

Öğrenci Memnuniyetini ve Kaynak Etkinliğini Esas Alan Bir Sınav Planlama Modeli: Matematiksel Modelleme ve Uygulamalı Bir Karar Destek Sistemi TasarımıEren Çelik¹ , Ezgi Kıran¹ , Asya Aybala Özdi¹ , Banu İçmen Erdem¹ **ÖZET**

Amaç: Bu çalışmanın amacı, üniversitelerde sınav çizelgeleme sürecinin daha etkin, adil ve tekrar edilebilir şekilde yürütülmesi için çok amaçlı bir matematiksel model geliştirmek ve bu modeli uygulamaya geçirecek bir karar destek sistemi (KDS) tasarlamaktır.

Yöntem: Çalışmada, zorluk derecesi, kapasite, gözetmen uygunluğu ve zaman çakışmaları gibi kısıtları içeren iki amaçlı bir matematiksel model geliştirilmiş; model GAMS ortamında çözülmüş ve Excel VBA ile kullanıcı dostu bir karar destek sistemi tasarlanmıştır.

Bulgular: Model ve karar destek sistemi, aynı gün içinde birden fazla zor sınava giren öğrenci oranını azaltarak öğrenci memnuniyetini artırmış ve kapasite ve gözetmen kullanımında denge sağlamıştır. Geliştirilen KDS, sınav çizelgesi oluşturma süresini %60'a kadar azaltmış ve akademik birimlerin güncellenen verilerle daha hızlı uyum sağlayabilmesini mümkün kılmıştır.

Özgünlük: Bu çalışma literatüre üç temel katkı sunmaktadır: (1) Öğrenci zorluk algısına dayalı olarak sınav zorluk puanlarının modele entegre edilmesi, (2) Çok amaçlı bir matematiksel model ile üniversite sınav çizelgeleme probleminin eşzamanlı olarak kaynak etkinliği ve öğrenci yükü dengesi açısından optimize edilmesi, (3) Modelin karar destek sistemine dönüştürülerek kullanıcıya açık, şeffaf ve tekrar edilebilir bir sınav çizelgeleme süreci sunması.

Anahtar Kelimeler: Sınav Çizelgeleme, Karar Destek Sistemi, Matematiksel Optimizasyon, Zorluk Derecesi.

JEL Kodları: C61, I23, O22.

Student Satisfaction and Resource Efficiency-Oriented Exam Scheduling Model: Mathematical Modelling and an Applied Decision Support System Design**ABSTRACT**

Purpose: This study aims to develop a multi-objective mathematical model for ensuring a more effective, fair, and repeatable exam scheduling process in universities and to implement a decision support system (DSS) that applies this model.

Methodology: A bi-objective mathematical model considering constraints such as exam difficulty, classroom capacity, invigilator availability, and time conflicts was developed. The model was solved in GAMS, and a user-friendly decision support system was implemented using Excel VBA.

Findings: The model and DSS reduced the number of students facing multiple difficult exams on the same day, thereby improving student satisfaction. It also achieved balanced use of capacity and invigilators. The system reduced the schedule preparation time by up to 60% and enabled faster adaptation to updated academic data.

Originality: This study contributes to the literature in three key ways: (1) Integrating student-perceived difficulty scores into the model, (2) Simultaneously optimizing resource efficiency and workload balance via a multi-objective model, and (3) Transforming the model into a transparent, repeatable, and user-accessible DSS for exam scheduling.

Keywords: Exam Scheduling, Decision Support System, Mathematical Optimization, Difficulty Level.

JEL Codes: C61, I23, O22.

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Banu İçmen Erdem, bicmen@eskisehir.edu.tr

DOI: 10.51551/verimlilik.1675882

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 15.04.2025 | Kabul / Accepted: 28.07.2025

Atıf/Cite: Çelik, E., Kıran, E., Özdi, A.A. ve İçmen Erdem, B. (2025). "Öğrenci Memnuniyetini ve Kaynak Etkinliğini Esas Alan Bir Sınav Planlama Modeli: Matematiksel Modelleme ve Uygulamalı Bir Karar Destek Sistemi Tasarımı", *Verimlilik Dergisi*, 59(4), 853-870.

EXTENDED ABSTRACT

Exam scheduling is essential to the smooth operation of university academic programs. Time management, effective resource use, and raising student satisfaction are all greatly impacted by a well-designed scheduling procedure. However, limited classroom capacities and invigilator constraints make the exam scheduling problem increasingly complex and challenging to solve.

Traditional exam scheduling approaches at the institution under study primarily relied on heuristic methods without any systematic optimization model. This frequently resulted in a number of issues, such as overlapping exams, wasteful use of resources, and elevated student anxiety, especially when several challenging exams were planned for the same day.

The main purpose of this study is to propose a multi-objective mathematical model to generate more efficient, fair, and repeatable exam timetables by simultaneously optimizing student satisfaction and resource efficiency. Additionally, a decision support system (DSS) was developed to ensure practical usability and fast implementation of the proposed model.

The proposed model integrates multiple constraints, including classroom capacity, exam difficulty levels, invigilator availability, and time conflicts. A bi-objective mathematical model was designed to (1) minimize the total number of classrooms used and (2) minimize the total difficulty scores for all student groups.

To support practical implementation, a user-friendly Excel-VBA-based DSS was developed. The system allows flexible data input, automatic scheduling, conflict detection, and real-time reporting.

The difficulty levels of exams were determined using a student feedback-based survey and expert opinions. A Likert-scale questionnaire (1 = very easy, 5 = very difficult) was conducted with 90 students, and the results were used to assign difficulty scores to each course. These scores were incorporated into the model to minimize clustering of highly difficult exams on the same day or in consecutive sessions.

Findings

GAMS was used to solve the mathematical model, which was then applied to a real dataset that included three centrally scheduled exams and twenty-four departmental exams spread over two weeks and six classrooms and fifty time slots.

- There were substantially less students taking several challenging exams on the same day.
- Classroom and invigilator resources were utilized more efficiently.
- The time required to generate a feasible exam schedule decreased when using the DSS.

Comparisons with historical schedules show a notable improvement in balancing student workload and minimizing resource conflicts.

Furthermore, the DSS generated schedules within seconds, automatically identified constraint violations, and allowed for rapid scenario testing when academic data changed.

Discussion and Conclusion

This work provides an integrated method to exam scheduling by combining mathematical optimization with a user-friendly decision support system. The findings highlight three important contributions:

1. Scheduling that takes into account what is considered the level of difficulty by the students.
2. Development of a multi-objective optimization model to balance student workload and maximize resource efficiency simultaneously.
3. Design and implementation of a practical DSS to facilitate repeatable, transparent, and adaptive scheduling.

The proposed system reduces scheduling conflicts, improves fairness, and enhances operational efficiency. Future studies might concentrate on expanding the model to include more criteria, like faculty preferences and physical accessibility limitations, and implementing the DSS on a web-based platform for wider institutional adoption.

1. GİRİŞ

Üniversitelerde yürütülen akademik programların başarılı bir şekilde sürdürülmesi, dersler ve sınavlar gibi kritik unsurların doğru planlanmasına bağlıdır. Bu doğrultuda çizelgeleme, herhangi bir kurumun operasyonel süreçlerinde öncelikli olarak ele alınması gereken önemli bir sorundur. Çizelgeleme sürecinin uygun biçimde tasarlanması; zaman yönetimi, kaynak kullanım verimliliği ve katılımcı memnuniyeti açılarından büyük önem taşımaktadır.

Çizelgeleme, üretim ve hizmet sektörlerinde kaynakların etkin kullanımını sağlamak amacıyla sıklıkla karşılaşılan bir optimizasyon problemidir (Vurğun Koç ve Güner, 2023). Üretim hatlarında ve makine çizelgeleme problemlerinde sıkça karşımıza çıkan bu problemin, hizmet ve eğitim sektörlerinde de farklı uygulama alanları bulunmaktadır (Durna ve diğerleri, 2022; Çiçek ve Kamışlı Öztürk, 2020; Ergül ve Kamışlı Öztürk, 2017).

Sınav çizelgeleme, öğrenci sayısının giderek artması ve mevcut derslik/gözetmen kapasitesinin sınırlı olması gibi sebeplerden dolayı üniversiteler için çözümlenmesi güç bir problem olarak öne çıkmaktadır. Yanlış veya verimsiz planlanan bir sınav takvimi; öğrencilerde performans düşüklüğüne, sınav çakışmalarına, derslik yetersizliklerine ve gözetmen dağılımlarında ortaya çıkan sorunlar gibi çeşitli olumsuz sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle hem öğrencilerin hem de akademik personelin gereksinimlerini dikkate alan, esnek ve etkin bir sınav planlamasına duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Bu makalede incelenen eğitim kurumundaki mevcut uygulamada sınav çizelgeleri ağırlıklı olarak sezgisel yöntemlerle hazırlanmakta; ders saatine öncelik verilerek sınavlar bu saatlere atanmakta veya zaman çakışması olduğunda “en uygun boşluk” ilkesine göre farklı zaman dilimlerine kaydırılmaktadır. Bu süreçte resmi olarak belirlenmiş, katı kurallara dayanan bir model ya da sistematik bir optimizasyon yaklaşımı bulunmamaktadır. Dolayısıyla süreç hem zaman almakta hem de kimi durumlarda istenmeyen sonuçlara yol açabilmektedir. Aşağıda, gözlenen temel sorunlar ve üzerinde durulması gereken kilit noktalar özetlenmiştir:

(1) *Öğrenci Memnuniyetindeki Azalma*: Aynı gün içinde “zor” kabul edilen birden fazla sınava giren öğrencilerde stres düzeyinin yükseldiği, bunun da genel memnuniyet ve başarı seviyelerini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Özellikle birbirine yakın saatlerde yapılan sınavların, öğrencilerin hazırlanma sürelerini kısalttığı ve performans düşüklüğüne yol açtığı gözlemlenmektedir.

(2) *Çakışan Sınavlar ve Zaman Aralıklarının Verimsiz Kullanımı*: Birden fazla dersi alan öğrencilerin, rastlantısal veya yetersiz planlama neticesinde sınav çakışması yaşamaları hâlâ ihtimal dâhilindedir. Ayrıca, derslik kısıtları gözetilmeden yapılan atamalar nedeniyle bazı sınav salonları gereksiz yere boş kalabilirken bazıları yoğun şekilde kullanılabilir. Bu durum, derslik ve sınav salonlarının verimsiz kullanıldığını göstermektedir.

(3) *Kaynakların (Derslikler/Gözetmenler) Yetersiz kullanılması veya İsraf Edilmesi*: Mevcut sezgisel atama yaklaşımında, derslik kapasitesi ve gözetmen dağılımı bazen gerçek ihtiyaçlar göz ardı edilerek yapılmaktadır. Bu da bazı sınavlarda gereksiz yere büyük kapasitede salonların kullanımı veya tersi şekilde kapasite yetersizliği gibi durumlara neden olmaktadır. Benzer şekilde, müsait gözetmen sayısı zaman zaman doğru hesaba katılmadığından, gözetmenlerin uygunluk durumunu dengelemek zorlaşabilmektedir.

(4) *Verilerin Sürekli Güncellenmesi Gerekliliği*: Akademik takvimde farklı dönemlerde derslik sayıları, öğrenci nüfusundaki değişiklikler veya öğretim elemanı durumları nedeniyle verilerde ani güncellemeler olabilmektedir. Dolayısıyla, her güncellemede sıfırdan çizelge oluşturmak hem zaman kaybına hem de program hatalarına yol açabilmektedir.

(5) *Zorluk Derecesi (Öğrenci Geri Bildirimi) Unsurunun Göz Ardı Edilmesi*: Mevcut çizelgede, derslerin “zor” ya da “kolay” kabul edilmesi büyük oranda deneyim ve sezgisel görüşler üzerinden yürümekte; öğrencilerin söz konusu derse dair genel görüşleri ve başarısızlık oranları sistematik biçimde dikkate alınmamaktadır. Bu durum, özellikle üst sınıfların mesleki derslerinde sorun oluşturmakta, sınavların aynı gün veya birbirine yakın saatlerde birikmesi öğrenci performansını olumsuz etkilemektedir.

(6) *Planlamanın Tekrar Edilebilir ve Sistematik Olmaması*: Kimi dönemlerde elde edilen “uygun” çizelgeler, esasen bireysel uzmanlık ve tecrübeye dayanmaktadır; bu da çizelge hazırlayan kişi veya komisyon değiştiğinde aynı kalitede sonuç almayı güçleştirmektedir. Tekrar edilebilir ve herkese açık bir yöntem veya yazılım bulunmadığından, şeffaflık ve süreklilik sağlanamamaktadır.

Bu sorunların üstesinden gelebilmek adına, öncelikle bir matematiksel model kurgulayarak problemin temel bileşenlerinin (derslik kapasitesi, gözetmen sayısı, derslerin zorluk dereceleri, öğrenci sayıları vb.) bilimsel yöntemlerle ele alınması hedeflenmiştir. Ardından da bu modelin sunduğu prensipleri kolay ve hızlı bir şekilde uygulayabilecek bir karar destek sistemi geliştirilmesi planlanmıştır. Bu sayede sınavların hangi zaman aralıklarına atanacağı ve gerekli derslik sayısı daha kesin biçimde belirlenebilecek; öğrencilerin aynı

gün içinde yüksek zorluk düzeyine sahip birden fazla sınava girmek zorunda kalmaları en aza indirilebilecek; ayrıca gözetmen ve derslik kaynaklarının kullanım etkinliği artırılacaktır.

Bu çalışmada, sınav çizelgeleme problemine matematiksel model ve karar destek sistemleri temelinde bir çözüm yaklaşımı sunulmaktadır. İlk aşamada, literatürdeki benzer çalışmalar incelenerek problem tanımları, kullanılan model ve algoritmalar değerlendirilmiştir. Ardından, ilgili kurumdaki çizelgeleme süreci irdelenmiş ve bu sürecin aksayan yönlerini gidermeye yönelik bir matematiksel model tasarlanmıştır. Geliştirilen modelin uygulamada yaygın kullanılabilmesi ve kullanıcı dostu bir ara yüz sunabilmesi için Excel VBA destekli bir karar destek sistemi de oluşturulmuştur. Böylece hem uygun sınav programlarının üretilmesi hem de bu programların kolayca güncellenip yönetilebilmesi amaçlanmıştır.

Bu makalede öncelikle sınav çizelgeleme probleminin kapsamı ve literatürdeki yaklaşımlar üzerinde durulacak, sonrasında geliştirilen matematiksel model tanıtılacak ve elde edilen sonuçlar detaylandırılacaktır. Çalışmanın sonunda ise önerilen model ve karar destek sisteminin sağlayabileceği katkılar tartışılacak ve gelecekte yapılabilecek geliştirmelere değinilecektir.

Bu çalışmanın literatüre ve uygulamaya sağladığı temel katkılar aşağıda özetlenmiştir:

- Üniversitelerde sınav çizelgeleme sürecine yönelik iki amaçlı yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir.
- Modelde, öğrenci memnuniyetini artırmaya yönelik olarak sınav zorluk dereceleri sistematik biçimde dikkate alınmıştır.
- Geliştirilen model, derslik kapasitesi, gözetmen uygunluğu ve zaman çakışmaları gibi çok sayıda kısıtı aynı anda göz önüne alarak gerçekçi çözümler üretmektedir.
- Modelin uygulamaya geçirilebilmesi için Excel-VBA tabanlı bir Karar Destek Sistemi tasarlanmış ve kullanıcı dostu bir ara yüzle entegrasyon sağlanmıştır.
- Önerilen yaklaşım, mevcut sezgisel yöntemlere kıyasla hem zaman tasarrufu sağlamış hem de tekrar edilebilir, şeffaf ve optimize edilmiş çizelgeler üretmiştir.

Makalenin ikinci bölümünde, sınav çizelgeleme problemlerine ilişkin literatürde yer alan yöntemler ve çözüm yaklaşımları incelenmiştir. Üçüncü bölümde, önerilen iki amaçlı matematiksel modelin detayları sunulmuş; modelde kullanılan parametreler, karar değişkenleri ve kısıtlar açıklanmıştır. Ayrıca, öğrenci geri bildirimlerine dayalı olarak derslerin zorluk derecelerinin belirlenme süreci ve Excel-VBA tabanlı karar destek sisteminin yapısı detaylandırılmıştır. Dördüncü bölümde, modelin ve karar destek sisteminin uygulama sonuçları paylaşılmış ve çözüm performansları karşılaştırılmıştır. Beşinci ve son bölümde ise, elde edilen bulgular ışığında genel değerlendirmeler yapılmış ve çalışmanın sağladığı katkılar özetlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Üniversitelerde sınav çizelgeleme ve ders programı oluşturma süreçleri, öğrenci sayısının giderek artması ve kaynakların kısıtlı olması nedeniyle çözümü zorlayıcı problemler olarak öne çıkmaktadır. Literatürde bu konuyu ele alan çalışmalar, genellikle matematiksel modelleme, sezgisel ya da meta-sezgisel yöntemler kullanarak kapsamlı çözüm önerileri geliştirmektedir.

Köse Küçük ve diğerleri (2020), sınav zaman dilimlerinin belirlenmesi sonrasında derslik atama ve gözetmen ataması şeklinde iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı sunmuştur. Gerçek verilere dayalı bu yaklaşım hem öğrenci memnuniyetini artırmayı hem de öğretim üyelerinin tercihlerini gözetenek zaman ve iş gücü tasarrufu sağlamayı amaçlamıştır. Tapkan (2019) ise ek kısıtlar (örneğin günde sadece iki sınav, sınavlar arası minimum dinlenme süresi ve öğrencilerin “zor” olarak nitelendirdiği derslerin aynı gün ardışık gelmemesi gibi) dâhil edilerek oluşturduğu bir matematiksel model yardımıyla, büyük ölçekli sınav çizelgeleme problemlerinin nasıl iyileştirilebileceğini incelemiştir.

Gashgari ve diğerleri (2018), sınav çizelgeleme problemini çözmeye yönelik kullanılan teknikleri kapsamlı şekilde inceleyerek, sezgisel, meta-sezgisel ve doğrusal programlama temelli yaklaşımları karşılaştırmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin avantajları, sınırlılıkları ve uygulama alanları sınıflandırılarak özetlenmiştir.

Acar ve Şevkli (2013), sınav çizelgeleme problemini önce matematiksel model yardımıyla formüle etmiş ancak büyük boyutlu veri setlerinin zaman açısından çözümü zorlaştırdığını görerek sezgisel bir yöntem geliştirmiştir. Gerçek bir üniversitenin final sınav verileriyle uygulanan bu yöntem, sınav çakışmalarını engelleyerek aynı anda birden fazla sınava girmesi gereken öğrenci sayısını sıfıra indirmeyi başarmıştır. Benzer şekilde, Sancar Edis ve Edis (2019)’de sınavları “kolay”, “orta” ve “zor” olarak sınıflandırıp bir tam sayılı programlama yaklaşımı kullanmış ve aynı gün birden fazla “zor” sınavla karşılaşan öğrenci sayısını minimize etmeye odaklanmıştır. Bu amaçla önce derslerin zorluk dereceleri belirlenmiş, ardından zorluk değerlerinin yüksek olduğu dersleri birbirinden olabildiğince uzak zaman aralıklarına atayacak bir model geliştirilmiştir.

Dowsland ve Thompson (2005), sınav çizelgeleme problemini çözmek için Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) algoritmasını uygulamış ve ANTCOL adı verilen bir yaklaşım geliştirmiştir. Grafik boyama temelli bu model, zaman çakışmalarını önlemeye odaklanmakla birlikte, gerçek sınav verilerinde karşılaşılan ek kısıtlar için çeşitli iyileştirmeler ve çeşitlendirme stratejileri de sunmuştur.

Zhu ve diğerleri (2020), sınav çizelgeleme problemini GRA (Group Role Assignment with Constraints) metodolojisiyle modelleyerek çözmüş, bu kapsamda sınavları roller, sınav yer ve zamanlarını ise kaynak olarak ele almışlardır. Model, kapasite kısıtları, sınav çakışmaları ve öğrenci başına günlük sınav sınırı gibi hem sert hem yumuşak kısıtları kapsayacak şekilde genişletilmiştir.

Çizelgeleme problemlerinin kapsamı, yalnızca sınavların değil ders programlarının da düzenlenmesini içerecek şekilde genişletilerek ele alınabilmektedir. Küçüksille ve Tokmak (2014), ders çizelgeleme sorununu Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritmasıyla çözmek üzere bir yazılım geliştirmiş ve bu yazılımın sert kısıtları tamamen, yumuşak kısıtları ise büyük oranda sağladığını göstermiştir. Eren ve diğerleri (2018), üniversite ders çizelgeleme problemine 0-1 tamsayılı programlama yaklaşımı uygulamış, akademisyen ve öğrenci tercihlerini gözleterek %16'ya varan bir iyileşme elde etmiştir. Bu çalışmalar, sezgisel ve matematiksel model temelli yöntemlerin, akademik planlamada ne kadar etkili olabileceğini ortaya koymaktadır.

Çizelgeleme ile ilgili çok amaçlı optimizasyon örneklerinde ise farklı skalarizasyon yaklaşımları devreye girmektedir. Kasimbeyli ve diğerleri (2015, 2019), ağırlıklı toplam ve ϵ -kısıtlama gibi yöntemlerin çok amaçlı problemler üzerindeki etkilerini detaylıca karşılaştırmış ve bu yaklaşımların çoklu kriterleri aynı anda dikkate alan problemlerde ne şekilde kullanılabileceğine dair önemli çıkarımlar sunmuştur. Sınav çizelgeleme problemleri de çoğunlukla aynı anda birden fazla hedefi (öğrenci memnuniyeti, kaynak tasarrufu vb.) optimize etmeyi gerektirdiğinden bu tür yöntemler sıklıkla tercih edilebilmektedir.

Kamışlı Öztürk ve diğerleri (2024) pandemi koşullarında üniversite sınavlarının çizelgelenmesine yönelik çok amaçlı bir matematiksel model önerilmiş ve bu modeli destekleyen genetik algoritma tabanlı web tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Model, sınıf doluluk oranlarının azaltılması, öğrenci etkileşiminin en aza indirilmesi ve sınav zorluk seviyelerine göre kategorilendirme gibi pandemi kaynaklı yeni kısıtları dikkate alarak sekiz bölüm için eşzamanlı çizelgeleme başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Thepphakorn ve diğerleri (2024) sınav çizelgeleme problemini çözmek için çok amaçlı bir tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Model, sınav çakışmalarının önlenmesi, öğrenciler için dengeli sınav dağılımı sağlanması ve gözetmenlerin uygunluklarına göre atama yapılması gibi çeşitli hedefleri bir arada ele almaktadır. Yöntem, klasik tek amaçlı modellere kıyasla daha esnek ve uygulanabilir çözümler sunmakta; çözüm süreci ise Gurobi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek verilerle yapılan deneyler, modelin pratikte etkili ve verimli çizelgeler oluşturabildiğini göstermektedir.

Burke ve diğerleri (2004) bilgisayarların işlem hızındaki artışın, arama algoritmalarının daha fazla iterasyon yapmasına olanak tanısa da her zaman daha iyi çözümler üretip üretmediğini sorgulamaktadır. Bu amaçla, çalışma süresi önceden belirlenebilen iki yerel arama yöntemi sunulmuştur. Yapılan deneyler, bu iki yöntemin sınav çizelgeleme problemlerinde önceki en iyi sonuçlardan daha kaliteli çözümler ürettiğini göstermektedir. Ancak, bu kalite artışı daha uzun çalışma süresi gerektirir. Çalışmada ayrıca kalite ile çalışma süresi arasındaki bu denge ve yürütme süresinin doğru tahmini konuları ele alınmaktadır.

Güler ve Geçici (2020) sınav çizelgeleme probleminin artan öğrenci sayıları ve kısıtlı kaynaklar nedeniyle manuel olarak çözülmesinin giderek zorlaştığı vurgulanmakta ve bu probleme yönelik pratikte kullanılabilir bir çözüm sunulmaktadır. Literatürde yüksek kaliteli çözümler sunan pek çok model bulunsa da çoğu karar destek sistemine entegre edilmemiştir. Bu eksikliği gidermek amacıyla, Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne ait sınav çizelgeleme problemini çözmek için karışık tamsayılı programlama modeli geliştirilmiş ve bu model bir elektronik tablo tabanlı karar destek sistemine entegre edilmiştir. Önerilen sistem, teknik bilgi gerektirmeden ortalama bir kullanıcı tarafından kolayca kullanılabilir; minimum çakışma ve ardışık sınav içeren programlar üretmekte, akademik ve öğrenci taleplerini dikkate almaktadır.

Mandal ve diğerleri (2020) sınav çizelgeleme problemini çözmek için önerilen kısmi sınav atama yaklaşımı incelenmiştir. Geleneksel yöntemler tüm sınavları tek seferde zaman dilimlerine ve salonlara atayıp ardından bu başlangıç çözümünü iyileştirmeye çalışırken, bu çalışmada sınavlar parça parça çizelgelenmekte, her parça için iyileştirme yapılmakta ve süreç tüm sınavlar atanıncaya kadar devam etmektedir. Yaklaşım, kısmi grafik sezgisel sıralama ile modifiye edilmiş Great Deluge algoritmasını (mGD) birleştirerek PGH-mGD yöntemi olarak sunulmuştur.

Almeida ve diğerleri (2024) ise tez savunma çizelgeleme problemi için öğretim üyesi uygunluğu, öğrenci tercihleri ve zamanlama verimliliğini eş zamanlı optimize eden çok amaçlı bir model önermiştir. Model, kısıtların ihlalini önleyen doğrusal programlama yapısıyla formüle edilmiştir ve gerçek bir uygulama ile

doğrulanmıştır. Bu çalışma, sınav ve savunma planlaması problemlerine çok kriterli yaklaşımın etkinliğini göstermektedir.

Sonuç olarak, sınav ve ders programı çizelgeleme problemlerine yönelik çalışmalar; bir yandan öğrenci ve akademisyen ihtiyaçlarını gözetken, diğer yandan kısıtlı kaynakları verimli kullanmayı hedefleyen optimizasyon modelleri ve sezgisel/meta-sezgisel yöntemlerin etkinliğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda geliştirilen modellerin gerçek veri setleri üzerinde uygulanabilirliği ve elde edilen iyileştirme oranları, üniversitelerin planlama süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır.

3. YÖNTEM

3.1. Matematiksel Model

Sınav çizelgeleme probleminin daha sistematik ve etkin bir şekilde çözülmesi için oluşturulan matematiksel model hem öğrenci hem de akademik personel açısından önemli kısıtları göz önüne alarak geliştirilmiştir. Bu modelin temel amacı, öğrencilerin “zor” olarak nitelendirdiği derslerin aynı zaman diliminde ya da arka arkaya gelmesini engellerken, gözetmen ve derslik kaynaklarının da verimli kullanılmasını sağlamaktır. Bu problemin çözümü için bazı varsayımlar belirlenmiştir:

- Her Ders İçin Tek Sınav: Sınavların, her ders için bir kez yapıldığı varsayılmıştır.
- Ders Zorluk Skalası: Derslerin zorluk dereceleri, belirlenmiş bir anket veya uzman görüşü üzerinden 1-5 (kolaydan zora) şeklinde puanlandırılmıştır.
- Gözetmen Uygunluk Bilgisi: İlgili gözetmenlerin hangi zaman aralıklarında sınav gözetmenliğine uygun olduğu önceden bilinir ve modele parametre olarak girilir.
- Derslik Kapasiteleri Sabittir: Belirlenmiş dersliklerin kapasitelerinde (kullanılabilir öğrenci sayısı) değişiklik olmadığı varsayılır.
- Zorunlu/Mesleki Ders Ayrımı: Öğrenci grubunun aynı anda birden çok zorunlu dersi veya yüksek zorluk dereceli mesleki dersi arka arkaya almasının istenmediği dikkate alınır.
- Sınav Süreleri Eşit veya Uyumlu: Her sınavın süresinin, belirlenmiş zaman bloklarına tam olarak denk gelecek şekilde planlanabildiği varsayılır.

3.1.1. Küme ve Parametreler

$i \in \{1, \dots, s\}$: sınav kümesi;

$j \in \{1, \dots, n\}$: derslik kümesi;

$k \in \{1, \dots, t\}$: zaman aralığı kümesi;

$m \in \{1, 2, 3, 4\}$: sınıf seviyeleri kümesi;

a_i : i sınavına girecek toplam öğrenci sayısı;

c_j : j dersliğinin öğrenci kapasitesi;

g_k : k zaman aralığındaki uygun gözetmen sayısı;

d_i : i sınavının ait olduğu sınav grubu; $d_i = \begin{cases} 1, & 1. \text{ sınıf zorunlu dersi ise} \\ 2, & 2. \text{ sınıf zorunlu dersi ise} \\ 3, & 3. \text{ sınıf zorunlu yada mesleki seçmeli dersi ise} \\ 4, & 4. \text{ sınıf zorunlu yada mesleki seçmeli ders ise} \end{cases}$

h_i : i sınavının zorluk derecesi (1-5 arası puanlandırılmıştır);

t_k : k zaman aralığının hangi güne ait olduğunu gösteren değer;

p_k : k zaman aralığının çakışma bilgisini gösteren değer;

φ_m : m sınıf seviyesi için belirlenmiş önem parametresi

Yukarıda verilen parametre tanımlarına göre, a_i parametresi, i .sınava girecek öğrenci sayısını ifade eder. Örneğin, $a_7 = 98$ ifadesi, 7 numaralı sınava 98 öğrencinin katılmasının beklendiğini belirtmektedir. Bu parametre, sınavın salonlara uygun şekilde yerleştirilmesinde temel veri olarak kullanılır.

c_j parametresi, bölüm bünyesinde bulunan dersliklerin kapasitesini temsil eder. Örneğin, $c_2 = 72$ ifadesi, 2 numaralı dersliğin en fazla 72 öğrenci alabilecek kapasitede olduğunu göstermektedir. Bu bilgi, sınav salonlarının öğrenci sayılarına göre uygun biçimde atanabilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

g_k parametresi, belirli bir zaman aralığında uygun gözetmen sayısını belirtir. Örneğin, $g_7 = 4$ değeri, 7. zaman aralığında dört gözetmenin görev yapabilecek durumda olduğunu ifade eder. Bu parametre, sınav organizasyonunda gözetmen ihtiyacının karşılanıp karşılanamayacağının kontrolü için kullanılır.

h_i parametresi, i .sınavın zorluk derecesini yansıtır. Zorluk derecesi, öğrenciler ve akademik personelden alınan geri bildirimler doğrultusunda 1 ile 5 arasında puanlanmıştır. Bu skalada 1 “kolay”, 2 “kolaya yakın”, 3 “normal”, 4 “zora yakın” ve 5 “zor” anlamına gelir. Bu puanlama, sınav haftasında ardışık günlerde zor sınavların denk gelmesini engellemek amacıyla dikkate alınmıştır.

d_i parametresi ise i .sınavın ait olduğu grubu belirtir. Bu parametre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır:

- $d_i = 1$ ise i .sınav 1.sınıf dersi
- $d_i = 2$ ise i .sınav 2.sınıf dersi
- $d_i = 3$ ise i .sınav 3.sınıf dersi veya mesleki seçmeli ders
- $d_i = 4$ ise i .sınav 4.sınıf dersi veya mesleki seçmeli ders

Zaman aralıklarının günlerle olan ilişkisi t_k parametresi ile tanımlanır. Bu parametre, k zaman aralığının hangi haftanın hangi gününe karşılık geldiğini belirtir. Modelde toplam 10 günlük sınav periyodu (iki hafta) tanımlanmıştır ve bu doğrultuda $t_k \in \{1,2, \dots, 10\}$ olacak şekilde değer alır. Örneğin, $t_{17} = 4$ ifadesi, 17. zaman aralığının sınav döneminin 4. gününe (örneğin Perşembe) karşılık geldiğini gösterir. Her sınav günü beş farklı zaman aralığına bölünmüştür:

- $k = 1$ (09:00–11:00),
- $k = 2$ (11:00–13:00),
- $k = 3$ (13:00–15:00),
- $k = 4$ (14:00–16:00),
- $k = 5$ (16:00–18:00).

İkinci sınav gününden itibaren k değerleri 6’dan başlayarak aynı saat bloklarıyla devam eder. Ancak, bazı zaman dilimlerinde saat çakışmaları söz konusudur. Örneğin $k = 3$ ve $k = 4$ zaman aralıklarında birbirine kısmi çakışma vardır. Bu durum, modelde p_k parametresi ile kontrol altına alınmıştır.

$$p_k = \begin{cases} 1, & k \text{ zaman aralığında çakışma var ise} \\ 0, & k \text{ zaman aralığında çakışma yok ise} \end{cases}$$

φ_m parametresi, öğrencilerin sınıf seviyelerine göre belirlenmiş önem derecelerini belirtir. Öğrencilerden alınan geri bildirimlere göre mezuniyete yaklaştıkça öğrencilerin stres seviyelerinin artacağı tespit edilmiştir. Bu nedenle 1.sınıflardan başlayarak sınıf seviyesi arttıkça artan önem derecesi atanmıştır. Bu değer amaç fonksiyonunda üst sınıfların toplam zorluk değerlerine daha fazla ağırlık verilmesini sağlar.

3.1.2. Karar Değişkenleri

$x_{ik} = i$. sınav k zaman aralığında yapılırsa 1, diğer durumda 0 değerini alır;

$y_{ijk} = i$. sınav j dersliğinde k zaman aralığında yapılırsa 1, diğer durumda 0 değerini alır;

$q_m = m$. sınıfın toplam zorluk seviyesi.

3.1.3. Matematiksel Model

$$\min \sum_i \sum_j \sum_k y_{ijk} \quad (1)$$

$$\min \sum_m \varphi_m q_m \quad (2)$$

$$\sum_k x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, s \quad (3)$$

$$a_i x_{ik} \leq \sum_j c_j y_{ijk} \quad i = 1, \dots, s; k = 1, \dots, t \quad (4)$$

$$\sum_i y_{ijk} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, t \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j y_{ijk} \leq g_k \quad k = 1, \dots, t \quad (6)$$

$$\sum_{i \in d_i} x_{ik} \leq 1 \quad k = 1, \dots, t; d_i = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

$$x_{ik} + x_{i,k+1} \leq 1 \quad k = 1, \dots, t-1; d_i = 1, 2, 3, 4; i \in d_i \quad (8)$$

$$\sum_{i \in d_i} (x_{ik} + x_{i,k'}) \leq 1 \quad t_k = 1, \dots, 10; d_i = 1, 2, 3, 4; k \in t_k; p_k = 1; p_{k'} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_i y_{ijk} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n; t_k = 1, \dots, 10; k \in t_k; p_k = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{i \in d_i} \sum_k h_i x_{ik} \leq q_m \quad t_k = 1, \dots, 10; d_i = 1, 2, 3, 4; m = 1, 2, 3, 4 \quad (11)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, s; k = 1, \dots, t \quad (12)$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, s; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, t \quad (13)$$

$$q_m \geq 0 \quad m = 1, 2, 3, 4 \quad (14)$$

Eşitlik 1 ile kullanılan toplam derslik sayısının en küçüklenmesi amaçlanmıştır. İkinci amaç fonksiyonu olan Eşitlik 2'de tüm sınıf seviyelerinin toplam zorluk dereceleri en küçüklenmektedir. Eşitlik 3, her sınavın sadece tek bir zaman aralığına atanmasını sağlar. Dersliklerin kapasitesinin aşılmamasını Eşitlik 4 kontrol etmektedir. Eşitlik 5, aynı zaman aralığında belirli bir derslikte en fazla tek sınav yapılmasını sağlar. Eşitlik 6, belli bir zaman aralığına atanacak sınav sayısının ihtiyaç duyulan gözetmen kapasitesini aşmamasını kontrol eder. Belli bir sınıf grubunun aynı zaman aralığında en fazla bir sınavı olması Eşitlik 7 ile belirlenir. Eşitlik 8, belli bir sınıf grubunun ardışık zaman aralıklarında sınavlarının olmamasını gösterir. Eşitlik 9 ile gün içerisindeki çakışmalı saat aralıklarına aynı sınıf seviyesinden 1'den fazla sınav atanması engellenmiştir. Benzer şekilde çakışmalı saatlerde aynı dersliğe sınav atanmaması da Eşitlik 10 ile sağlanır. Eşitlik 11 her sınıf grubunun toplam zorluk derecesini hesaplar ve bu değerler ikinci amaç fonksiyonunda kullanılır. Son olarak Eşitlik 12, 13 ve 14 ile karar değişkenlerinin işaret kısıtları verilmiştir.

Verilen matematiksel model iki amaçlı olarak geliştirilmiştir. Ancak her iki amaç fonksiyonu farklı birimler ile hesaplandığı için minimizasyon işleminin sağlıklı yapabilmek adına değerlerin normalleştirilmesi gerekmektedir. Amaç fonksiyonlarının normalleştirilmesi için Eşitlik 15'te verilen formül (Marler ve Arora, 2004) kullanılmıştır:

$$F_i = \frac{F_i(x) - F_i^u}{F_i^{max} - F_i^u} \quad (15)$$

Eşitlik 15'te $F_i(x)$, i .amaç fonksiyonunun hesaplanan değerini, F_i^u , i .amaç fonksiyonunun ütopik değerini ve F_i^{max} , i .amaç fonksiyonunun alabileceği en kötü değeri temsil etmektedir.

Bu model, yukarıdaki amaç fonksiyonları ve kısıtlar çerçevesinde çözüldüğünde;

- Sınavların zaman aralığı seçimleri (zorlayıcı derslerin aynı günde veya ardışık saatlerde yoğunlaşmaması),
- Derslik kullanımının verimliliği (gereksiz büyük kapasiteli salonlar yerine doğru kapasitede salonlar),
- Gözetmen sayısının yetersiz kalmaması veya aşırı fazla gözetmen kullanılmaması gibi noktalar dikkate alınarak sınav çizelgesi elde edilir.

3.2. Sınavların Zorluk Düzeylerinin Belirlenmesi

Matematiksel modelde önemli bir yer alan h_i zorluk düzeyi parametresi, öğrencilerden toplanan veriler doğrultusunda belirlenmiştir. Buradaki temel amaç, zor olarak nitelendirilen sınavların aynı gün ya da ardışık saatlerde birikmesini engellemek ve böylece öğrencilerin sınav stresini azaltmaktır. Zorluk düzeylerinin doğru şekilde tayin edilebilmesi için, farklı sınıflardan öğrenci katılımcıları kapsayan bir anket çalışması yürütülmüştür.

Anket, her ders için öğrencinin “dersi en az bir dönem almış veya tecrübe etmiş” olmasını göz önünde bulunduran bir grup öğrenciye elektronik ortamda iletilmiştir. Anketteki ölçek, 1'den 5'e (1 “çok kolay”, 5 “çok zor” olacak şekilde) puanlamaya dayanan Likert tipi bir düzenleme şeklinde tasarlanmıştır. Her öğrenci, aldığı derslere yönelik olarak kişisel deneyim ve algısını puanlamıştır. Dönemlik olarak açılan her derse dair “teorik bilgi yoğunluğu”, “hesaplama veya uygulama zorluğu”, “geçmiş başarı/başarısızlık istatistikleri” gibi ek bilgiler de toplanarak, öğrencilerin dersleri hangi faktörlere göre zor veya kolay gördüğü anlaşılmaya çalışılmıştır.

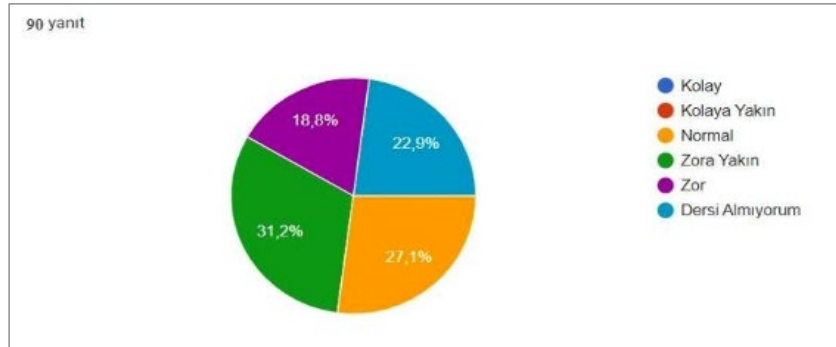
Anket, 1., 2., 3., ve 4. sınıflardan rastgele seçilen öğrencilere gönderilmiştir. Bölümün zorunlu dersleriyle birlikte seçmeli ve mesleki seçmeli dersleri de kapsamıştır. Dersi henüz almamış veya almayı düşünmeyen öğrenciler için ayrıca “Dersi Almıyorum” seçeneği de eklenmiştir. Ankete toplam 90 öğrenci katılmıştır. Bu sayede, öğrencilerin her derse dair tecrübe ettiği zorluk düzeyi farklı yönleriyle analiz edilmiştir.

Zorluk derecelerinin belirlenmesinde kullanılan anket, 1. ila 4. sınıf öğrencilerinden oluşan 90 kişilik bir örneklem grubuna uygulanmıştır. Katılımcılar yalnızca daha önce deneyimledikleri dersleri değerlendirmiştir. Bu sayede, doğrudan deneyime dayalı öznel ama anlamlı geri bildirimler toplanmıştır. Çalışmanın amacı kapsamındaki sınırlılıklar göz önüne alındığında, güvenilirlik ve geçerlilik analizleri yapılmamış; ancak anket uygulama yöntemi, özneliği dengelemeye yönelik şekilde yapılandırılmıştır.

Veriler toplandıktan sonra, her ders için ayrı ayrı ortalama zorluk puanı hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama puanlar, 1'den 5'e kadar tam sayıya yuvarlanarak modele girdi olacak şekilde düzenlenmiştir. Böylece, “1 = Kolay”, “5 = Zor” olmak üzere ara değerleri de temsil edebilen bir skalaya ulaşılmıştır. Bazı dersler için, ankete katılan ve dersi almış öğrenci sayısının yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu derslere ait zorluk puanı,

bölümdeki öğretim elemanlarının deneyimleri ve geçtiğimiz yıllardaki genel başarı istatistikleri (ortalama not dağılımı, geçme oranı vb.) dikkate alınarak netleştirilmiştir.

Genel olarak 1. sınıf derslerinin çoğunluğu “2 veya 3” gibi orta-alt zorluk puanlarıyla derecelendirilirken, 3. ve 4. sınıf düzeyindeki uzmanlık veya mesleki derslerin bir kısmı “4 veya 5” puan bandında yer almıştır. Matematiksel modelin önemli parametrelerinden biri olan zorluk derecesi dağılımı, toplamda 30’dan fazla dersin değerlendirildiği çalışmada 2.7 ortalama ve 0.9 standart sapma civarında gerçekleşmiştir. Yani derslerin çoğu 3 ve yakınında puan alırken, bir grup ders 4 veya 5 bandına yerleşerek “zor” kategorisine girmiştir. Örnek bir ders için elde edilen sonuçlar Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Bir ders örneğinin zorluk düzeyinin dağılımı

Anket sonuçlarının model girdi parametresi hâline getirilmesi, tamamen nicel ve kanıta dayalı bir yaklaşım oluşturur. Bu sayede, daha öznel diyebileceğimiz “dersler zor mu, kolay mı?” sorusuna sistematik bir cevap elde edilmiş olur. Bu şekilde tasarlanan ve uygulanan anket çalışması, matematiksel modelin zorluk parametresini gerçeğe en yakın biçimde yansıtabilmesini sağlamış; derslerin ve dolayısıyla sınavların doğru kategorize edilmesine katkı sunmuştur. Böylece, sınavların öğrenciler üzerindeki yükü dengeli biçimde paylaştırılabilmiş ve özellikle “zor” nitelikli derslerin aynı gün veya ardışık saat aralıklarına atanmaması, modeldeki temel kısıtların etkin şekilde kullanılmasıyla desteklenmiştir.

Çalışmada kullanılan zorluk düzeyi parametresi, öğrenci görüşlerine dayalı anket verileriyle belirlenmiş ve modele nicel bir girdi olarak entegre edilmiştir. Ancak zorluk algısının zamanla ve öğrenci gruplarına göre değişkenlik gösterebileceği dikkate alındığında, bu tür verilerin sürdürülebilir bir planlama sürecine dönüştürülmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda, sistemin daha dinamik ve güncel kalabilmesi için her sınav dönemi sonunda anketin yeniden uygulanması ya da sınav formlarının sonuna “dersin zorluk düzeyine ilişkin kısa bir değerlendirme bölümü” eklenmesi önerilebilir. Böylece, öğrenci geri bildirimleri periyodik olarak toplanarak modele entegre edilebilir ve sınav yükü zaman içinde daha adil ve dengeli bir biçimde planlanabilir.

3.3. Karar Destek Sistemi

Matematiksel model ile elde edilen çözüm prensiplerini, bölümün güncel ve değişen verilerine uygun biçimde hızlıca uygulayabilmek amacıyla bir Karar Destek Sistemi (KDS) tasarlanmıştır. Bu sistem, Microsoft Excel üzerinde Visual Basic for Applications (VBA) kullanılarak geliştirilmiş olup veri giriş ekranları, otomatik atama algoritmaları, hata yakalama modülü ve çıktı raporlaması gibi fonksiyonları bir arada sunmaktadır. Bu bölümde, sistemin genel yapısı ve çalışma adımları ayrıntılı şekilde açıklanmaktadır.

3.3.1. Amaç ve Genel Mimarisi

KDS’nin temel amacı, kapasite, zorluk derecesi ve gözetmen uygunluğu gibi belirlenmiş kurallara uygun şekilde sınav çizelgelerini otomatik veya yarı otomatik olarak oluşturabilmek, güncellenen verileri hızla işleyerek her defasında yeni bir program üretebilmek, hangi sınavın hangi zaman diliminde ve hangi derslikte yapılacağını kullanıcı dostu bir ara yüz üzerinden anlaşılır biçimde sunabilmek ve tüm bu süreci yürütürken kullanıcı kaynaklı hataları asgari düzeye indirerek daha güvenilir bir planlama süreci elde etmektir. Geliştirilen sistemin mimari özeri izleyen şekildedir:

- **Veri Girişi Katmanı:** Derslik ve gözetmen verileri, sınav listesi (dersin kodu, zorluk değeri, öğrenci sayısı, vb.), farklı sınıflara ait sınav takvimi bilgileri bu katmanda toplanır. Excel tabloları ve VBA formları üzerinden kullanıcı dostu giriş ekranları sağlanır.
- **İş Mantığı (Model Entegrasyonu):** VBA modülleri içinde, matematiksel modeldeki kısıtların iş kurallarına dönüştürüldüğü kontrol mekanizmaları bulunur. Kullanıcı, “Sınav Programını Oluştur” gibi bir komutu tetiklediğinde bu kurallara göre Excel hücrelerinde otomatik atama yapılır.

- Çıktı / Raporlama Katmanı: Oluşan sınav takvimi, derslik listeleri, gözetmen atama tabloları gibi bilgiler gerek Excel sayfalarında gerekse PDF veya başka formatlarda raporlanabilir.

3.3.2. Veri Giriş Ekranları ve Özellikleri

Geliştirilen KDS'de farklı veri giriş ekranları oluşturularak kullanıcı dostu bir ara yüz ile kullanıcı deneyiminin verimliliği hedeflenmiştir. Karar destek sistemi ana menüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Karar destek sistemi ana menü

- Ana Menü: Sistem ilk açıldığında kullanıcıyı yönlendiren bir "Ana Menü" ekranı görüntülenir. Buradan, "Derslik Verileri", "Sınav Verileri", "Gözetmen Verileri" gibi farklı ekranlara geçiş sağlanır. Ayrıca "Sınav Programını Oluştur" veya "Mevcut Programı Görüntüle" gibi temel işlem düğmeleri bulunur.
- Derslik ve Gözetmen Verisi Giriş Ekranı: Kullanıcı, sahip olduğu dersliklerin kapasitesini ve konumunu tanımlayabilir. Gözetmenlerin hangi zaman aralıklarında uygun olduğunu girebilir. Örneğin, "Gözetmen A", pazartesi 09.00-11.00 ve salı 11.00-13.00 aralığında müsait gibi. Bu bilgiler Excel tablolarına saklanır ve sistem her güncellemede yeni değerleri dikkate alır.
- Bölüm Sınav Verisi Giriş Ekranı: Bölüme ait derslerin sınav bilgileri (ders kodu, dersin zorluk değeri, dersin sınıfı, sınava girecek öğrenci sayısı, vb.) tek tek girilir. Aynı dersin birden fazla şubesi var ise bunlar ayrı satırlarda işlenir veya toplam öğrenci sayıları birleştirilerek modele girilir. Burada "Dersin Saatine Göre Atama" seçeneği de bulunabilir; eğer ders saatine öncelik verilmek isteniyorsa, bu saat sabitlenebilir.
- Dekanlık veya Fakülte Ortak Sınav Verisi Giriş Ekranı: Bazı derslerin sınav saat ve günleri merkezî olarak belirlenebilir (örneğin, Yabancı Dil dersi). Bu durumda kullanıcı, ilgili sınavlar için "zaman aralığı sabit" seçeneğini işaretleyerek programa bu sınavların elle sabitlenmesini sağlar. Model, sabit sınavlar dışındaki atamaları otomatik hesaplar.
- Ders Programı Seçim Penceresi: Eğer matematiksel modelde "ders saatine sadık kal" kısıtı isteniyorsa, halihazırda kullanılan ders programları (haftalık ders çizelgesi) Excel sayfasına yüklenir ve sınavlar otomatik olarak bu saatlere yerleştirilmek üzere işaretlenir. Aksi durumda, sistem daha esnek davranarak yalnızca "uygun" zaman aralıklarını bulmaya çalışır.
- Sınav Programı Görüntüleme: Sistemde "Sınav Programını Oluştur" komutu tetiklendikten sonra, belirli bir sayfada hangi sınavın hangi gün ve hangi saat dilimine atandığı gösterilir. Ayrıca derslik ve gözetmen ataması sonuçları da ek satırlarda yer alır.

3.3.3. Çalışma Prensipleri ve Akışı

Bu karar destek sisteminin çalışma akışı, öncelikle kullanıcı tarafından veri giriş ekranlarının doldurulması ve ardından sistemin bu verileri kontrol etmesiyle başlamaktadır. Eksik veya hatalı bilgi girişi tespit edildiğinde, örneğin derslik kapasitesinin öğrenci sayısından düşük olması gibi, kullanıcıya uyarı verilerek durumun düzeltilmesi istenir. Tüm veriler doğru girildiğinde, Excel VBA modülleri içerisinde tanımlanmış dizi veya tablo yapısında toplanır ve her bir sınava ait zorluk puanı, öğrenci sayısı, sınıf bilgisi, derslik kapasitesi ile zaman aralıklarındaki gözetmen mevcudu gibi kritik bilgiler bir araya getirilir. Modelin kısıtları (zorluk seviyeleri, gözetmen ve kapasite sınırları, ders saatine öncelik gibi) sürekli olarak denetlenirken, sistem bir en iyi yerleştirme arayışını otomatik veya yarı otomatik biçimde sürdürür. Atama işlemi tamamlandığında, her sınavın hangi zaman aralığı ve derslik(ler)de yapılacağı kontrol edilir, kısıtlara uyulduğundan emin olmak için gerekirse düzeltmeler uygulanır. Nihayetinde kısıt ihlali tespit edilmezse, oluşan sınav takvimi geçerli kabul edilerek Excel sayfasında tablo hâlinde kullanıcıya sunulur. Kullanıcının tüm bilgileri kontrol

ettiği son teyit uyarısı Şekil 3'de verilmiştir. Kullanıcı talep ederse bu tabloyu PDF veya CSV formatında dışa aktararak paylaşabilir veya güncellenebilir bir taslak olarak sistemde saklayabilir.

Şekil 3. Karar destek sistemi teyit ekranı

3.3.4. Hata Yakalama Mekanizması

Hata yakalama mekanizması kapsamında, sistem öncelikle veri girişi aşamasında kullanıcıyı yönlendirmeyi amaçlar. Zorunlu alanların boş bırakılması veya öğrenci sayısının negatif girilmesi gibi durumlarda, formlar üzerinde kırmızı çerçeveler aracılığıyla uyarılar görünür ve kullanıcı bu verileri düzeltmeden sonraki aşamaya geçemez. Bunun yanı sıra, kısıt ihlalleri tespit edildiğinde, örneğin kapasiteyi veya müsait gözetmen sayısını aşan bir sınav ya da günlük zorluk puanı sınırının üstünde ders ataması gibi, sistem açılır bir mesaj penceresiyle bu durumu bildirir ve ilgili eyleme onay vermez. Son olarak, karmaşık atama döngüleri sırasında oluşabilecek olası sonsuz döngü durumları için “acil durdurma” özelliği geliştirilmiştir; belli bir süre içinde sonuç üretilmezse işlem sonlandırılır ve kullanıcıya parametrelerini ya da girdi verilerini kontrol etmesi gerektiği yönünde uyarı yapılır.

4. BULGULAR

Bu çalışmada, bir yüksek öğretim kurumunda sınav çizelgeleme sürecini iyileştirmek amacıyla geliştirilen matematiksel model ve karar destek sistemi (KDS) uygulanarak çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler sırasında, bölümün güncel verileri (derslik, gözetmen, ders zorluk değerleri, öğrenci sayıları vb.) baz alınmış ve hem matematiksel model hem de KDS üzerinden üretilen sınav çizelgeleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bölüm tarafından atanan toplam 24 sınav bulunmaktadır. Bu sınavların her biri zorunlu veya mesleki seçmeli ders sınavı niteliği taşıyabilmektedir. Bunlara ilave olarak, dekanlık tarafından merkezi şekilde atanan ve günü-saat aralığı sabit olan 3 sınav daha söz konusudur. Sınavlar 2 haftaya yayılmıştır ve her gün birkaç seans şeklinde planlanarak toplamda 50 zaman aralığına bölünmüştür. Bu zaman aralıklarının her biri 2 saatlik veya kısmen çakışan bloklardan oluşmaktadır. Zaman aralıklarının temsili bir hafta için Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Haftalık zaman aralıkları temsili

	Hafta				
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
09:00-11:00	1	6	11	16	21
11:00-13:00	2	7	12	17	22
13:00-15:00	3	8	13	18	23
14:00-16:00	4	9	14	19	24
16:00-18:00	5	10	15	20	25

Final haftasında 6 derslik kullanılmaktadır: İlk üç dersliğin her biri 72 kişilik kapasiteye sahipken, diğer üç dersliğin kapasitesi 35’er kişidir. Dolayısıyla toplam 6 derslik üzerinden atamalar yapılmaktadır. Her bir zaman aralığında 4 gözetmenin müsait olduğu varsayılmıştır. Bu sayı, herhangi bir aralıkta aynı anda kaç salonun aktif olarak sınav yapabileceğini belirleyen temel kısıt niteliğindedir. Her sınav için katılacak öğrenci sayısı değişiklik göstermekle birlikte, 30–120 öğrenci aralığında dağılan dersler mevcuttur.

Toplamda 24 bölüm sınavı + 3 sabit dekanlık sınavı bulunan; 6 derslikli, 2 haftalık (50 zaman aralığı) bir planlama problemi söz konusudur. Zorluk değerlerinden kapasite ve gözetmen kısıtlarına kadar farklı etmenlerin devreye girdiği bu veri seti hem matematiksel model hem de karar destek sistemi için yeterli

karmaşıklık sağlamaktadır. Sisteme girilen bu verilerle model çözüldüğünde, ardışık ya da çakışan zor dersleri minimize etmek ve gözetmen/derslik kaynaklarını dengeli kullanmak hedeflenmiştir.

4.1. Matematiksel Modelin Sonuçları

Geliştirilen matematiksel model ile sınav çizelgeleme problemi çözdürülmüştür. Matematiksel modelin çözümü için, GAMS 23.3 sürümü kullanılmıştır. Çözüm için kullanılan bilgisayar özellikleri; Intel Core i7-9750H işlemci (2.6 GHz) ve 8 GB RAM olarak belirtilmektedir. Matematiksel model, yaklaşık 7,186 saniyede sonuç vererek optimal çözüme ulaşmıştır. Elde edilen çözümler Tablo 2’de verilmiştir. Toplam 35 derslik kullanılarak tüm sınavların çizelgelenmesi sağlanmıştır.

Tablo 2. Elde edilen sınav çizelgesi

Hafta 1				Hafta 2		
Gün	Zaman Aralığı	Ders Adı	Derslik	Zaman Aralığı	Ders Adı	Derslik
Pazartesi	11:00-13:00	*	D1	13:00-15:00	*	D1
	13:00-15:00	*	D1-D2	16:00-18:00	*	D1-D3
	16:00-18:00	*	D1	16:00-18:00	*	D2
Salı	11:00-13:00	*	D1-D2	11:00-13:00	*	D1
Çarşamba	11:00-13:00	*	D1-D2	14:00-16:00	*	D1-D2
	13:00-15:00	*	D2-D3	09:00-11:00	*	D1-D2
	16:00-18:00	*	D1	14:00-16:00	*	D1
Perşembe	11:00-13:00	*	D1	09:00-11:00	*	D1-D3
	14:00-16:00	*	D1-D2	16:00-18:00	*	D1
	14:00-16:00	*	D3	13:00-15:00	*	D1
Cuma	11:00-13:00	*	D6	14:00-16:00	*	D2-D3
	14:00-16:00	*	D1-D2	16:00-18:00	*	D1

4.2. Karar Destek Sisteminin Sonuçları

Karar destek sistemi (KDS), Intel Core i7-9750H işlemci (2.6 GHz) ve 8 GB RAM özellikle bir bilgisayarda Excel VBA arayüzü ile derslik, gözetmen, ders zorluk puanları, öğrenci sayısı gibi verileri aldıktan sonra, arka plandaki kısıt denetimi ve atama algoritmaları yardımıyla ortalama birkaç saniye içinde taslak bir sınav programı oluşturmaktadır. Bu süreçte herhangi bir kısıt ihlâli oluştuğunda, sistem anında kullanıcıya uyarı vererek müdahale gereken alanları net şekilde belirtmektedir. Geliştirdiğimiz sınav çizelgeleme karar destek sistemi, açık kaynak kodlu olarak GitHub’da (https://github.com/bicmen-design/exam_scheduling) erişime sunulmuştur.

Şekil 4’te, 4. sınıf öğrencileri için iki haftayı kapsayacak şekilde oluşturulmuş bir sınav çizelgesi örneği sunulmaktadır. Görselleştirme, modelin çıktılarının genel yapısını ortaya koymak amacıyla sadeleştirilmiş biçimde hazırlanmıştır. Bu nedenle ders adlarına yer verilmemiştir. Ders isimlerinin paylaşılması, her dersin farklı öğretim elemanına ait olması nedeniyle dolaylı olarak kişisel verilerin ifşasına neden olabileceği için tercih edilmemiştir. Gerçek uygulama verileri ile çalışılmış olsa da, bu görsellerde sistemin yapısını göstermek öncelikli tutulmuş ve etik ilkelere uygunluk gözetilmiştir.

4. Sınıf Sınav Programı (Hafta 1)					
Saatler	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
09.00-11.00					
11.00-13.00					
13.00-15.00					
14.00-16.00					
16.00-18.00					

4. Sınıf Sınav Programı (Hafta 2)					
Saatler	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
09.00-11.00					
11.00-13.00					
13.00-15.00					
14.00-16.00					
16.00-18.00					

Şekil 4. Karar destek sistemi ile oluşturulan 4.sınıf sınav programı

Bölümde sınav programlarını hazırlayan görevliyle yapılan görüşmeler sonucunda, ilk taslak programın oluşturulmasının yaklaşık 120 dk sürdüğü belirtilmiştir. Bu sürenin, görevi üstlenen kişinin çalışma performansına ve tekrar deneyimine bağlı olarak değişebileceği öngörülmekle birlikte, 120 dk ortalama süre olarak kabul edilmiştir. KDS, üç farklı kullanıcı tarafından denenmiş ve ana menüde yer alan tüm işlemler uygulanarak ilk taslak programın oluşturulması istenmiştir. Sonuç olarak, ilk taslak program yaklaşık 21 dk’da hazırlanmıştır. Buna göre, süreç KDS ile yaklaşık %82,5 oranında daha az zaman gerektirmiştir. İlk taslak sonrasındaki düzeltmeler ise gelen itirazlara göre değiştiğinden sabit bir süre belirlenememiştir; ancak KDS’de bu aşamada tüm bilgileri yeniden girmek yerine yalnızca ilgili sınavlarda değişiklik

yapılabildiği için sürenin daha da kısaldığı gözlenmektedir. Dolayısıyla sistem, önemli ölçüde zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Matematiksel modelde tanımlı zorluk kısıtlarının “kullanıcı dostu” formlar aracılığıyla yönetilebilir hale getirilmesi de süreçte önemli bir avantaj sağlamıştır. Örneğin zorluk puanı 5 olarak işaretlenen bir ders, aynı gün içinde başka bir yüksek zorluğa sahip sınavla çakışmayacak biçimde planlanarak öğrencilerin aşırı yüklenmesi engellenmiştir. Bu uygulama sayesinde aynı günde biriken zor derslerin sayısı, önceki çizelge düzenlemelerine kıyasla belirgin biçimde azalmıştır. Ayrıca, Excel üzerinde tablo halinde listelenen otomatik sınav programı PDF veya CSV formatlarında çıktı alınarak hızla öğretim elemanlarına dağıtılabilmüş, onay sürecini kısaltmıştır. Buna ek olarak, yeni ders veya derslik eklenmesi gibi veri değişikliklerine sistemin hızlı yanıt vermesi, sürekli güncellenen akademik takvim koşullarına kısa sürede uyum sağlanmasını mümkün kılmıştır.

4.3. Uygulamalar

Geliştirilen sistemin verimlilik değerlendirmesinin yapılması için geçmiş yıllarda gerçekleştirilmiş üç farklı sınav için çözüm elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar gerçekleştirilen sınav verileri ile karşılaştırılmıştır. Eşitlik 16 ile her bir sınıf seviyesinin zorluk düzeyi ortalaması hesaplanmıştır. 3. ve 4. sınıfların ortak bir mesleki seçmeli dersler havuzundan seçim yapabildikleri için zorunlu dersleri dışında kalan dersleri de aynı programda değerlendirilmiştir. 1. ve 2. sınıflarda dekanlık ortak derslerinin bulunması sebebiyle karşılaştırmaya alınmamıştır. Bu derslerin dekanlık sınav programında sabit tutulması sebebiyle değişimi mümkün değildir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

$$\delta_m = \frac{m.sınıf\ seviyesine\ ait\ derslerin\ toplam\ zorluğu}{sınav\ atanan\ gün\ sayısı} \quad (16)$$

Tablo 3. Sonuçların karşılaştırılması

			Toplam Zorluk Puanı	Sınav Atanan Gün Sayısı	δ	Gün Bazında Max_{zorluk}	Gün Bazında $Max_{sınav\ sayısı}$
1.	Gerçekleşen	3.	57	8	7,125	12	3
Sınav	KDS	Sınıf		9	6,33	10	2
	Gerçekleşen	4.	47	6	7,83	11	4
	KDS	Sınıf		10	4,7	10	2
2.	Gerçekleşen	3.	60	7	8,57	14	4
Sınav	KDS	Sınıf		10	6	9	3
	Gerçekleşen	4.	44	6	7,33	11	4
	KDS	Sınıf		10	4,4	10	2
3.	Gerçekleşen	3.	65	7	9,28	16	4
Sınav	KDS	Sınıf		10	6,5	10	3
	Gerçekleşen	4.	50	7	7,14	11	3
	KDS	Sınıf		10	5	9	2

Tablo 3’te, üç farklı sınav uygulamasının gerçekleşen programları ile karar destek sistemi (KDS) aracılığıyla elde edilen program karşılaştırılmıştır. δ sütununda, 3. ve 4. sınıflar için sınav dönemi boyunca ortalama zorluk düzeyi raporlanmıştır; bu hesaplamada toplam sınav günü sayısı yerine sınav atanan gün sayısı esas alınmıştır. Buna göre, tüm sınavlar için ortalama zorluk düzeyinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, her bir sınıf için bir gün içerisindeki en yüksek zorluk düzeyi bir sonraki sütunda verilmiştir. KDS ile elde edilen çözümlerde her iki sınıf düzeyinde de hem en yüksek günlük zorluk düzeyinde düşüş hem de bir güne atanan sınav sayısında azalma gözlenmiştir. Bu bulgular, zorluk düzeyleri açısından KDS’nin daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, üniversitelerde giderek karmaşıklaşan sınav çizelgeleme sürecinin daha sistematik ve verimli bir şekilde yürütülebilmesi amacıyla bir matematiksel model geliştirilmiş ve bu model üzerine kurulu bir karar destek sistemi (KDS) tasarlanmıştır. Model, öğrenci memnuniyeti, kaynak verimliliği ve tekrar edilebilirlik gibi kritik unsurları bir araya getirerek, sınav planlamasının çok boyutlu yapısına bütüncül bir çözüm sunmayı amaçlamıştır.

Uygulama sonuçları, geliştirilen modelin ve KDS’nin, hem işlemsel etkinlik hem de kullanıcı memnuniyeti açısından önemli katkılar sağladığını göstermiştir. Matematiksel model ile oluşturulan çizelgede; zor olarak değerlendirilen derslerin aynı gün veya ardışık saatlerde gruplaşması engellenmiş, gözetmen ve derslik kapasitesi dengeli biçimde kullanılmıştır. Modelin GAMS ortamında çözümlenmesiyle optimal çözümlere ulaşılmış ve elde edilen çizelge, mevcut uygulamalara kıyasla çok daha sistematik bir yapı sunmuştur.

Karar destek sistemi ise, veri girişinden çıktı üretimine kadar olan tüm süreci kullanıcı dostu bir arayüzle yönetilebilir hale getirmiştir. KDS sayesinde; sınav çakışmalarının önlenmesi, kapasite ve gözetmen kısıtlarının ihlal edilmemesi gibi birçok hata anında tespit edilebilmiş ve bu sayede çizelgeleme süresinde zaman tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, zorluk puanlarına dayalı sınav yerleştirmelerinin etkili biçimde yürütülmesiyle, öğrencilerin sınav yükü daha adil bir şekilde dağıtılmıştır.

Çalışmanın bir diğer önemli katkısı, ders zorluk derecelerinin nicel verilere dayalı olarak belirlenmesidir. Öğrencilerden toplanan anket verileri, öğretim elemanı görüşleri ve geçmiş başarı istatistikleri kullanılarak oluşturulan bu parametre, modelin gerçekçi bir şekilde işlemlerini sağlamış ve öğrenci odaklı planlamayı mümkün kılmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen yaklaşım hem mevcut sezgisel yöntemlerin eksikliklerini gidermekte hem de akademik planlama süreçlerine bütüncül ve veri temelli bir çözüm getirmektedir. Geliştirilen sistem, farklı bölümlere ve fakülterlere uyarlanabilir esnekliği ile sürdürülebilir bir planlama aracı olarak kullanılabilir. Gelecekteki çalışmalar, modelin çok amaçlı optimizasyon çerçevesinde daha farklı kriterlerle (örneğin akademisyen tercihleri, fiziksel erişim mesafeleri gibi) genişletilmesi ve web tabanlı ortamlara entegrasyonu yönünde ilerleyebilir.

Yazar Katkıları /Author Contributions

Eren Çelik: Literatür Taraması, Modelleme, Analiz *Ezgi Kıran:* Literatür Taraması, Veri Derleme, Makale Yazımı – orijinal taslak *Asya Aybala Özdi:* Literatür Taraması, Modelleme *Banu İçmen Erdem:* Kavramsallaştırma, Metodoloji, Makale Yazımı – inceleme ve düzenleme

Eren Çelik: Literature Review, Modelling, Analysis *Ezgi Kıran:* Literature Review, Data Curation, Writing-original draft *Asya Aybala Özdi:* Literature Review, Modelling *Banu İçmen Erdem:* Conceptualization, Methodology, Writing – review and editing

Çatışma Beyanı /Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No potential conflict of interest was declared by the authors.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışma, Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu tarafından 24LÖP010 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

This study was supported by the Scientific Research Commission of Eskişehir Technical University under project number 24LÖP010.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazarlar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir. *It was declared by the authors that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.*

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the authors that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Acar, M.F. ve Şevkli, M. (2013). "Sınav Çizelgelemesi İçin Matematiksel Model Yaklaşımı", *Verimlilik Dergisi*, 1, 75-86.
- Almeida, J., Santos, D., Figueira, J.R. ve Francisco, A.P. (2024). "A Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming Model for Thesis Defence Scheduling", *European Journal of Operational Research*, 312(1), 92-116. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.06.031>
- Burke, E., Bykov, Y., Newall, J. ve Petrovic, S. (2004). "A Time-Predefined Local Search Approach to Exam Timetabling Problems", *IIE Transactions*, 36(6), 509-528. <https://doi.org/10.1080/07408170490438410>
- Çiçek, Z.İ.E. ve Kamışlı Öztürk, Z. (2020). "A Comparative Study of Scalarization Techniques on the Multi-Objective Single Machine-Scheduling Problem Under Sequence-Dependent Setup Time, Release Date and Due Date Constraints", *Gazi University Journal of Science*, 33(2), 429-444. <https://doi.org/10.35378/gujs.581780>
- Dowsland, K.A., ve Thompson, J.M. (2005). "Ant Colony Optimization for the Examination Scheduling Problem", *Journal of the Operational Research Society*, 56(4), 426-438. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601830>
- Durna, O., Tor, H.B., İçmen Erdem, B. ve Kasimbeyli, R. (2022). "Flexible Job Shop Scheduling Problem with Setup Times and Routing Structure: A Real-Life Case", *Applied Analysis and Optimization*, 6(2), 289-298.
- Eren, T., Taş, C. ve Bedir, N. (2018). "0-1 Tamsayılı Programlama ile Ders Programı Çizelgeleme Probleminin Çözümü: Bir Yükseköğretim Kurumunda Uygulama", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 166-175.
- Ergül, Z. ve Kamışlı Öztürk, Z. (2017). "A New Mathematical Model for Multisession Exams-Building Assignment", *ACTA Physica Polonica A*, 132(3-II), 1207-1210. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.1207>
- Gashgari, R., Alhashimi, L., Obaid, R., Palaniswamy, T., Aljawi, L. ve Alamoudi, A. (2018). "A Survey on Exam Scheduling Techniques", *Proceedings of the 2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, Riyadh, Saudi Arabia, 1-5. <https://doi.org/10.1109/CAIS.2018.8441950>
- Güler, M.G. ve Geçici, E. (2020). "A Spreadsheet-Based Decision Support System for Examination Timetabling", *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 28(3), 26. <https://doi.org/10.3906/elk-1909-14>
- Kamışlı Öztürk, Z., Gündoğan, H.S., Mumyalmaz, E. ve Keçecioğlu, T. (2024). "Exam Scheduling Under Pandemic Conditions: A Mathematical Model and Decision Support System", *Technological Forecasting and Social Change*, 208, 123687. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123687>
- Kasimbeyli, R., Kamışlı Öztürk, Z., Kasimbeyli, N., Dinç Yalçın, G. ve İçmen Erdem, B. (2015). "Conic Scalarization Method in Multiobjective Optimization and Relations with Other Scalarization Methods", *Modelling, Computation and Optimization in Information Systems and Management Sciences* (Editörler: H. Le Thi, T. Pham Dinh, N. Nguyen), Springer, Cham, 359, 395-407. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18161-5_27
- Kasimbeyli, R., Kamışlı Öztürk, Z., Kasimbeyli, N., Dinç Yalçın, G. ve İçmen Erdem, B. (2019). "Comparison of Some Scalarization Methods in Multiobjective Optimization", *Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society*, 42, 1875-1905. <https://doi.org/10.1007/s40840-017-0579-4>
- Köse Küçük, M., Telloğlu, B. ve Çavdur, F. (2020). "Sınav Çizelgeleme Probleminde Sınıf ve Gözetmen Atamaları İçin İki Aşamalı Bir Çözüm Yaklaşımı", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(2), 789-812. <https://doi.org/10.17482/uumfd.713329>
- Küçüksille, E. ve Tokmak, M. (2014). "Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Otomatik Ders Çizelgeleme", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(3), 203-210. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.79047>
- Mandal, A.K., Kahar, M.N.M. ve Kendall, G. (2020). "Addressing Examination Timetabling Problem Using a Partial Exams Approach in Constructive and Improvement", *Computation*, 8(2), 46. <https://doi.org/10.3390/computation8020046>
- Marler, R. ve Arora, J. (2004). "Survey of Multi-Objective Optimization Methods for Engineering", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26(6), 369-395. <https://doi.org/10.1007/s00158-003-0368-6>
- Sancar Edis, R. ve Edis, E.B. (2019). "Gerçek Bir Sınav Çizelgeleme Problemi İçin İki Aşamalı Çözüm Yaklaşımı", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 71-81.
- Tapkan, P.Z. (2019). "Final Sınav Programı Hazırlama Problemine Ait Bir Matematiksel Model ve Uygulama", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 53, 138-156. <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.341232>
- Thepphakorn, T., Pongcharoen, P. ve Vitayasak, S. (2024). "Multi-Objective Hybrid Optimizations for Designing Course Schedules Based on Operating Costs and Resource Utilization", *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06363-0>
- Vurğun Koç, H. ve Güner, E. (2023). "Akış Atölyesi Çizelgeleme Probleminin Sistemik Literatür Taraması ve Bütünsel Bir Çerçevesi", *Verimlilik Dergisi*, 57(3), 577-594. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1207259>
- Zhu, H., Yu, Z. ve Gningue, Y. (2020). "Solving the Exam Scheduling Problem with GRA", *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Toronto, Canada, 1485-1490. <https://doi.org/10.1109/SMC42975.2020.9283074>

