su
6 Enerji	13 Matematik	20 Dalga ve Rezonans
7 Mühendislik ve Yapı	14 Mekanik ve Hareket	21 Hava

Tablo 9. Çeşitlilik de içeren ek kısıtlı senaryolar için çözümler (Solutions for additional constrained scenarios including diversity)

	Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	Pr7	Pr8
Toplam bütçe kısıtı (Euro)	100000	100000	100000	100000	300000	300000	300000	300000
Alan kısıtı (m ²)	1000	1000	3000	3000	1000	1000	3000	3000
İşletme maliyeti kısıtı (Euro)	10000	25000	10000	25000	10000	25000	10000	25000
İlköğretim ve okul öncesi için alan kısıtı	400	400	2000	2000	400	400	2000	2000
Ortaöğretim için alan kısıtı	400	400	2000	2000	400	400	2000	2000
Yükseköğretim için alan kısıtı	400	400	2000	2000	400	400	2000	2000
İlköğretim ve okul öncesi için bütçe kısıtı	70000	70000	70000	70000	200000	200000	200000	200000
Ortaöğretim için bütçe kısıtı	70000	70000	70000	70000	200000	200000	200000	200000
Yükseköğretim için bütçe kısıtı	70000	70000	70000	70000	200000	200000	200000	200000
Temaya uygunluk amaç fonk. en büyük değeri	106	106	107	107	163	164	168	180
İlgi çekicilik amaç fonk. en büyük değeri	123	123	126	126	191	193	206	218
Eğitcilik amaç fonk. en büyük değeri	113	113	113	113	189	191	200	215
Baskın çözüm sayısı	10	10	16	16	8	10	6	11
Çözüm süresi (sn)	6,34	7,82	5,84	6,23	9,41	7,36	5,39	4,54

Ülkelerin gelişmesinde ve kalkınmasında en önemli unsurlar arasında bilim ve teknoloji gösterilebilir. Bir ülkenin gelişmişlik düzeyi bilime ve teknolojiye yaptığı yatırımlarla neredeyse doğru orantılıdır. Bilim merkezi, fen, teknoloji, matematik ve mühendislik öğretmek için etkili yöntemler kullanan informal bir eğitim tesisi olarak tanımlanabilir.

Bilim merkezleri öğrencilerin fen bilgisi, teknoloji ve bilgisini arttırmak için tasarlanan dünya standartlarında düzenek ve sergiler kullanarak okul müfredatını zenginleştirmeyi, uygulamalı öğrenme deneyimleri sağlayarak öğrencileri donatmayı amaçlayan oluşumlardır. Sergi ve düzenekler, bilim merkezlerinin üstlendikleri görevleri yerine getirmelerinde en önemli unsurlardan olduklarından uygun sergi seçimi ile bilim merkezlerinin topluma sağlayacağı fayda maksimize edilebilir.

Literatürdeki çalışmalardan bilim merkezlerinin belirli bir misyon çerçevesinde tasarlanması ve kurulması gerektiği, eğitcilik yönlerinin yanı sıra ilgi çekicilik düzeylerinin de yüksek olması gerektiği ayrıca bilim merkezlerinin sürdürülebilirliği için sergi düzeneklerinin belirli periyotlarda değişmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca Sergi düzenegi seçimi bilim merkezinin bir kere kurarken değil daha sonra da ziyaretçi profilini canlı tutmak için geçici sergiler yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle önerilen modelde amaç fonksiyonları olarak; seçilecek sergilerin bilim merkezi için belirlenmiş konseptte uygunluğunun maksimizasyonu, eğitcilik düzeyinin maksimizasyonu ve ilgi çekicilik düzeyinin maksimizasyonu esas alınmıştır. Problem kısıtları da, toplam satın alma bütçesi, bilim merkezinin toplam alanı ve yıllık işletme giderleri olarak değerlendirildiğinde; problemi çok ölçütlü ve çok boyutlu bir sırt çantası modeli olarak çözmek mümkün olmaktadır. Oluşturulan çeşitli problemlerin önerilen çok amaçlı modelle çözüm süreleri ve karar vericilere sunulan baskın çözüm sayıları dikkate alındığında modelin gerçek hayat problemlerinde pratik ve güvenilir biçimde uygulanması mümkün görünmektedir.

Nüfus artış oranı ve göç oranlarının düşük olduğu ülkelerde/bölgelerde kurulu olan bilim merkezlerinde ziyaretçi sayısının zaman içerisinde azaldığı bilinmekte ve bilim merkezine olan ilgiyi aktif tutmak amacıyla farklı bilim merkezlerinin sergi ve düzeneklerinden yararlanmak üzere gezici sergiler tasarlanmaktadır. Önerilen modelin kullanım alanı, yeni bir bilim merkezinin kurulma aşamasındaki sergi seçimi olarak belirtilmekle birlikte; gelecekte yaygın kullanım alanı olacağı tahmin edilen gezici sergi içeriğine karar vermek üzere de kullanılabilir.

Önerilen modelde katalogta yer alan sergilerin eğitcilik düzeyleri, ilgi çekicilik düzeyleri ve bilim merkezi ana teması ile uyumluluk

düzeyleri uzman yargıları ile tanımlanmış ölçekler doğrultusunda belirlenmektedir. Gelecekte yapılabilecek bir çalışma olarak, sözü edilen değerlendirmelerin güvenilirliğini geliştirmek amacıyla dilsel değişkenlerin kullanılması ve modelin bulanık olarak çözülmesi söylenebilir.

Önerilen model bilim merkezine sergi seçimi içinde kullanılabilirliği gibi, müze arşivlerinden geçici veya kalıcı sergiler oluşturmak amacıyla eser seçimi sürecinde de kullanılabilir.

Kaynaklar (References)

1. Plummer J.D., Cho K., The role of narrative in informal programming designed to engage preschool-age children in science explanations, *International Journal of Science Education*, Part B, March 2023, DOI: 10.1080/21548455.2023.2180781.
2. Souza V.M., Bonifácio V., Rodrigues A.V., School Visits to Science Museums: A Framework for Analyzing Teacher Practices, *Journal of Science Teacher Education*, 34 (4), 329-351, 2023.
3. Rende K., Jones M.G., Refvem E., Carrier S.J., Ennes M., Accelerating high school students' science career trajectories through non-formal science volunteer programs, *International Journal of Science Education*, Part B, 13 (1), 28-39, 2023.
4. Sriparaya N., Spronken-Smith R., Longnecker N., Intensive, ShortTerm Presenting With a Science Outreach Program Enhances Positive Science Attitudes and Interest in Lifelong Learning About Science. *Frontiers in Education*, 7, 719686, 2022.
5. Domenici V., STEAM Project-Based Learning Activities at the Science Museum as an Effective Training for Future Chemistry Teachers. *Education Sciences*, 12, 30, 2022.
6. Alt M.B., Shaw K.M., Characteristics of ideal museum exhibits, *British Journal of Psychology*, 75, 25-36, 1984.
7. Perry D.L., What Makes Learning Fun? Principles for the Design of Intrinsically Motivation Museum Exhibits, *AltaMira Press*, Maryland, A.B.D., 2012.
8. Eldamshiry, K.K., Khalil, M.H., Moussa, R.R., A prototype evaluation tool for museum exhibition design: Aligning display techniques with learning identities, *Advanced Engineering Science*, 54 (2), 1021-1040, 2022.
9. Rhee B-A., Pianzola F., Choi J., Hyung W., Hwang J., Visual content analysis of visitors' engagement with an instagrammable exhibition, *Museum Management and Curatorship*, 37 (6), 583-597, 2022.
10. *Museum Handbook*, Part 3: Museum Collection Use, Chapter 7, National Park Service, Washington DC, A.B.D., 2001.
11. Rudman H., Bailey-Ross C., Kendal J., Mursic Z., Lloyd A., Ross B., Kendal R.L., Multidisciplinary exhibit design in a Science Centre: a participatory action research approach, *Educational Action Research*, 26 (4), 567-588, 2018.
12. Stuedahl D., Lefkaditou A., Ellefsen G.S., Skatun T., Design anthropological approaches in collaborative museum curation, *Design Studies*, 75, 101021, 2021.
13. Hodder A.P.W., Hodder C., Life cycles of exhibitions in a science center: A New Zealand case study, *e-Review of Tourism Research (eRTR)*, 7 (6), 114-123, 2009.

14. Kim D., Lee J., Chun B.S., Hwang G., Paek W.K., Byun B., SMEP (Science Museum Exhibition Platform) for Sharing and exchange system of natural history collection, *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 14 (3), 299-301, 2021.
15. Imbernon U., Casanovas-Rubio M., Monteiro C., Armengou J., A decision-making method for planning exhibitions in arts organizations: A case study of CaixaForum Barcelona, *Evaluation and Program Planning*, 93, 102102, 2022.
16. Bobbe, T., Fischer, R. How to design tangible learning experiences: A literature review about science exhibit design, in Lockton, D., Lenzi, S., Hekkert, P., Oak, A., Sádaba, J., Lloyd, P. (eds.), *DRS2022: Bilbao*, 25 June - 3 July, Bilbao, Spain. <https://doi.org/10.21606/drs.2022.195>.
17. Kristinsdottir A., Toward sustainable museum education practices: confronting challenges and uncertainties, *Museum Management and Curatorship*, 32 (5), 424-439, 2017.
18. Cheng J.-C., Learning outcomes of transforming cuttingedge iPSC research into informal science courses for upper secondary school students, *Journal of Biological Education*, April 2023, DOI: 10.1080/00219266.2023.2192729.
19. Hsieh, Y.-L., Lee, M.-F., Chen, G.-S., Wang, W.-J. Application of Visitor Eye Movement Information to Museum Exhibit Analysis. *Sustainability*, 14, 6932, 2022.
20. Caporaso J.S., Ball C.L., Marble K.E., Boseovski J.J., Marcovitch S., Bettencourt K.M., Zarecky L., An Observational Investigation of How Exhibit Environment and Design Intersect to Influence Parent-Child Engagement, *Visitor Studies*, 25(2), 185-216, 2022.
21. Qiang, L., Effects of different types of digital exhibits on children's experiences in science museums, *The Design Journal*, 25 (1), 126-135, 2022.
22. Pedretti E., T.Kuhn Meets T. Rex: Critical Conversations and New Directions in Science Centres and Science Museums, *Studies in Science Education*, 37 (1), 1-41, 2002.
23. Lee H., Kang D.Y., Kim M.J., Martin S.N., Navigating into the future of science museum education: focus on educators' adaptation during COVID-19, *Cultural Studies of Science Education*, 18, 647-667, 2023.
24. Vassilakis C., Pouloupoulos V., Antoniou A., Wallace M, Lepouras G., Nores M.L., exhiSTORY: Smart exhibits that tell their own stories, *Future Generation Computer Systems*, 81, 542-556, 2018.
25. Whitney K., How Museums Tell Stories: An Interview with Amelia Wong, *Journal of Museum Education*, 48 (1), 16-20, 2023.
26. Kamariotou V., Kamariotou M., Kitsios F., Strategic planning for virtual exhibitions and visitors' experience: A multidisciplinary approach for museums in the digital age, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 21, e00183, 2021.
27. Kabassi K., Application of Multi-Criteria Decision-Making Models for the Evaluation Cultural Websites: A Framework for Comparative Analysis, *Information*, 12, 407, 2021.
28. Hooper-Greenhill E., *Museum and Gallery Education*, Leicester University Press, Leicester, Great Britain, 1991. (Müze ve Galeri Eğitimi, Çev. Evren M.Ö., Kapçı E.G., Ankara Üniversitesi Çocuk Kültürü Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayınları No:4, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 1999).
29. Gong X., Zhang X., Tsang M.C., Creativity development in preschoolers: The effects of children's museum visits and other education environment factors, *Studies in Educational Evaluation*, 67, 100932, 2020.
30. Kırıcı N., An evaluation on syntactic and formal analysis of museums, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25 (2), 189-199, 2010.
31. Tran, L.U., King, H., The Professionalization of Museum Educators: The Case in Science Museums, *Museum Management and Curatorship*, 22 (2), 131-149, 2007.
32. Achiam M., Marandino M., A framework for understanding the conditions of science representation and dissemination in museums, *Museum Management and Curatorship*, 29 (1), 66-82, 2014.
33. Mortensen, M.F., Museographic Transposition: The Development of a Museum Exhibit on Animal Adaptations to Darkness. *Education & Didactique* 4 (1), 119-137, 2010.
34. Simonneaux, L., Jacobi D., Language Constraints in Producing Prefiguration Posters for a Scientific Exhibition, *Public Understanding of Science*, 6 (4), 383-408, 1997.
35. Marandino, M., Transposition or Recontextualisation? On the Production of Knowledge in Education in Science Museums, *Revista Brasileira de Educação*, 26, 95-108, 2004.
36. King, E., Smith, M.P., Wilson, P.F., Janet Stott, J., Williams, M.A., *Creating Meaningful Museums: A Model for Museum Exhibition User Experience*, *Visitor Studies*, 26 (1), 59-81, 2023.
37. Kellerer H., Pferschy U., Pisinger D., *Knapsack Problems*, Springer-Verlag Press, Berlin, Almanya, 2004.
38. Durgut R., Aydın M.E., Adaptive binary artificial bee colony for multi-dimensional knapsack problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (4), 2333-2348, 2021.
39. Lust T., Teghem J., The multiobjective multidimensional knapsack problem: a survey and a new approach, *International Transactions in Operational Research*, 19, 495-520, 2012.
40. The Exploratorium. Explore, Play, Discover: Websites, Activities, and More. <https://www.exploratorium.edu/explore>. Erişim tarihi Şubat 5, 2019.
41. Saccani G., Hakanen J., Sindhya K., Ojalehto V., Hartikainen M., Antonelli M., Miettinen K., Potential of interactive multiobjective optimization in supporting the design of a groundwater biodenitrification process, *Journal of Environmental Management*, 254, 109770, 2020.
42. Lokman B., An approach for solving single-machine bi-criteria scheduling problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (4), 2075-2088, 2020.
43. Hasanoğlu M.S., Dölen M., Comparison of multi-objective and single-objective approaches in feasibility enhanced particle swarm optimization, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (2), 887-900, 2020.
44. Ecer B., Kabak M., Dağdeviren M., Goal programming model for bi-objective inverse multiple criteria sorting problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (4), 1729-1736, 2020.
45. Birgören B., Sakallı Ü.S., Brass alloy blending problem from quality and cost perspectives: A multi-objective optimization approach, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (1), 433-445, 2021.
46. Yasar, E., Gurel, C., Science museum exhibits' summative evaluation with knowledge hierarchy method, *European Journal of Physics Education*, 7 (1), 25-36, 2016.

