



İŞ YÜKÜ DENGESİ VE GÖZETMEN TİPİNE GÖRE GÖZETMEN ATAMA OPTİMİZASYONU: İZMİR EKONOMİ ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Arya Sevgen MİSİÇ¹¹, Oktay KARABAĞ², Murat ÖZKUT³

¹İzmir Ekonomi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-8543-9025>

²İzmir Ekonomi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-9068-1991>

³İzmir Ekonomi Üniversitesi, Matematik Bölümü, İzmir
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0699-892X>

Anahtar Kelimeler

Atama problemi,
Kombinatoriyal
optimizasyon, Üniversite
sınavı, Gözetmenlik,
Karma tamsayılı
doğrusal model

Öz

Bu makale, bir üniversitede gözetmenlerin adil ve maliyet etkin bir şekilde atanması sorununu çözmek için geliştirilen bir Karma Tamsayımı Programlama (MIP) modelini tanıtmaktadır. Model, araştırma görevlileri ve öğretim görevlileri gibi farklı gözetmen kategorilerini önceliklendirerek, iş yükünün adil dağılımını sağlarken toplam gözetmenlik maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Modelde, gözetmenler arasında görev dağılımındaki en fazla izin verilen farkı kontrol ederek iş yükünü dengeleyen kısıtlamalar yer almaktadır. Ayrıca, ardışık sınav görevlendirmelerini yasaklamak gibi üniversiteye özgü kurallara da riayet edilmektedir. Gözetmen tercihleri de dikkate alınmaktadır. Deneysel sonuçlar, önerilen modelin özellikle araştırma görevlileri için iş yükü değişkenliğini mevcut sezgisel yöntemlere kıyasla önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Ayrıca model, gözetmenlik için gereken toplam öğretim görevlisi sayısını azaltarak kaynakların daha verimli ve dengeli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Bu bulgular, MHP'lerin gözetmenlerin atanmasında daha etkili ve adil bir yaklaşım sunabileceğini, iş yükü dağılımı ve kaynak optimizasyonu açısından akademik kurumlara potansiyel faydalar sağlayabileceğini önermektedir.

¹Sorumlu yazar; e-posta : arya.sevgen@ieu.edu.tr

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1800002>

WORKLOAD BALANCING AND PROCTOR ASSIGNMENT OPTIMIZATION BASED ON PROCTOR TYPE: A CASE STUDY OF IZMIR UNIVERSITY OF ECONOMICS

Keywords	Abstract
<i>Assignment problem, Combinatorial optimization, University Exam, Proctoring, Mixed integer linear programming</i>	<i>The paper introduces a Mixed Integer Programming (MIP) model developed to solve the problem of equitable and cost effective allocation of examiners at an university. The model aims to minimise the overall cost of proctoring while ensuring a fair distribution of workload, by prioritising different categories of proctors, including research assistants and lecturers. Constraints are built into the model in order to balance the workload by controlling the maximum allowable difference in task allocation among proctors. The model also respects university-specific rules, such as prohibiting consecutive exam assignments. Proctor preferences are also taken into account. Experimental results show that the proposed model considerably decreases the variability of the workload, especially for research assistants, compared to existing methods based on heuristics. Furthermore, the model leads to a more efficient and balanced allocation of resources by reducing the total number of lecturers required for proctoring. These findings suggest that MIPs may offer a more effective and equitable approach to allocating proctors, potentially providing benefits in terms of workload distribution and resource optimization in academic institutions.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 16.10.2025	Submission Date : 16.10.2025
Kabul Tarihi : 04.01.2026	Accepted Date : 04.01.2026

1. Giriş

Atama problemleri, optimizasyon teorisi ve yöneylem araştırmalarının önemli çalışma alanlarından biridir. Bu problemler, sınırlı kaynakların belirli görevlere en uygun şekilde dağıtılmasını ele alan matematiksel modellerden oluşur. Üretim, sağlık, lojistik ve eğitim gibi birçok alanda karşılaşılan bu problemler, gerçek dünya operasyonlarında verimliliği artırmak ve karar verme süreçlerini iyileştirmek için kritik bir rol oynar. Örneğin, fabrika üretim hattında iş gücü dağılımı, hastanelerde doktorların farklı vardiyalara atanması, lojistik sektöründe araçların dağıtım rotalarının belirlenmesi ve eğitim kurumlarında ders programlarının oluşturulması gibi farklı alanlarda bu tür problemler ortaya çıkmaktadır. Atama problemlerinin çözümü, kaynakların optimal kullanımını sağlamak, maliyetleri minimize etmek, iş gücünü oluşturanlar insan, makine vb. arasında adil ve dengeli bir iş yükü oluşturmak ve bu sayede operasyonel verimliliği artırmak açısından kritik bir öneme sahiptir.

Özellikle eğitim sektöründe atama problemleri, akademik ve idari süreçlerin düzgün işleyişi için hayati bir rol oynamaktadır. Eğitim kurumlarında öğretim görevlilerinin derslere atanması, sınav programlarının oluşturulması ve sınav gözetmenlerinin belirlenmesi gibi durumlar, kaynakların verimli kullanılmasını sağlamak adına dikkatlice yönetilmelidir. Bu bağlamda, gözetmen atama problemi, sınavların adil ve sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmesi için üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Gözetmenlerin uygunluk durumlarına göre sınavlara atanması, bu atama sürecinde gözetmenler arasındaki iş yükünün dengeli dağıtılması ve sınavlar arasında yeterli dinlenme süresinin sağlanması; okullardaki sınav süreçlerinin sorunsuz, düzenli ve kesintisiz bir biçimde yürütülmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gözetmen atama problemi, özellikle vakıf üniversitelerinde birçok etkenin aynı anda dikkate alınmasını gerektiren karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu kurumlarda öğretim elemanlarının farklı ders yükümlülükleri, akademik takvimin yoğunluğu, aynı dönem içinde gerçekleştirilen yüksek sayıdaki sınav, sınav salonlarının kapasite kısıtları ve çeşitli operasyonel gereklilikler, atama sürecinin zorluk seviyesini önemli ölçüde artıran başlıca faktörlerdir. Bu durum, yalnızca doğru sayıda gözetmenin atanmasını değil, aynı zamanda her bir gözetmenin uygunluk durumu ve akademik yükümlülükleriyle uyumlu bir şekilde görevlendirilmesini de zorunlu kılar. Aksi halde akademik takvimin aksaması, sınav güvenliğinin zayıflaması ve gözetmenler arasında dengesiz bir iş yükü dağılımı gibi çeşitli operasyonel sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma, Türkiye'deki bir vakıf üniversitesinde gerçekleştirilen sınavlara yönelik gözetmen atama problemini ele almakta ve bu problemin çözümü için karma tamsayı bir programlama modeli önermektedir. Önerilen bu matematiksel modelin amaç fonksiyonu, sınavlarda görev alan gözetmenlere ilişkin maliyeti en küçükmektir. Sınavlarda öncelikli olarak araştırma görevlilerinin gözetmen olarak atanması tercih edilmektedir. Bunun nedeni, gözetmenliğin araştırma görevlilerinin eğitim faaliyetlerine destek olma amaçları doğrultusunda asli görevleri arasında yer alması ve bu nedenle, diğer akademik personelin görevlendirilmesine kıyasla daha düşük maliyetle gerçekleştirilebilmesidir. Araştırma görevlilerinin sayıca yeterli olmadığı durumlarda ise doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri gözetmen olarak atanabilmektedir. Ayrıca, bu matematiksel model yardımıyla, sınavlar sebebiyle oluşacak iş yükü gözetmenler arasında dengeli bir şekilde dağıtılarak iş yükü farkının makul bir seviyede tutulması da hedeflenmektedir. Bu hedefi gerçekleştirmek adına, sunulan matematiksel modelde, probleme özgü çeşitli kısıtlar tanımlanmaktadır. Buna ek olarak, sınavlar arasında tüm gözetmenlere yeterli dinlenme süresinin tanınması gerekliliği de modele çeşitli kısıtlar aracılığıyla dâhil edilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, gözetmen atama problemine yönelik literatürdeki mevcut modellere katkı sağlamak ve bu problemi çözmeye yönelik etkin bir yöntem sunmaktır. Bu çalışma, literatürde şimdiye kadar ele alınmamış probleme özgü kısıtları ve amaç fonksiyonunu bütüncül bir çerçevede bir araya

getirmekte ve literatüre bu açıdan özgün bir katkı sunmaktadır. Buna ek olarak, çalışmada önerilen matematiksel model sayesinde, ilgili gözetmen atama probleminde üniversite çapında optimal sonuçlar makul sürelerde elde edilebilmektedir; bu da modelin uygulanabilir ve etkili bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan literatür taraması, benzer çalışmalarda optimal sonuçların çoğunlukla bölüm ve/veya fakülte ölçeğindeki problemlerde elde edilebildiğini, problem üniversite düzeyine genişlediğinde ise genellikle sezgisel yöntemlere başvurulduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, çalışmanın modelleme açısından bir diğer katkısı olarak da düşünülebilir. Son olarak, sunulan model ile gözetmen atama sürecinin daha etkin yönetilmesi, üniversitelerdeki akademik ve operasyonel süreçlerin daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yürütülmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, önerilen modelin eğitim kurumları için pratik bir çözüm aracı olarak değerlendirilebileceği ve çalışmanın sosyal katkısının da bu doğrultuda olacağı beklenmektedir.

Bu çalışmanın nümerik analiz kısmı, İzmir Ekonomi Üniversitesi'nde var olan gözetmen atama problemini ele almakta ve önerilen matematiksel model ile elde edilen atama sonuçlarının, mevcut el yordamına ve deneyime dayalı yöntemlerle elde edilen sonuçlara kıyasla önemli iyileştirmeler sunduğunu ortaya koymaktadır. Modelin sağladığı iyileştirmeler ise özellikle iş yükünün dengeli dağıtılması ve gözetmen atamalarının daha verimli yapılması açısından belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Araştırma görevlileri arasındaki iş yükü farklarının büyük ölçüde azaltılması ve sınav atamalarında ortaya çıkan yük dağılımlarının daha dar bir aralıkta tutulması, modelin en dikkat çekici iyileştirmelerinden biri olarak gözlemlenmektedir. Ayrıca, önerilen model sayesinde sınavlarda görevlendirilen doktor araştırma görevlisi ve doktor öğretim üyesi sayısında, elle yapılan atamalara kıyasla yaklaşık %50'lik bir azalma sağlanmakta ve iş gücünün daha verimli kullanılmasına olanak tanınmaktadır. Önerilen model sayesinde yedek gözetmenlerin verimsiz bir şekilde bekletilmesine de gerek kalmamakta, her periyotta esnek ve ihtiyaca dayalı bir biçimde yedek gözetmen atanması sağlanmaktadır. Tüm bu iyileştirmeler, modelin yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmadığını, aynı zamanda iş yükünü adil bir şekilde dağıtarak daha sürdürülebilir bir sınav gözetmenliği süreci oluşturduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Makalenin geriye kalan kısmı şu şekilde organize edilmektedir. Literatür taraması bölümünde ilgili akademik yazın derlenmekte ve çalışmanın mevcut yazından nasıl farklılaştığı tartışılmaktadır. Bir sonraki bölümde problemin ayrıntıları, geliştirilen matematiksel model ve bu modele ilişkin parametreler, kısıtlar ve kümeler sunulmaktadır. Devam eden bölümde ise çalışmada ele alınan probleme ait parametreler, kullanılan istatistiksel kıyaslama ölçütleri ve elde edilen nümerik sonuçlar tartışılmaktadır. Son bölüm çalışmayı ve bulgularımızı özetlemekte, ayrıca gelecekte bu çalışmanın nasıl genişletilebileceğini ele almaktadır.

2. Literatür Taraması

Bu literatür taramasında, son 25 yıl içerisinde ulusal ve uluslararası indekslerde yer alan dergilerde yayımlanan ve sınavlara yönelik gözetmen atama problemlerini ele alan çalışmalar incelenmektedir. Bu çerçevede kapsamında incelenen çalışmalar, kullanılan yöntemlerin karakteristik özellikleri dikkate alınarak üç kategori altında toplanmakta ve bu kategorilerde sırasıyla tek amaçlı matematiksel programlama modellerini, çok amaçlı hedef programlama modellerini ve sezgisel algoritmalara dayalı çözüm yöntemlerini kullanan çalışmalar derlenmektedir. Benzer atama problemleri sağlık alanında (Wong, Xu ve Chin, 2014; Geçici ve Güler, 2020), havayolu taşımacılığında (Zeghal ve Minoux, 2006), askeri görev planlamalarında (Nguyen, Mak-Hau, Moran ve Novak, 2022) ve bakım/onarım planlama problemlerinde (Sriram ve Haghani, 2003) de ele alınmaktadır. Ancak bu çalışmalar, mevcut çalışmada ele alınan problemle doğrudan ilişkili olmadıkları için bu taramaya dahil edilmemiştir. Diğer alanlardaki atama problemlerine ilişkin daha kapsamlı bir inceleme arayanlar için Pentico (2007), Daş, Gzara ve Stütze (2020), Baş, Tosun ve Bayram (2021) ile Alfaro, Perez, Valencia ve Vargas (2022) çalışmaları temel başvuru kaynakları arasında gösterilebilir.

Gözetmen atama problemleriyle başa çıkmak için tek amaçlı matematiksel programlama modeli sunan ilk çalışmalardan biri olarak Martí, Lourenço ve Laguna (2000) örnek verilebilir. Bu çalışmada yazarlar, İspanya'daki bir üniversitede gerçekleştirilen final sınavlarına gözetmen atamak amacıyla, tercih ve iş yükü adaletini amaç fonksiyonu olarak ele alan bir tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Yazarlar, ayrıca ele aldıkları problemin karmaşıklık sınıfının *NP-Zor* olduğunu ortaya koymuş ve problem boyutları büyüdükçe geliştirdikleri programlama modelinin çözüm üretmede güçlük yaşadığını raporlamışlardır. Koide (2015) ise Japonya'daki Konan Üniversitesi'nde ortaya çıkan gözetmen atama problemi ile ilgilenmiş ve bu probleme yönelik bir karma tamsayılı programlama modeli önermiştir. Yazar, bu modeli kullanarak gözetmenlerin tercih ettikleri sınavlar ile atandıkları sınavları mümkün olduğunca uyumlu hâle getirmeyi amaçlamış ve amaç fonksiyonu olarak gözetmenlerin atandıkları her bir sınav için aldıkları memnuniyet skorlarının toplamını en büyüklemeyi hedeflemiştir. Yazar ayrıca, modeli gerçek veriler üzerinde uygulamaya çalıştığında, optimal çözümün kabul edilebilir sürelerde elde edilemediğini de belirtmiştir. Matcı ve Acar (2019) ise Koide (2015) çalışmasında kullanılan amaç fonksiyonuna benzer bir yaklaşım benimseyerek, Eskişehir Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi'ndeki sınav programlarının düzenlenmesi sürecinde ortaya çıkan gözetmen atama problemini ele almışlardır. Yazarlar, inceledikleri problemin yapısı gereği, gözetmen ataması yapılırken diğer çalışmalarda yer almayan çeşitli ek kısıtları dikkate almak durumunda kalmışlardır. Örneğin, sınıflara gözetmen atanırken, bir deneyimli ve bir deneyimsiz gözetmenin birlikte görevlendirilmesini sağlamayı amaçlamışlardır. Özçalıcı (2016), Kilis 7 Aralık Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'ndeki sınavlara gözetmen atanması için bir tamsayılı

programlama modeli geliştirmiştir. Yazar, bu modelde her bir gözetmenin aldığı gözetmenlik sayısını en aza indiren bir amaç fonksiyonu benimsemiştir. Ayrıca modelde, toplam sınav sayısının toplam gözetmen sayısına bölünmesiyle elde edilen değerin alt ve üst tam sayılara yuvarlanması yoluyla her bir gözetmenin alması gereken minimum ve maksimum sınav sayıları için sınırlar belirlenmeye çalışılmıştır. Son olarak, Koide (2019) çalışmasında, 2015 yılında geliştirdiği modeli 2019'da ortaya çıkan yeni gereksinimleri dikkate alarak ek kısıtlar ve alternatif amaç fonksiyonlarıyla genişletmiştir. Literatürde, gözetmen atama problemleri için tek amaçlı matematiksel programlama modelleri sunan çalışmaların yanı sıra, çok amaçlı matematiksel programlama modelleri öneren çalışmalar da bulunmaktadır. Bu araştırma akışındaki öncü araştırmacılardan Sagir ve Ozturk (2010), gözetmen-sınav atama problemini çok amaçlı bir matematiksel modelle ele almış ve sınav ağırlıklarını daha gerçekçi biçimde belirlemek amacıyla analitik ağ süreci yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem ile sınav süresi, günü ve türü gibi faktörlerin birlikte değerlendirilmesi sağlanmış; model bu ağırlıklarla yeniden çözüldüğünde gözetmen yüklerinin daha dengeli dağıldığı ve istenmeyen zaman dilimlerine yapılan atamaların azaldığı gözlemlenmiştir. Ozturk, Ozturk ve Sagir (2010) ise benzer bir problemi uygulama odaklı bir yaklaşımla ele alarak web tabanlı otomatik bir atama sistemi geliştirmiştir. Sistem, gözetmenlerin tercih ve kısıtlarını toplayarak çok amaçlı model çalıştırmakta ve bu sayede manuel yöntemlere kıyasla daha hızlı, daha adil ve iş yükünü daha dengeli dağıtan atamalar üretebilmektedir.

Son yıllarda, gözetmen atama problemlerine yönelik çalışmalarda çok amaçlı hedef programlama yaklaşımının da bir çözüm yöntemi olarak benimsendiği görülmektedir. Kağnicioğlu ve Yıldız (2006), bu yaklaşımı gözetmen atama probleminde kullanan ilk araştırmacılardan biri olup, amaç ve hedeflerde belirsizliklerin ortaya çıkabileceğini dikkate almışlardır. Yazarlar, hem çoklu amaç fonksiyonunu hem de rastgeleliği aynı çatı altında ele alabilen bir 0-1 tamsayılı bulanık hedef programlama modeli geliştirmiş ve bu modeli Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün final sınav programlarında uygulamışlardır. Varlı, Alağaç, Eren ve Özder (2017), Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde görev yapan araştırma görevlilerine sınav gözetmenliklerinin atanması problemini bir hedef programlama modeli ile ele almışlardır. Birlikte çalıştıkları kurumun isteği doğrultusunda, yazarlar sundukları modelde araştırma görevlilerinin öncelikle kendi bölümlerindeki sınavlara atanmasını ve ardı ardına yapılan sınav atamalarının en aza indirilmesini hedeflemişlerdir. Küçük, Tellioğlu ve Çavdur (2020), hâlihazırda zaman çizelgelemesi yapılmış sınavlar için sınıf ve gözetmen atamalarını gerçekleştirmeye yönelik iki aşamalı, hedef programlama tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen bu yaklaşımda problem, sınıf atama ve gözetmen atama olmak üzere iki alt aşamaya ayrılmış; her bir aşama, diğerinin optimal çözümünden yararlanarak ardışık şekilde çözülmüştür. Yazarlar, bu sayede, problem boyutunda azalmalar ve çözüm süresinde iyileşmeler elde etmeyi hedeflemişlerdir. Ayrıca, çalışmada önerilen yaklaşımın uygulama alanı olarak,

Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü güz yarıyılı final programı kullanılmıştır. Supçiller ve Erbilek (2021) ise bir üniversite merkez kütüphanesinde kısmi zamanlı çalışan 42 öğrencinin haftalık vardiya düzeninin belirlenmesi problemini incelemiş ve belirlenen hedeflerden sapmayı en aza indireyecek bir hedef programlama modeli geliştirmişlerdir.

Literatürde, gözetmen atama problemlerini incelemek amacıyla tek/çok amaçlı matematiksel programlama ve çok amaçlı hedef programlama modellerini benimseyen çalışmaların yanı sıra, çeşitli sezgisel yöntemler geliştiren çalışmalarda da mevcuttur. Bu alandaki ilk araştırmacılardan Awad ve Chinneck (1988), Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Carleton Üniversitesi'nde final sınavları için görevlendirilecek gözetmenlerin belirlenmesi problemini ele almış ve bu probleme özgü tasarlanmış bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Yazarlar, önerdikleri yaklaşımla manuel olarak yürütülen gözetmen atama sürecini bilgisayar destekli bir yapıya dönüştürmüş ve böylece daha hızlı ve tutarlı sonuçlar elde edilmesini sağlamışlardır. Yaldir ve Baysal (2012) ise Awad ve Chinneck (1988)'in problemine çok benzer bir problem ile Pamukkale Üniversitesi'nde karşılaşmış ve bu problemi Awad ve Chinneck (1988)'in yaptığı gibi probleme özgü bir genetik algoritma geliştirerek çözmeye çalışmışlardır. Öte yandan, Hosny ve Al-Olayan (2014) ise benzer bir çözüm yöntemini, sınavların sınıflara atanması ile sınıflara gözetmen atanmasını birlikte ele alacak şekilde genişletmiş ve her iki problemi entegre biçimde çözen bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Yazarlar geliştirdikleri yöntemin performansını ise kendi yarattıkları rastgele örnekler üzerinde deneyerek değerlendirmişlerdir. Benzeri gözetmen atama problemleri, dağınık arama algoritması (Martí, ve diğ., 2000), arı kolonisi algoritması (Mansour ve Taha, 2015), yerel arama algoritması (Nishikawa ve Miwa, 2022), takas bazlı probleme özgü arama algoritması (Özçalıcı, 2017) vb. gibi farklı sezgisel yöntemler kullanarak da incelenmiştir.

Yapılan literatür taraması, çalışmamızın literatüre çeşitli açılardan özgün katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır. İlk olarak, ele alınan problem yapısı gereği kendine özgü kısıtlara ve bir amaç fonksiyonuna sahiptir. Bu bağlamda, literatürde ilk kez gözetmenler, araştırma görevlileri ile doktor öğretim üyeleri ve doktor araştırma görevlileri olmak üzere iki ayrı grupta ele alınmış ve her bir grup içinde adil bir iş yükü dağılımı sağlanması hedeflenmiştir. Ayrıca, mevcut çalışmalardan farklı olarak, uzun süreli (90 ve 120 dakikalık) sınavlara atanan gözetmenlerin yeterli dinlenme süresi elde edebilmelerini sağlamak amacıyla, bu sınavlara atandıkları durumda söz konusu sınavları izleyen periyotta yeniden görevlendirilmelerini engelleyen bir kısıt modele dahil edilmiştir. Buna ek olarak, ilk kez bu çalışmada, sınav sırasında ortaya çıkabilecek olası aksaklıklarda (atanmış gözetmenin rahatsızlanması, sınav yerine geç kalması vb.) devreye alınabilecek yedek gözetmenler modele dâhil edilmiş ve bu gözetmenlerin her periyotta esnek ve ihtiyaca dayalı olarak atanmasını sağlayan bir yapı geliştirilmiştir. Tüm bu özellikler hem ele alınan problemin hem de geliştirilen optimizasyon modelinin özgünlüğünü açık bir biçimde ortaya koymaktadır. Son olarak, literatür taramasındaki çalışmaların büyük bir

bölümünün gözetmen atama problemlerini yalnızca fakülte veya bölüm düzeyinde ele aldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmalardan farklı olarak, mevcut çalışmada üniversite genelini kapsayan bir gözetmen atama problemine yönelik matematiksel bir model geliştirilmiş ve bu ölçekte bir problem için kabul edilebilir sürelerde optimal çözümler elde edilmiştir. Bu ölçekteki bir problemin kabul edilebilir sürede çözülmesini sağlayan kritik etmen, iş yükü dengesini doğrudan yansıtan ve lineer karakterini koruyan bir amaç fonksiyonunun modele entegre edilmesidir.

3. Model ve Problem Tanımı

Bu bölümde, çalışmada ele alınan problemin tanımı ve ilgili problem için geliştirilen matematiksel programlama modelinin detayları sunulmaktadır.

3.1. Problem Tanımı

Bu çalışmada, İzmir Ekonomi Üniversitesi'nde her akademik dönem gerçekleştirilen lisans ve yüksek lisans programlarına ait ara ve final sınavlarında ortaya çıkan gözetmen atama problemi ele alınmaktadır. İlgili üniversitede dönem içinde yapılması planlanan ara ve final sınavları, önceden belirlenen sınav haftaları içinde gerçekleştirilmektedir. Belirlenen bu haftaların dışında herhangi bir sınav programlaması yapılmamaktadır. Belirlenen haftalarda uygulanacak sınav programları ise üniversite bünyesinde yer alan "Sınav Koordinasyon Kurulu (SKK)" tarafından oluşturulmakta ve yürütülmektedir.

SKK, ilgili dönemde ders veren tüm öğretim üyeleri ile dönem ortasında irtibata geçerek ara ve final sınav programını oluştururken gerek duyacağı tüm bilgileri toplamaktadır. Bu bilgiler arasında, i) hangi derslerin ara ve final sınavlarının gerçekleştirileceği, ii) ilgili sınavın dakika cinsinden ne kadar süreceği, iii) her bir sınav için kaç gözetmen gerekli olduğu ve iv) her bir dersin sınav için ilgili öğretim üyesinin ihtiyaç duyduğu özel bir gereksinimin var olup olmadığı (laboratuvar, amfi, sınav gün ve saati vb.) yer almaktadır. Gerekli olan bu bilgiler toplandıktan sonra, ara ve final sınavlarının hangi gün, hangi saat aralığında ve hangi sınıfta gerçekleştirileceği SKK tarafından belirlenmektedir. İlgili sınav haftasına ilişkin program tamamlandıktan sonra da sınavların uygulanacağı sınıflara gözetmen atamaları yapılmaktadır. Bahsettiğimiz bu gözetmen atama problemi çalışmamızın ana odağını oluşturmaktadır. Sınavlara ilişkin gözetmen atamaları yapılırken, SKK'nın göz önünde bulundurması gereken birtakım kısıtlar bulunmaktadır. Takip eden paragraflarda ise bu kısıtlar tartışılmaktadır.

Kurul, her bir dersin sınavına ilgili öğretim üyesinin talep ettiği sayıda gözetmen ataması yapmak zorundadır. Sınavlara atanacak gözetmenler öncelikli olarak üniversite bünyesindeki araştırma görevlileri arasından seçilmektedir. SKK, aynı

öğretim üyeleri ile yaptığı gibi, sınav haftası öncesinde tüm araştırma görevlileri ile iletişime geçmekte ve ilgili sınav haftasında uygun olmadıkları gün ve saat dilimlerini toplamda üç tam günü geçmeyecek şekilde iletmelerini istemektedir. SKK, araştırma görevlilerini sınavlara gözetmen olarak atarken ilettikleri uygunluk durumlarını dikkate almaktadır. Gözetmen atamaları yapılırken, mazeret izni üç tam günü aşan ancak yedi tam günü geçmeyen araştırma görevlilerine öncelik verilmektedir. Öte yandan, mazeret izni yedi tam günü aşan araştırma görevlileri ise, bağlı oldukları dekanlıktan alacakları özel izin kapsamında ilgili haftada gözetmenlik görevinden muaf tutulmaktadır. Araştırma görevlilerinin sayıca yetersiz kaldığı durumlarda ise gözetmenlik atamaları doktor araştırma görevlileri ile doktor öğretim üyelerine de yapılmaktadır. Sınav Koordinasyon Kurulu, doktor araştırma görevlileri ile doktor öğretim üyelerinin gözetmen olarak görevlendirilmesini tercih etmemekte; ancak gerekli durumlarda son çare olarak bu gruba da başvurmaktadır. Bu doğrultuda SKK, her bir doktor araştırma görevlisi ve doktor öğretim üyesinin görevlendirilebileceği sınav sayısına bir üst limit getirerek bu durumu kontrol altında tutmaktadır. Şimdiye kadarki tüm sınav uygulamalarında bu gruptaki akademik personele ikiden fazla gözetmenlik görevi verilmemesine özellikle özen gösterilmiştir. Ayrıca, sınav haftası boyunca gerçekleştirilecek toplam sınav sayısına kıyasla, gözetmen olarak atanabilecek toplam araştırma görevlisi, doktor araştırma görevlisi ve doktor öğretim üyesi sayısının oldukça fazladır. Bu durum, atama problemini çözümsüzlük durumundan kurtarmaktadır.

İlgili üniversitede her bir sınav haftası toplamda on iki günden oluşmaktadır. Sınav haftası iki hafta sonu ve on hafta içi gününü kapsamaktadır. Bu on iki günlük süre içerisinde sınavlar, hafta içi altı ve hafta sonu ise beş farklı zaman diliminde gerçekleştirilmektedir. Sınavların gün içinde atanabildiği zaman dilimleri ikişer saatlik periyotlardan oluşmakta ve ilk oturum sabah 09.00'da başlamaktadır. Dolayısıyla, hafta içi yapılan sınavlar en geç 21:00'de, hafta sonu yapılan sınavlar ise en geç 19:00'da sona ermektedir. Kurul, tüm bu sınavların kurallara uygun ve düzenli bir şekilde yürütülebilmesi için bir gözetmenin aynı gün ve aynı saat aralığında birden fazla sınava atanmamasını da sağlamakla yükümlüdür. Bunlara ek olarak, sınav haftasındaki herhangi bir gün veya saat diliminde ortaya çıkabilecek bir aksilik durumunda (atanmış gözetmenin mücbir bir sebepten ötürü sınav yerine gelmemesi, sınav yerine geç kalması, vb.), yedek gözetmenler devreye alınarak sınavların aksamadan yürütülmesi sağlanmaktadır. Bu nedenle koordinasyon kurulunun, sınav haftasındaki her gün ve her saat dilimi için iki adet yedek gözetmen belirlemesi de gerekmektedir.

İlgili üniversitedeki sınavların süreleri ise 45, 60, 90 ve 120 dakika olmak üzere dört farklı şekilde planlanmaktadır. Kurul, her bir sınavın farklı iş yüküne sahip olduğunu kabul etmekte ve bu iş yükünün, ilgili sınavın hafta sonuna denk gelip gelmediğine, hangi zaman diliminde (sabah, öğle veya akşam) yapıldığına ve sınav süresine bağlı olarak değiştiğini varsaymaktadır. En yüksek iş yükünün hafta sonu akşam saatlerinde gerçekleştirilen 120 dakikalık sınavlarda, en düşük

iş yükünün ise hafta içi sabah saatlerinde yapılan 45 dakikalık sınavlarda ortaya çıktığı kabul edilmektedir.

Sınav bitiminde, gözetmenlerin gerekli tüm sınav evrakını sınav koordinasyon merkezine teslim etmeleri gerekmektedir. Buldukları sınıfın konumuna bağlı olarak, gözetmenlerin görevli oldukları sınıftan koordinasyon merkezine ulaşmak için harcadıkları süre 10–15 dakikaya kadar çıkabilmektedir. Bu süre, özellikle sınav sırasında yaşanan disiplin olaylarına veya kopya teşebbüslerine ilişkin tutanak tutulması gibi durumlarda 30 dakikaya kadar uzayabilmektedir. Ayrıca sınav sonrası dinlenmeleri ve kişisel ihtiyaçlarını gidermeleri için de gözetmenlere bir zaman verilmesi gerekmektedir. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, bir önceki periyotta 90 veya 120 dakikalık bir sınava atanan gözetmenin bir sonraki periyotta herhangi bir sınava atanmaması da istenmektedir.

Son olarak kurul, gözetmen atama sürecinde, araştırma görevlileri ile diğer gözetmenleri (doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri) iki ayrı grup olarak değerlendirmektedir. Bu iki gruba ait gözetmenlerin yüklerini ise kendi grupları içinde dengelemeye çalışmaktadır. Bu doğrultuda, her bir grup için atama sonrasında ortaya çıkan en yüksek toplam iş yükü ile en düşük toplam iş yükü arasındaki farkın önceden belirlenen bir seviyenin altında kalmasını hedeflemektedir.

3.2. Matematiksel Model

Bu çalışmada ele alınan gözetmen atama probleminin çözümü için bir “*karma tamsayılı programlama*” modeli önerilmektedir. Bu modelde kullanılan kümeler, indisler, parametrelere, karar değişkenlerine, amaç fonksiyonuna ve kısıtlara ilişkin tüm detaylar ise takip eden paragraflarda sunulmaktadır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.2.1. Kümeler ve İndisler

Önerdiğimiz matematiksel modelde, sınavların uygulanacağı günler $d \in \mathbb{D} = \{1, 2, \dots, D\}$ ile temsil edilmekte, sınavların uygulandığı toplam gün sayısı ise D ile gösterilmektedir. Öte yandan, sınavların uygulanacakları zaman dilimleri $t \in \mathbb{T} = \{1, 2, \dots, T\}$ ile temsil edilmektedir. İlgili kümedeki T , sınav haftasındaki günler arasında gözlemlenen en büyük zaman dilimi sayısını göstermektedir. İncelenen problem özelinde $D = 12$ ve $T = 6$ **olarak kabul edilmektedir**. Modelde, sınavların uygulanacağı sınıflar ise $c \in \mathbb{C} = \{1, 2, \dots, C\}$ ile gösterilmekte olup, toplam sınıf sayısı C ile ifade edilmektedir. Buna ek olarak, d

gününde t zaman diliminde 90 dakika veya daha fazla sürecek sınavların gerçekleşeceği sınıfları içeren küme ise $\mathbb{C}_{d,t}^l$ ile temsil edilmektedir.

Her bir gözetmene ait bir kimlik numarası bulunmakta ve bu kimlik numaraları modelde $p \in \mathbb{P} = \{1,2, \dots, P\}$ ile temsil edilmektedir. Sınavlarda toplam kullanılacak gözetmen sayısı ise P ile ifade edilmektedir. Ayrıca, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan gözetmen kümesi \mathbb{P}_1 olarak tanımlanmaktadır. Bunlara ek olarak, araştırma görevlisi olup mazeret iznini üç tam güne kadar kullanan ve üç tam günden daha fazla kullanan gözetmenlerin listelendiği kümeler ise sırasıyla \mathbb{P}_2 ve \mathbb{P}_3 ile temsil edilmektedir. Bu üç kümenin birleşimi ise \mathbb{P} kümesini oluşturmaktadır. Bu ilişki, matematiksel olarak $\mathbb{P}_1 \cup \mathbb{P}_2 \cup \mathbb{P}_3 = \mathbb{P}$ biçiminde gösterilebilir. Son olarak, gözetmen p 'nin d gününde uygun olmadığı zaman dilimleri barındıran küme ise $\mathbb{T}_{d,p}^{NA}$ ile gösterilmektedir.

3.2.2. Parametreler

Modelde, d gününde t zaman diliminde c sınıfında gerçekleştirilecek sınav için gerekli olan gözetmen sayısı N_{dtc} parametresi ile gösterilmektedir. Problem tanımı kısmında da belirtildiği üzere, bu parametre sınav haftasından önce sınav yapacak öğretim üyelerinden alınan bilgiler doğrultusunda belirlenmektedir. Öte yandan, d gününde t zaman diliminde c sınıfında gerçekleştirilecek sınava atanacak olan gözetmenin ilgili sınava karşılık gelen iş yükü w_{dtc} ile gösterilmektedir. Problem tanımı kısmında da belirtildiği üzere, her bir sınava karşılık gelen iş yükünün, sınavın gerçekleştirileceği günün, zaman diliminin ve sınav süresinin bir fonksiyonu olduğu kabul edilmektedir. Bu fonksiyonu belirlemek için araştırma görevlileri ile görüşmeler düzenlenmiş ve bir anket çalışması uygulanmıştır. Bu anket çalışmasının neticesinde, sınavların gerçekleştirilecekleri güne, zaman dilimlerine ve sınav sürelerine ilişkin ağırlıklar Tablo 1'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 1.

Gün, Zaman Dilimi ve Süreye Göre Sınavların İş yükü Ağırlıkları.

Gün	w_d	Zaman dilimi	w_t	Süre (dk)	w_c
Hafta içi	1	1 (09:00-11:00)	1	45	45
Hafta sonu	2	2 (11:00-13:00)	1	60	60
		3 (13:00-15:00)	1	90	90
		4 (15:00-17:00)	1	120	120
		5 (17:00-19:00)	1		
		6 (19:00-21:00)	1,5		

Tablo 1’de gün, zaman dilimi ve süreye göre verilen ağırlıklar ve Eş. (1) kullanılarak, d gününde t zaman diliminde c sınıfında gerçekleştirilecek her bir sınavın gözetmenler için oluşturacağı iş yükü ağırlığı, yani w_{dtc} , hesaplanmaktadır. Bu eşitlik sayesinde, her bir sınavın gözetmenler için oluşturacağı iş yükü ağırlığının 1,25 ile 10 arasında (her iki sınır değer de dâhil olmak üzere) kalması sağlanmaktadır.

$$w_{dtc} = 10 \times \frac{w_d \times w_t \times w_c}{360} \quad (1)$$

Problem tanımında da belirtildiği üzere, araştırma görevlileri ile doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan iki ayrı gözetmen grubu bulunmakta ve her iki gruptaki gözetmenlerin iş yükleri kendi grupları içerisinde dengelenmektedir. Araştırma görevlilerinden oluşan gruptaki gözetmenler arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü ile en küçük toplam iş yükünün arasındaki farkın, $b_2 \in R^+ \cup \{0\}$ gibi negatif olmayan bir üst sınırdan az olması istenmektedir. Doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan diğer gruptaki gözetmenler arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü ile en küçük toplam iş yükünün arasındaki farkın ise $b_1 \in R^+ \cup \{0\}$ gibi negatif olmayan bir üst sınırdan küçük olması istenmektedir. Buna ek olarak, her bir doktor araştırma görevlisine ve doktor öğretim üyesine atanabilecek maksimum sınav sayısı b_3 ile temsil edilmiştir.

Sınav gözetmenlikleri atanırken önceliğin araştırma görevlilerine verilmesi; yalnızca ihtiyaç duyulduğu durumlarda doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan gruba atama yapılması istenmektedir. Araştırma görevlileri arasından da önceliğin üç tam güne kadar izin alanlardan ziyade üç tam günden daha fazla izin alanlara verilmesi tercih edilmektedir. Doktor

araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan gruba sınav gözetmenliği atanmanın maliyeti g_{atcp}^1 , araştırma görevlisi olup üç tam güne kadar izin kullananlara sınav gözetmenliği atanmanın maliyeti g_{atcp}^2 ve araştırma görevlisi olup üç tam günden fazla izin kullananlara sınav gözetmenliği atanmanın maliyeti g_{atcp}^3 ile gösterilmektedir. Bu maliyetlerinin her birinin sıfırdan büyük, gerçek bir sayı olduğu ve $g_{atcp}^1 > g_{atcp}^2 > g_{atcp}^3$ eşitsizliğini sağladığı kabul edilmektedir.

Doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan grup, üniversitenin eğitim-öğretim faaliyetlerinde ders verme, araştırma yürütme, proje geliştirme ve tez danışmanlığı gibi yoğun ve süreklilik gerektiren akademik sorumluluklara sahiptir. Bu personelin sınav gözetmenliğine atanması, akademik çalışma zamanlarının bölünmesine ve öğretim faaliyetlerinin aksamasına yol açabileceğinden, modele daha yüksek bir maliyetle yansıtılmıştır; böylece bu grubun yalnızca gerçekten zorunlu durumlarda görevlendirilmesi teşvik edilmektedir. Buna karşılık araştırma görevlileri, üniversitenin sınav operasyonlarında doğal olarak görev alan temel iş gücünü oluşturmakta ve gözetmenlik, bu personelin rutin sorumlulukları arasında yer almaktadır. Bu nedenle, araştırma görevlilerine atanan maliyet düzeyi daha düşük tutulmuştur. Ayrıca, araştırma görevlileri arasında izin kullanımına bağlı bir ayrıştırma yapılmış; gereksiz veya dengesiz izin taleplerinin önüne geçebilmek ve gözetmenlik yükünü daha adil bir biçimde dağıtabilmek amacıyla, üç tam günden fazla mazeret izni bulunan araştırma görevlilerinden oluşan gruba, üç tam güne kadar izin kullanan araştırma görevlilerine kıyasla daha düşük bir maliyet atanmıştır. Böylece tanımlanan maliyet katsayıları ile hem kurumsal önceliklerin hem de gözetmen atamalarında adil, dengeli ve sürdürülebilir bir iş yükü paylaşımının modele etkili bir şekilde yansıtılması hedeflenmiştir.

3.2.3. Karar Değişkenleri

Bu bölümde, ele alınan problem için önerilen matematiksel modelde kullanılan karar değişkenleri tanımlanmaktadır. Modeldeki gözetmen atama kararları, x_{atcp} ikili (0-1) karar değişkeni temsil edilmektedir. İlgili değişkenin 1 olması, p gözetmenin, d gününde t zaman diliminde c sınıfında gerçekleştirilecek sınava atandığını göstermektedir. Aksi halde, bu değişken 0 olmaktadır. Her bir gözetmene üzerine düşen toplam iş yükü ise başka bir karar değişkeni olarak a_p ile temsil edilmektedir. Bu karar değişkeni negatif olmayan gerçek bir sayıya eşit

olabilmektedir. Araştırma görevlilerinden oluşan gruptaki gözetmenler arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü ile en küçük toplam iş yükü U_2 ve L_2 ile gösterilirken, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan gruptaki gözetmenler arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü ile en küçük toplam iş yükü ise U_1 ve L_1 ile temsil edilmektedir. Kurguları gereği, bu karar değişkenleri de negatif olmayan gerçek bir sayıya eşit olabilmektedir.

3.2.4. Model

Bölüm 3.2.1-3.2.3'te verilen indisler, kümeler, parametreler ve karar değişkenleri kullanılarak, bu çalışmada ele alınan gözetmen atama problemine yönelik önerilen "karma tamsayılı programlama" modeli takip eden paragraflarda ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Takip eden bölümlerde bu model (OP) olarak anılacaktır.

$$enk z = \sum_{d \in \mathbb{D}} \sum_{t \in \mathbb{T}} \sum_{c \in \mathbb{C}} \sum_{p \in \mathbb{P}_1} g_{dtcp}^1 x_{dtcp} w_{dtc} + \sum_{d \in \mathbb{D}} \sum_{t \in \mathbb{T}} \sum_{c \in \mathbb{C}} \sum_{p \in \mathbb{P}_2} g_{dtcp}^2 x_{dtcp} w_{dtc} \quad (2)$$

$$+ \sum_{d \in \mathbb{D}} \sum_{t \in \mathbb{T}} \sum_{c \in \mathbb{C}} \sum_{p \in \mathbb{P}_3} g_{dtcp}^3 x_{dtcp} w_{dtc}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{d \in \mathbb{D}} \sum_{t \in \mathbb{T}} \sum_{c \in \mathbb{C}} w_{dtc} x_{dtcp} = a_p, \quad \forall p \in \mathbb{P}, \quad (3)$$

$$U_1 \geq a_p, \quad \forall p \in \mathbb{P}_1, \quad (4)$$

$$L_1 \leq a_p, \quad \forall p \in \mathbb{P}_1, \quad (5)$$

$$U_2 \geq a_p, \quad \forall p \in \mathbb{P}_2 \cup \mathbb{P}_3, \quad (6)$$

$$L_2 \leq a_p, \quad \forall p \in \mathbb{P}_2 \cup \mathbb{P}_3, \quad (7)$$

$$U_1 - L_1 \leq b_1, \quad (8)$$

$$U_2 - L_2 \leq b_2, \quad (9)$$

$$\sum_{d \in \mathbb{D}} \sum_{t \in \mathbb{T}} \sum_{c \in \mathbb{C}} x_{dtcp} \leq b_3, \quad \forall p \in \mathbb{P}_1, \quad (10)$$

$$\sum_{p \in \mathbb{P}} x_{dtcp} = N_{dtc}, \quad \forall d \in \mathbb{D}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall c \in \mathbb{C}, \quad (11)$$

$$\sum_{c \in \mathbb{C}} x_{dtcp} \leq 1, \quad \forall d \in \mathbb{D}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall p \in \mathbb{P}, \quad (12)$$

$$\sum_{c \in \mathbb{C}} x_{dtcp} + \sum_{c \in \mathbb{C}_{d,t-1}^t} x_{d(t-1)cp} \leq 1, \quad \forall d \forall t \in \mathbb{T} \setminus \{1\}, \forall p \in \mathbb{P} \in \mathbb{D}, \quad (13)$$

$$\sum_{d \in \mathbb{D}} \sum_{t \in \mathbb{T}_{d,p}^{NA}} \sum_{c \in \mathbb{C}} x_{dtcp} = 0, \quad \forall p \in \mathbb{P}, \quad (14)$$

$$x_{dtcp} \in \{0,1\}, \quad \forall d \in \mathbb{D}, \forall t \in \mathbb{T}, \forall c \in \mathbb{C}, \forall p \in \mathbb{P}, \quad (15)$$

$$a_p \in R^+ \cup \{0\}, \quad \forall p \in \mathbb{P}, \quad (16)$$

$$U_1, U_2, L_1, L_2 \in R^+ \cup \{0\}. \quad (17)$$

Çalışmada ele alınan problem için göz önünde bulundurulmuş amaç fonksiyonu, matematiksel olarak Eş. (2)'de ifade edilmiştir. Buradaki amaç gözetmen atamalarında oluşan maliyeti en küçüklemektir. Eş. (3) atamalar sonrası her bir gözetmenin sahip olduğu toplam iş yükünü ifade etmektedir. Eş. (4) ve (5) atamalar sonrasında doktor öğretim üyelerinin ve doktor araştırma görevlerinin olduğu grupta gözlemlenen en büyük ve en küçük toplam iş yüklerini temsil ederken; Eş. (6) ve (7) atamalar sonrasında araştırma görevlilerinin olduğu grupta gözlemlenen en büyük ve en küçük toplam iş yüklerini temsil etmektedir. Eş. (8) doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan gruptaki gözetmenler arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü ile en küçük toplam iş yükünün arasındaki farkın verilen üst limitten küçük olmasını sağlamaktadır. Öte yandan, Eş. (9) ise benzeri bir kısıtı araştırma görevlilerinden oluşan grup için ifade etmektedir. Eş. (10) doktor öğretim üyelerine atanan toplam sınav sayısının verilen üst limitten küçük olma şartını sağlamaktadır. Eş. (11) d gününde t zaman diliminde c sınıfında gerçekleştirilecek sınava talep edilen sayıda gözetmen atanmasını garanti etmektedir. Eş. (12) her bir gözetmenin d gününde t zaman diliminde en fazla bir sınıfta olmasını sağlamaktadır. Eş. (13) d gününde $t - 1$ zaman diliminde c sınıfında 90 veya 120 dakikalık bir sınava atanan gözetmenin, d gününde t zaman diliminde herhangi bir sınava atanmamasını garanti etmektedir. Son olarak, Eş. (14) ise p gözetmenin uygun olmadığı gün ve zaman dilimlerinde herhangi bir sınava

atanmaması koşulunu yerine getirmektedir. Eş. (15)–(17) ise karar değişkenlerinin ait oldukları uzayları göstermektedir.

Önerilen bu karma tamsayı programlama modeli, GUROBI 9.5.0 çözümlenici kullanılarak Python 3.6 ortamında kodlanmıştır. Tüm testler, Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1240 v5 @ 3.50 GHz işlemciye ve 64 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda, Windows 10 işletim sistemi altında gerçekleştirilmiştir. Bu donanım ve yazılım altyapısıyla yapılan deneylerde, modelin ortalama 2 dakika içerisinde optimal çözüme ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yürütülen tüm deney süreçlerinde araştırma ve yayın etiği ilkelerine titizlikle uyulmuştur.

3. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında ele alınan örnek uygulama, 2023–2024 Güz döneminde İzmir Ekonomi Üniversitesi genelinde gerçekleştirilen final sınavlarını ve bu sınavlar için yürütülen gözetmen atama problemini konu almaktadır. Takip eden paragraflarda, bu probleme ilişkin parametre değerleri ile matematiksel model marifetiyle elde edilen en iyi çözümün mevcut (el yordamı ve deneyime dayalı) çözüme kıyasla değerlendirilmesinde kullanılan özet istatistiklerin tanımları sunulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler herkese açık platformlardan elde edilmiş olup herhangi bir kişisel veri, hassas veri veya kuruma ait özel/gizli bilgi içermemektedir; bu nedenle çalışma kapsamında etik kurul onayı veya ayrıca yasal/özel izin alınması gerekmemiştir.

3.1. Problem Parametreleri

Bu bölüm kapsamında ele aldığımız gözetmen atama problemi, 4 yüksekokul ve 7 fakülteye ait final sınavlarını kapsamakta olup söz konusu sınavlar toplam 12 günlük bir dönem içinde gerçekleştirilmiştir. Bu 12 günlük süre zarfında toplam 263 final sınavı, fiziksel koşulları ve kapasiteleri farklılık gösteren 89 sınıfta gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sınıflar arasındaki bu farklılık göz önüne alındığında, ilgili dönemde gerçekleştirilen sınavlara atanması gereken gözetmen sayısının en az 1, en fazla ise 3 olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen dönemde gerçekleştirilen sınavlara atama yapılmak üzere gözetmen havuzunda 75 araştırma görevlisi ile 56 doktor araştırma görevlisi ve doktor öğretim üyesi bulunmaktadır. Son olarak, geçerli bir gerekçe göstererek yedi tam günden daha fazla izin almış olan araştırma görevlileri ise izinli araştırma görevlileri olarak adlandırılmaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere, bu akademik personele sınav haftasında görev verilmemektedir. Analiz kapsamında ele alınan dönemde sadece 3 adet izinli araştırma görevlisi olduğu gözlemlenmiştir.

Üçüncü bölümde sunulan problem tanımında da belirtildiği üzere, gözetmen görevlendirmelerinde öncelik araştırma görevlilerine verilmek istenmektedir. Araştırma görevlilerinin yetersiz kaldığı durumlarda ise doktor araştırma görevlileri ile doktor öğretim üyelerinden oluşan grup gözetmen olarak devreye alınabilmektedir. Önerilen matematiksel modelde, gözetmen görevlendirmelerinde araştırma görevlilerine öncelik verilmesi, uygun şekilde tanımlanan maliyet parametreleri aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu doğrultuda, üç tam güne kadar izin kullanan araştırma görevlileri için maliyet 2 (g_{atcp}^2) olarak belirlenirken, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri için bu maliyet 100 (g_{atcp}^1) olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, sınav haftasında üç tam günden fazla ancak yedi tam günden az izin kullanan araştırma görevlilerinin gözetmen olarak görevlendirilme maliyeti daha düşük tutularak, bu akademik personele atamalarda öncelik verilmekte ve bu sayede araştırma görevlileri arasındaki iş yükü dengesinin daha tutarlı olması hedeflenmektedir. İlgili araştırma görevlileri için ise maliyetin 1 (g_{atcp}^3) olduğu kabul edilmiştir.

Ayrıca, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerine atanabilecek toplam sınav sayısının önceden belirlenmiş bir üst limitten (b_3) küçük olması istenmektedir. Kurum yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucu bu üst limit $b_3 = 1$ olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan gruptaki gözetmenler arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü ile en küçük toplam iş yükünün arasındaki farkın önceden belirlenmiş bir üst limitten (b_1) küçük olması istenmektedir. Benzeri şekilde, araştırma görevlileri arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü ile en küçük toplam iş yükünün arasındaki farkın önceden belirlenmiş bir başka üst limitten (b_2) küçük olması istenmektedir. Kurum yetkilileri ile yapılan görüşmeler doğrultusunda bu limitler $b_1 = 5$ ve $b_2 = 10$ olarak belirlenmiştir. Doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü ile en küçük toplam iş yükünün arasındaki fark için tanımlanan üst limit, yani b_2 , araştırma görevlileri arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü ile en küçük toplam iş yükünün arasındaki fark için tanımlanan üst limitten, yani b_1 'den, daha büyük bir değere eşitlenmiştir. Bunun temel nedeni, matematiksel modelin yapısı ve tanımlanan maliyet parametreleri gereği, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan grubun yalnızca küçük bir kısmının sınavlarda gözetmen olarak görevlendirilecek olması ve bu grubun büyük bir bölümünün herhangi bir sınavda görev almayacak olmasıdır. Bu durum, ilgili grup içinde gözlemlenen en yüksek ve en düşük toplam iş yükü arasındaki farkın doğal olarak artmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla, söz konusu üst limitin azaltılması, problemin çözümünü olanaksız hâle getirme riski taşımaktadır. Son olarak, modelde her bir sınava ilişkin iş yükü ağırlıkları, Tablo (1) ve Eş. (1) temel alınarak belirlenmiştir.

3.2. Kıyaslama Ölçütleri

Bu bölümde, örnek uygulama kapsamında ele alınan problem için hem önerilen matematiksel model aracılığıyla hem de mevcut yöntemlerle (deneyim ve el yordamıyla) gerçekleştirilen atamalar sonucunda gözetmenlerde oluşan iş yükleri hesaplanmış ve bu iş yüklerine ilişkin çeşitli özet istatistikler raporlanmıştır. Raporlanan bu özet istatistik değerleri arasında ortalama, standart sapma, aralık, gözetmen olarak atanan öğretim üyesi sayısı ve toplam maliyet bulunmaktadır. Bu özet istatistiklere ilişkin tanımlar aşağıda sunulmaktadır.

i : İlgili indis gözetmen atamalarının hangi metotla yapıldığını gösterir. İndisin değer alabileceği küme ise $i = \{D \text{ (Mevcut)}, OP \text{ (Model)}\}$ ile gösterilmektedir.

σ_i^2 : Metot i ile yapılan atama sonucunda, ilgili gözetmen grubunda ortaya çıkan toplam iş yüklerinin varyansını gösterir.

min_i^w : Metot i ile yapılan atama sonucunda, ilgili gözetmen grubundaki bireyler arasında gözlemlenen toplam iş yükleri içinde en düşük değerdir.

max_i^w : Metot i ile yapılan atama sonucunda, ilgili gözetmen grubundaki bireyler arasında gözlemlenen toplam iş yükleri içinde en yüksek değerdir.

min_i^n : Metot i ile yapılan atama sonucunda, ilgili gözetmen grubundaki bireyler arasında gözlemlenen toplam sınav sayıları içinde en düşük değerdir.

max_i^n : Metot i ile yapılan atama sonucunda, ilgili gözetmen grubundaki bireyler arasında gözlemlenen toplam sınav sayıları içinde en yüksek değerdir..

r_i^w : Metot i ile yapılan atama sonucunda, ilgili gözetmen grubundaki bireyler arasında gözlemlenen toplam iş yükleri içindeki en yüksek ve en düşük değerlerin farkını gösterir. Matematiksel olarak, $r_i^w = max_i^w - min_i^w$ şeklinde ifade edilir.

n_i : Metot i ile yapılan atama sonucunda gözetmen olarak görevlendirilen toplam doktor araştırma görevlisi ve doktor öğretim üyesi sayısını gösterir.

3.3. Vaka Çalışması Sonuçları

Bu bölümde, ele alınan örnek uygulama problemi için önerilen matematiksel model kullanılarak elde edilen çözüme ilişkin özet istatistikler sunulmaktadır. Ayrıca, önerilen matematiksel modelle gerçekleştirilen atamaların mevcut duruma (el yordamı ve deneyime dayalı yapılan atamalara) kıyasla ne ölçüde iyileşme sağladığını değerlendirmek amacıyla karşılaştırmalı bir analiz de yapılmaktadır.

3.3.1. OP Modeline İlişkin Çözüm ve İstatistikler

İlk olarak, bu çalışma kapsamında ele alınan örnek uygulama problemi için optimal çözüm, Bölüm 3.2.4'te sunulan ve OP olarak adlandırılan model kullanılarak elde edilmiştir. Bu çözüme ait özet istatistikler bu bölümde sunulmaktadır. Bu özet istatistikler, üç tam güne kadar izin kullanan araştırma görevlileri, üç ila yedi tam gün arasında izin kullanan araştırma görevlileri ve doktor araştırma görevlileri ile doktor öğretim üyelerinden oluşan üç farklı gözetmen grubu için ayrı ayrı hesaplanmakta ve Tablo 2'de her bir grup için sunulmaktadır.

Tablo 2.

OP Modeli ile Elde Edilen İş Yüklerinin Gözetmen Gruplarına Göre Özet İstatistikleri.

	3 güne kadar izinli Ar. Gör.	3 ila 7 günlük izinli Ar. Gör.	Dr. Ar. Gör & Dr. Öğr. Üyesi
σ_{OP}^2	2,1	0,9	0,6
min_{OP}^w	45,8	45,8	0,0
mak_{OP}^w	50,8	47,5	2,5
r_{OP}^w	5,0	1,7	2,5
min_{OP}^n	20	15	0
mak_{OP}^n	15	12	1
n_{OP}	-	-	36

Tablo 2'den de görüldüğü üzere, sınav gözetmenliğinden doğan iş yükü ağırlığı araştırma görevlileri üzerinde, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerine göre daha yüksektir. Bu sonuç, ele alınan problemin yapısı, kullanılan parametreler ve önerilen matematiksel model göz önünde bulundurulduğunda, beklenen bir durum olarak nitelendirilmektedir. 3 güne kadar izin kullanan araştırma görevlileri arasında gözlemlenen en büyük toplam iş yükü 50 birime kadar ulaşırken, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri için bu istatistik 2.5 birim seviyesindedir. Benzer şekilde, 3 güne kadar izin kullanan araştırma görevlileri arasında gözlemlenen en küçük toplam iş yükü 45,8 birim iken doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri için bu istatistiğin 0 birim olduğu göz çarpılmaktadır. Bu duruma paralel olarak, 3 güne kadar izin kullanan araştırma görevlileri arasında gözlemlenen en büyük ve en küçük

toplam iş yükleri arasındaki fark 5 iken aynı fark doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri için 2,5 olarak gözlemlenmektedir. Öte yandan, ilgili tablo, ele alınan problem özelinde, 3 güne kadar izin kullanan araştırma görevlileri ile 3-7 gün arasında izin kullanan araştırma görevlilerine final sınavı haftasında 12 ile 15 arasında gözetmenlik görevi atandığını göstermektedir. Bu durum, önerilen matematiksel model sayesinde sadece iş yükü ağırlıklarının dengeli bir biçimde değil aynı zamanda sınav sayılarının da araştırma görevlileri arasında dengeli dağıldığını ortaya koymaktadır. 3 güne kadar izin kullanan araştırma görevlilerine ilişkin iş yüklerinin varyansı 2,1 gibi düşük bir değer göstermektedir. Öte yandan, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri için bu istatistiğin çok daha düşük olduğu görülmekte ve 0,9'a eşit olduğu gözlemlenmektedir. Bu gözlemin arkasında yatan temel neden, modelin doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerine en fazla bir sınav görevi atanmasına izin vermesi ve bu sayede söz konusu gözetmen grubu içinde daha dengeli bir iş yükü dağılımı oluşturmasıdır.

Araştırma görevlilerinin sayıca yeterli olması ve önerilen matematiksel model aracılığıyla sınavlara planlı bir şekilde gözetmen olarak atanması, doktor araştırma görevlileri ile doktor öğretim üyelerine gözetmen olarak duyulan ihtiyacı önemli ölçüde azaltmaktadır. Sınav dönemi boyunca toplam 56 doktor araştırma görevlisi ve doktor öğretim üyesinden yalnızca 36'sının gözetmen olarak görev aldığı görülmektedir. Bu nedenle, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri için en düşük iş yükü ve atanan sınav sayısının alt sınırı sıfırdır. Öte yandan, yine bu grup için, en yüksek toplam iş yükü çözümde 2,5 olarak gözlemlenmiştir. Bu durum, günlük ortalama en fazla üç kişinin bu gruptan görevlendirildiğini göstermekte olup, modelin bir yandan bu grubun üzerindeki iş yükünü sınırlarken diğer yandan araştırma görevlilerini etkin ve verimli bir biçimde kullanmayı başardığını ortaya koymaktadır.

Özetle, elde edilen tüm bulgular, modelin nihai hedefine ulaştığını ve tüm gözetmen grupları için dengeli bir atama planı oluşturulduğunu göstermektedir. Ayrıca tüm gruplara ilişkin toplam iş yüklerinde gözlemlenen düşük varyans ve dar aralık değerleri, bu sonucu desteklemekte; iş yüklerinin birbirinden fazla sapmadan, başka bir ifadeyle adil ve dengeli bir biçimde dağıtıldığını açıkça ortaya koymaktadır.

Modelde kullanılan b_1 ve b_2 parametrelerinin farklı değerleri de ayrıca değerlendirilmiş ve önerilen model bu alternatif parametre setleri için tekrar çalıştırılmıştır. Ancak, bu ek analizlerde elde edilen özet istatistiklerin Tablo 2'de sunulan sonuçlarla benzer bir örüntü sergilemesi nedeniyle, söz konusu sonuçlar ana metne dahil edilmemiş; böylelikle çalışmanın bütünlüğünü korumak ve anlatımda netlik ile sadeliği sağlamak amaçlanmıştır. Bu ek analiz, b_1 parametresinin küçülmeye başlamasıyla birlikte problemin çözümsüzlük riski ile karşılaşabileceğini ortaya koymuştur. Bunun temel nedeni, atama sürecinde doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinin yalnızca küçük bir

bölümüne gözetmenlik görevi verilmesi, büyük bir kısmının ise hiç görevlendirilmemesidir. Bu durum, grup içinde gözlemlenen en büyük ve en küçük iş yükü farkının belirli bir eşikten sonra daha fazla azaltılamamasına yol açmakta ve böylece b_1 parametresinin küçültülmesi ile problem çözümsüz olmaktadır. Buna karşılık, b_2 değerinin artırılması, modelin optimal çözüm bulma süresini kısaltmış ve birden fazla alternatif optimal çözümün ortaya çıkma olasılığını yükseltmiştir. Ayrıca, b_2 değerinin azalmasıyla birlikte optimal çözümün makul sürelerde elde edilemeyeceği de tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan parametre değerleri dikkate alındığında, $b_1 = 3$ ve $b_1 = 4$ için model yaklaşık altı saat boyunca çalıştırılmış ancak bu süre içinde optimal çözüm elde edilememiştir. Bu durum, araştırma görevlisi sayısı ile gözetmen olarak kullanılacak doktor araştırma görevlisi ve doktor öğretim üyesi sayısı arasındaki dengenin modelin çözüm olanaklarını doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla kurumların, kendi sınav organizasyon yapıları ve personel kapasiteleri doğrultusunda bu dengeyi doğru şekilde belirlemesi ve modeli bu parametre setleriyle çalıştırması en uygun yaklaşım olacaktır. Böylece, hem iş yükünün daha dengeli dağıtılması sağlanacak hem de modelin pratik uygulanabilirliği önemli ölçüde artırılabilecektir.

3.3.2. Önerilen Matematiksel Model ile Elde Edilen Çözümlerin Mevcut Durumla Karşılaştırılması

Bu bölümde, önerilen matematiksel modelin ve bununla elde edilen çözüme ilişkin etkinliği değerlendirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda, çalışma kapsamında ele alınan uygulama örneği için model aracılığıyla elde edilen optimal çözüm, mevcut durumda el yordamı ve deneyime dayalı olarak gerçekleştirilen atama uygulamasıyla karşılaştırılmaktadır.

Sınav koordinasyon kurulu geçmiş yıllarda birden fazla farklı atama yöntemi uygulamış olup, karşılaştırmada kullanılan veriler bu kurallar çerçevesinde şekillenmiştir. Geçmiş uygulamalardan ilki, bir gözetmenin bir sınava atanması durumunda, sınav süresine bakılmaksızın, bir sonraki zaman diliminde başka bir sınava gözetmen olarak atanamayacağını öngörmektedir. Bu yaklaşım, el yordamıyla yapılan gözetmen atamalarında operasyonel kolaylık sağlıyor olsa da verimlilik ve etkinlik açısından yetersizdir. Gözetmenlerin sınırlı sayıda olduğu durumlarda, bu uygulama kaynakların verimli kullanılmasını engellemekte ve sınav süreçlerinde aksamalara yol açabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla, sunulan matematiksel modelde, sadece 45 ve 60 dakika süren sınavlara atanan gözetmenlerin bir sonraki periyotta tekrar atanabilmesi mümkün kılınmıştır. Ancak, daha uzun süren sınavlara atanan gözetmenler için, sınav sonrasında dinlenmeleri ve kişisel ihtiyaçlarını gidermeleri amacıyla bir sonraki zaman diliminde herhangi bir sınava

atanamayacakları koşulu getirilmiştir. Bu koşul modelde yer alan Eş. (13)'te verilen kısıt ile sağlanmaktadır. Bu bölümde, ilgili iki çözüm arasında adil bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla, söz konusu kısıt 45, 60, 90, ve 120. dakikalar için aktif hale getirilmiştir. Böylece, her iki atama yöntemi arasındaki farklar daha net bir şekilde ortaya konulmuş ve modelin etkinliğinin daha objektif bir şekilde analiz edilmesi hedeflenmiştir.

Sınav koordinasyon kurulunun bir diğer önceki uygulaması, yedek gözetmenler ile ilgili düzenlemeleri içermektedir. Geçmiş yıllarda her gün için iki yedek gözetmen belirlenmiş ve bu gözetmenler, gün içerisinde sınavlarda meydana gelebilecek olası aksaklıklara müdahale edebilmek amacıyla sınav koordinasyon merkezinde bekletilmiştir. Ancak, bu uygulama kaynakların verimli kullanımını engellemiş ve yedek gözetmenlerin gün boyu başka iş veya faaliyetlerle ilgilenmesini kısıtlayarak verimsiz bir yapıya dönüşmüştür. Bu durumun önüne geçmek amacıyla, önerilen modelde yedek gözetmenliği temsil eden "kukla sınavlar" tanımlanmış ve her sınav periyodunda bu kukla sınavlara iki adet gözetmen atanmasının zorunlu tutulduğu bir kural getirilmiştir. Yedek gözetmenlik görevinin bir tam sınav periyodu, yani 120 dakika sürdüğü varsayılmıştır. Bu varsayım altında, yedek gözetmenlik görevine ilişkin iş yükü ağırlıkları da Tablo (1) ve Eş. (1) temel alınarak belirlenmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, yedek gözetmenlerin belirli periyotlar halinde atanması sağlanarak, merkezde sürekli bekletilmeleri yerine, daha verimli bir işleyiş sağlanmıştır. Yine, ilgili iki çözüm arasında adil bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla, matematiksel modelde kullanılan girdi dosyasından bu kukla sınavlar çıkarılmış ve yedek gözetmen ataması her iki modelde de göz ardı edilmiştir. Bu düzenleme, karşılaştırmanın objektifliğini sağlamak ve modellerin performansını eşit koşullar altında değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

Bu şartlar göz önünde bulundurularak elde edilen çözümlere ilişkin özet istatistikler, Tablo 3'te her bir gözetmen grubu için ayrı ayrı sunulmaktadır. Böylece, model yardımıyla elde edilen çözüm her grup için detaylı bir şekilde değerlendirilebilmektedir.

Tablo 3. OP ve D Modellerine İlişkin Çözümlerden Elde Edilen İş Yüklerinin Gözetmen Gruplarına Göre Özet İstatistikleri.

	3 güne kadar izinli Ar. Gör.	3 ila 7 günlük izinli Ar. Gör.	Dr. Ar. Gör & Dr. Öğr. Üyesi
σ_{OP}^2	0,1	1,7	0,4
min_{OP}^w	39,3	35,6	0
mak_{OP}^w	40,6	38,1	2,5
r_{OP}^w	1,3	2,5	2,5
min_{OP}^n	12	12	0
mak_{OP}^n	18	15	1
n_{OP}	-	-	24
σ_D^2	27,2	9,28	1,5
min_D^w	27,8	25,5	0
mak_D^w	57,1	30,8	3,3
r_D^w	29,3	5,3	3,3
min_D^n	12	11	0
mak_D^n	18	15	1
n_D	-	-	36

Tablo 3'ten de görüldüğü üzere, matematiksel model yardımıyla gerçekleştirilen sınav atamaları sonucunda 3 güne kadar izinli olan araştırma görevlilerine ait iş yükü varyansı (0,1), aynı grup için elle yapılan atamalar sonucu oluşan varyanstan (27,2) çok daha küçüktür. Model yardımıyla gerçekleştirilen sınav atamaları sonucunda, 3 güne kadar izinli olan araştırma görevlileri arasında gözlemlenen en büyük iş yükü 40,6 iken en küçük iş yükü 39,3'tür. Buna karşılık, aynı grup için elle yapılan atamalarda en büyük iş yükü 57,1, en küçük iş yükü ise 27,8 olarak gözlemlenmiştir. Bu durum, ilgili gözetmen grubuna ait iş yükü aralıklarına da yansımaktadır. Tüm bu bulgular, matematiksel modelin 3 güne kadar izinli olan araştırma görevlileri arasında iş yükünü dengeli bir şekilde dağıttığını ve atama sürecinde etkin bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır. Benzer örüntüler ve bulgular, 3 ila 7 gün arasında izinli olan araştırma görevlileri için de gözlemlenmiştir.

Beklendiği üzere, matematiksel modelle gerçekleştirilen atamalar, elle yapılan atamalara kıyasla doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden

oluşan gruba ilişkin özet istatistiklerde de iyileşmeler sağlamıştır. Bu iyileşmeler, araştırma görevlilerine kıyasla görece daha düşük seviyede kalmıştır. Bunun temel nedeni, her iki çözüm yönteminde de doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan gruba en fazla bir sınav görevinin verilmesidir. Bu durum, doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri arasında doğal bir denge oluşmasına yol açmakta ve iş yükü dağılımında büyük farklılıklar görülmesini engellemektedir. Bu gruptaki en belirgin iyileşme ilgili dönemde gözetmen olarak kullanılan öğretim sayısında gözlemlenmektedir. Bu sayı, elle yapılan atamalarda 36 iken, matematiksel modellerle gerçekleştirilen atamalar sonucunda %50'lik bir azalma göstererek 24'e kadar düşmüştür.

Sonuç olarak hem araştırma görevlilerinden oluşan grupta hem de doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan grupta, matematiksel modelin sunduğu avantajlar etkili bir şekilde kullanılmıştır. Matematiksel model aracılığıyla, araştırma görevlileri arasında gözetmenlik görevlerinin daha dengeli ve adil bir şekilde dağıtılması sağlanmış; özellikle iş yükü varyanslarındaki dengesizlikler belirgin ölçüde azaltılmıştır. Doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyelerinden oluşan gruba atanan sınav gözetmenliği görevi sayısında da azalma sağlanmış, böylece bu grup için görev dağılımı daha dengeli bir hale getirilmiştir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, bir vakıf üniversitesinde gerçekleştirilen sınavlara yönelik gözetmen atama problemi ele alınmakta ve bu problem için bir karma tam sayılı programlama modeli önerilmektedir. Gözetmen atamaları sürecinde iş yükünün dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlamak ve operasyonel verimliliği artırmak amacıyla modelin amaç fonksiyonu, atama maliyetlerini en küçüklemek üzerine kurgulanmaktadır. Bu modelde, gözetmenlik atama sürecinde araştırma görevlilerine öncelik verilmekte; doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri ise yalnızca gerekli durumlarda atama sürecine dâhil edilmektedir. Model, aynı zamanda gözetmenler arası iş yükü farklarının belirli bir seviyeyi aşmamasını ve sınav sürelerine bağlı olarak yeterli dinlenme sürelerinin sağlanmasını içeren kısıtları da içermektedir.

Elde edilen bulgular, modelin mevcut el yordamına dayalı atama yöntemlerine kıyasla daha dengeli ve verimli bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Araştırma görevlileri için iş yükü varyansı büyük ölçüde azaltılmış, iş yükleri daha dar bir aralıkta dengelenmiştir. Doktor araştırma görevlileri ve doktor öğretim üyeleri açısından ise model, bu grupta gözetmenlik görevini üstlenen toplam akademik personel sayısını önemli ölçüde azaltmakta ve görev dağılımını daha dengeli bir yapıya kavuşturmaktadır.

Bu çalışmanın bulguları, gözetmen atama süreçlerinde matematiksel modellerin operasyonel verimliliği önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. Ancak, modelin uygulama sürecinde karşılaşılan bazı sınırlamalar da mevcuttur. Örneğin, b_1 ve b_2 parametreleri gibi iş yükü farklarını belirleyen üst limitlerin azaltılması, çözüm süresini uzatabilmekte ve optimal çözüme ulaşma sürecini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmalarda, bu tür parametrelerin etkisini daha iyi değerlendirebilmek adına, sezgisel veya yaklaşımsal algoritmaların geliştirilmesi ve çözüm süresini hızlandırmaya yönelik çalışmalar ilginç ve kıymetli olabilir. Ayrıca, bu modelin farklı üniversitelerde ve farklı atama kuralları göz önüne alınarak genelleştirilebilmesi üzerinde çalışılabilir. Özellikle, büyük ölçekli sınav organizasyonlarında, modelin performansı daha kapsamlı bir şekilde test edilerek, modelin farklı akademik ortamlar için nasıl adapte edilebileceği incelenmelidir. Son olarak, modelin doktor araştırma görevlileri ile doktor öğretim üyelerinin ve araştırma görevlilerinin kişisel tercihlerine yönelik atamaları daha fazla dikkate alan çok amaçlı bir yapıya dönüştürülmesi, gelecekteki çalışmalarda ele alınabilecek önemli bir geliştirme alanı olarak değerlendirilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Gerçekleştirilen çalışmada Arya Sevgen MİSİÇ, fikrin oluşması, tasarımın yapılması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında; Oktay KARABAĞ, fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında; Murat ÖZKUT, fikrin oluşması, tasarımın yapılması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, kullanılan malzemelerin temin edilmesi, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

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

Kaynaklar

Alfaro, C. A., Perez, S. L., Valencia, C. E. ve Vargas, M. C. (2022). The assignment problem revisited. *Optimization Letters*, 16(5), 1531–1548. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11590-021-01791-4>

- Awad, R. M. ve Chinneck, J. W. (1998). Proctor assignment at Carleton University. *Interfaces*, 28(2), 58–71. Doi: <https://doi.org/10.1287/inte.28.2.58>
- Baş, İ., Tosun, Ö. ve Bayram, V. (2021). Robot yer seçimi ve işçi-istasyon ataması düşünceleri altında hat dengeleme optimizasyonu: Bir bulaşık makinesi fabrikası vaka analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(4), 495–503. Doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2021.48961>
- Daş, G. S., Gzara, F. ve Stütze, T. (2020). A review on airport gate assignment problems: Single versus multi-objective approaches. *Omega*, 92, 102146. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102146>
- Geçici, E. ve Güler, M. G. (2020). Hemşire çizelgeleme problemi için bir karar destek sistemi uygulaması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 749–757. Doi: <https://dx.doi.org/10.5505/pajes.2019.86402>
- Hosny, M. ve Al-Olayan, M. (2014). A mutation-based genetic algorithm for room and proctor assignment in examination scheduling. *2014 Science and Information Conference*, 260–268. Doi: <https://doi.org/10.1109/SAI.2014.6918199>
- Kağnıcıoğlu, C. H. ve Yıldız, A. (2006). 0-1 tamsayılı bulanlık hedef programlama yaklaşımı ile sınav görevi atama probleminin çözümü. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 413–429. Erişim adresi: <https://library.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php?pdf=0003113&lng=>
- Koide, T. (2015). Mixed integer programming approach on examination proctor assignment problem. *Procedia Computer Science*, 60, 818–823. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.244>
- Koide, T. (2019). Combinatorial optimization for university examination proctor assignments. In *The International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists*, 1–6. Erişim adresi: https://www.iaeng.org/publication/IMECS2019/IMECS2019_pp516-519.pdf
- Küçük, M. K., Telliöglü, B. ve Çavdur, F. (2020). Sınav çizelgeleme probleminde sınıf ve gözetmen atamaları için iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(2), 789–812. Doi: <https://doi.org/10.17482/uumfd.713329>
- Mansour, N. ve Taha, M. K. (2015). Bee Colony algorithm for proctors assignment. *Information Technology in Industry*, 3(2), 59–63. Erişim adresi: <https://it-in-industry.com/issue/archive/papers/42.html>
- Martí, R., Lourenço, H., ve Laguna, M. (2000). Assigning proctors to exams with scatter search. In *Computing Tools for Modeling, Optimization and Simulation: Interfaces in Computer Science and Operations Research*, 215–227, Boston, MA. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4567-5_12

- Matci, D. K. ve Acar, I. (2019). Modeling and optimization of the exam invigilator assignment problem based on preferences. *Turkish Journal of Engineering*, 3(3), 140–148. Doi: <https://doi.org/10.31127/tuje.467003>
- Nguyen, V., Mak-Hau, V., Moran, B. ve Novak, A. (2022). An efficient and exact algorithm for military timetabling and trainee assignment problems. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108192. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108192>
- Nishikawa, T. ve Miwa, H. (2022). Algorithm based on local search method for examination proctors assignment problem considering various constraints. In *The 13th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS-2021)*, 23–31, Springer International Publishing. Erişim adresi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-84910-8_3
- Özçalıcı, M. (2016). Sınavlara gözetmen atama problemlerinin çalışma sayfaları ile optimizasyonu. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(3), 103–114. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/niguiibfd/issue/24557/260074>
- Özçalıcı, M. (2017). Sınavlara gözetmen atama probleminin çözümü için takas bazlı bir algoritma önerisi. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(2), 492–506. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/459186>
- Ozturk, Z. K., Ozturk, G., ve Sagir, M. (2010). An automated multi-objective invigilator-exam assignment system. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 9(02), 223–238. Doi: <https://doi.org/10.1142/S0219622010003798>
- Sagir, M., ve Ozturk, Z. K. (2010). Exam scheduling: Mathematical modeling and parameter estimation with the Analytic Network Process approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 52(5–6), 930–940. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.05.029>
- Pentico, D. W. (2007). Assignment problems: a golden anniversary survey. *European Journal of Operational Research*, 176(2), 774–793. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.09.014>
- Sriram, C. ve Haghani, A. (2003). An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(1), 29–48. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(02\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(02)00004-6)
- Supçiller, A. A. ve Erbilek, P. (2021). Analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama ile bir üniversite kütüphanesindeki kısmi zamanlı personellerin çizelgelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri*

Dergisi, 27(1), 1-12. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/60238/876111>

Varlı, E., Alağaç, H. M., Eren, T. ve Özder, E. H. (2017). Goal programming solution of the examiner assignment problem. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(2), 105-118. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bilgesci/issue/32353/341552>

Wong, T. C., Xu, M. ve Chin, K. S. (2014). A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: a case study in an emergency department. *Computers & Operations Research*, 51, 99-110. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.05.018>

Yaldır, A. ve Baysal, C. (2012). Evrimsel hesaplama tekniği kullanarak sınav takvimi otomasyon sistemi geliştirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 105-122. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20502/218268>

Zeghal, F. M., ve Minoux, M. (2006). Modeling and solving a crew assignment problem in air transportation. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 187-209. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.11.028>