



DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN ELEKTRONİK TABLO TABANLI KARAR DESTEK SİSTEMİ

¹Ebru GEÇİCİ , ²Mehmet Güray GÜLER 

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE
¹egecici@yildiz.edu.tr, ²mgguler@yildiz.edu.tr

(Geliş/Received: 18.12.2020; Kabul/Accepted in Revised Form: 06.05.2021)

ÖZ: Bu çalışmada bir mühendislik bölümünün ders çizelgeleme problemi (DÇP) ele alınmıştır. Gerçekleşen köklü müfredat değişikliği, giderek artan öğrenci ve program sayısına karşın azalan öğretim elemanı sayısı ve son yıllarda öğrencilerin uzun dönemli staj için günlerini boşaltma istekleri nedeniyle bölümün ders çizelgelerini hazırlamak oldukça zorlaşmıştır. Bu problemi çözebilmek için bölüme ait dokuz adet programın derslerini çizelgeleyen bir karma tam sayılı programlama (KTP) modeli kurulmuş ve bu modeli açık kaynak kodlu çözücü kullanarak çözen bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Herhangi bir teknik bilgi (kodlama ve optimizasyon gibi) gerektirmeyen bu KDS sayesinde öğretim elemanlarının isteklerini karşılayan, öğrencilerin iki günlerini boş bırakarak uzun dönemli staj imkanı sağlayan ders programları kısa sürede elde edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ders çizelgeleme problemi, karar destek sistemi, karma tam sayılı programlama

A Spreadsheet Based Decision Support System for Course Timetabling

ABSTRACT: In this study, the course scheduling problem (CSP) of an engineering department is addressed. It has been very difficult to prepare the course schedules of the department due to a radical curriculum change, increasing number of students and programs, decreasing number of faculty members, and request of the students in recent years to have lecture-free days to attend long-term internships. A mixed-integer programming (MIP) model is proposed to schedule nine different programs in the department and a decision support system (DSS) that solves this model using an open source solver is developed. The DSS, which does not require any technical knowledge (coding and optimization), is able to generate schedules that address the requests of faculty members and leaves two lecture-free days for the students for long-term internships, in a short time.

Keywords: Course scheduling problem, decision support system, mixed integer programming

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ders çizelgeleme problemi (DÇP), bir akademik takvim içerisinde öğretim elemanlarının tercihleri ve kurumun yasal koşullarının dikkate alınarak haftalık olarak takip edilecek programın oluşturulması işlemidir. Her akademik takvim içerisinde iki kez hazırlanan (güz dönemi ve bahar dönemi) ders çizelgelerinin yapısı üniversiteden üniversiteye ve hatta üniversite bünyesinde yer alan bölümler arasında bile farklılık göstermektedir. Buna bağlı olarak her birimin çizelgeleri kendi idari yapıları dikkate alınarak kurumda görevli olan bir kişi veya bir komisyon tarafından çoğu zaman manuel olarak hazırlanmaktadır. Manuel olarak hazırlanan bu çizelgeleri oluşturmak ise oldukça zaman alan ve zor bir işlemdir. Bu nedenle konu üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur (Altunay ve Eren, 2016). Buna rağmen bu

çalışmaların çoğu herhangi bir karar destek sistemine (KDS) dönüştürülmediği için elde edilen çözümlerin devamlılıkları sağlanamamıştır. KDS'ye dönüştürülen çalışmalar ise kuruma özel oldukları için farklı kurumlar tarafından kullanılamamaktadır.

Köklü bir geçmişe sahip olan kurumlar, dengeli bir sisteme ulaştıkları için çoğu zaman bir kez hazırladıkları çizelgeyi sonraki yıllar için de kullanabilmektedir. Buna rağmen müfredat değişikliği, öğrenci sayısına bağlı olarak artan ders grup sayısı, mevcut kaynakların bu ihtiyacı karşılamada yetersiz kalması gibi faktörler farklı çizelgelerin kullanılması ihtiyacını ortaya çıkarabilmektedir. Türkiye'nin en eski eğitim kurumlarından biri olan Yıldız Teknik Üniversitesi'nin (YTÜ) Endüstri Mühendisliği (EM) Bölümüne ait ders çizelgelerinin oluşturulması işleminde de son birkaç yılda yaşanan gelişmeler nedeniyle köklü bir değişim ihtiyacı oluşmuştur. Öncelikle bölümdeki iki lisans programı (%30 İngilizce ve %100 İngilizce) Bologna süreci kapsamında 2018 yılı içerisinde ciddi bir müfredat değişikliğine uğramıştır. Buna ek olarak lisans programlarındaki kontenjanların artışı nedeniyle aynı dersin birden fazla grup halinde açılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Ders ihtiyacındaki artışın aksine farklı kurumlara geçen, emekli olan ve ciddi sağlık problemi yaşayan öğretim elemanları nedeniyle öğretim elemanı sayısında düşüş yaşanmıştır. YTÜ-EM'de iki lisans programı dışında üç tanesi ikinci öğretim programı olmak üzere tam yedi adet lisansüstü programı vardır. Dolayısıyla bölüm toplamda dokuz program yürütmektedir. Bahsi geçen bu nedenler yüzünden önceki ders programlarının kullanılabilirliği kalmamış ve yeni ders programlarının hazırlanması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Ayrıca günümüz koşullarında üçüncü ve özellikle dördüncü sınıf öğrencilerinin uzun dönemli staj programlarında yer almak için ders programlarını boşaltmak istemeleri problemi daha da zor bir hale getirmiştir.

Yapılan bu çalışmada, öncelikle YTÜ-EM'ye ait DÇP için bir karma tam sayılı programlama (KTP) modeli önerilmiştir. Sonrasında ise bölüm kuralları ve öğretim elemanlarının isteklerini karşılayan bu KTP modeli MS Excel'in bir eklentisi olan Solver Studio kullanılarak bir KDS'ye dönüştürülmüştür. Modeli çözmek içinse açık kaynak kodlu bir çözücü kullanılmıştır. Tüm programların ders çizelgelerini saniyeler içinde hazırlayan bu KDS kodlama veya optimizasyon bilgisi olmayan son kullanıcılar tarafından da kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır.

Çalışmanın sonraki bölümleri şu şekilde devam etmektedir: İkinci bölümde DÇP'ye ait literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölümde ise öncelikle problemin tanımı verilmekte ve sonrasında ise bu problem için önerilen KTP modeli yer almaktadır. Oluşturulan KTP'nin KDS'ye dönüştürülme işlemleri ve bu KDS'ye ait bir uygulama dördüncü bölümde yer almaktadır. Beşinci bölümde ise sonuçlar verilmiştir.

LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Eğitim alanında yer alan çizelgeleme problemi (eğitimsel çizelgeleme problemi) lise çizelgeleme ve üniversite çizelgeleme problemi olarak sınıflandırılmaktadır (Babaei ve diğ., 2015). Üniversite çizelgeleme problemi ise kendi içinde sınav çizelgeleme ve ders çizelgeleme olarak alt gruplara ayrılmaktadır (Babaei ve diğ., 2015; E. Burke ve diğ., 1997). Sınav çizelgeleme problemi (SÇP) sınavların belirli bir zaman aralığında yapılabilmesi için mevcut derslik kaynağını kullanarak sınavların belirli bir gün ve zamanda uygun yerlere/dersliklere atanmasını sağlamaktadır. Sınav programları kurum yapısına bağlı olarak bir yarıyılıda iki ya da üç kez yapılabilmektedir. Ders çizelgeleri ise SÇP'nin aksine her dönemde bir kez olacak şekilde bir akademik yıl içerisinde iki kez oluşturulmaktadır. DÇP bir dönemde takip edilecek haftalık ders programının oluşturulması işlemini kapsamakta ve derslerin haftalık ders programında nerede olacağını ve hangi sınıfta işleneceğinin belirlenmesini sağlamaktadır. Bu araştırmanın konusunu DÇP oluşturmaktadır.

Yapısı gereği NP-zor sınıfına giren çizelgeleme problemlerinden biri olan DÇP (Burke ve diğ., 1997), kurumdan kuruma farklılık gösteren bir yapıya sahip olduğu için literatürde bu konuyla ilgili çok sayıda çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalarda araştırmacılar, matematiksel modelleme ve sezgisel yöntemleri kullanarak DÇP'yi çözüme kavuşturmuşlardır. Daskalaki ve diğ. (2004) KTP yöntemini kullanarak oluşturdukları DÇP modelini Patras Üniversitesi Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü ders çizelgelerinin oluşturulması için kullanmışlardır. Günalay ve Şahin (2006) ise hedef programlama

yöntemini kullanarak Harp Akademisi DÇP için çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Lisans eğitim programında yer alan 1. sınıfları kullanarak küçük bir örnek için uygulamasını yaptıkları bu çalışmada KDS geliştirmişlerdir. Schimmelpfeng ve Helber (2007) KTP modeli geliştirmişler ve bu modeli Hannover Üniversitesi İktisat ve İşletme Fakültesi'ne uygulamışlardır. Oluşturdukları bu modeli KDS'ye dönüştürerek üniversitede kullanılmasını sağlamışlardır. Bakır ve Aksop (2008) ise Gazi Üniversitesi İstatistik Bölümü için KTP modeli geliştirerek ders çizelgeleri oluşturmuşlardır. Oladokun ve Badmus (2008) ise yapmış oldukları çalışmada KTP modeli geliştirerek Nijerya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi için ders çizelgeleri oluşturmuşlardır. Miranda (2010) yapmış olduğu çalışmada Şili Üniversitesi'ne ait ders programlarını çizelgeleyebilmek için KTP yöntemini kullanarak ders çizelgelerinin otomatik olarak hazırlandığı "eClasSkedular" adını verdiği bir sistem geliştirmiştir. Al-Qaheri ve arkadaşlarının (2011) yaptığı çalışma ise Kuveyt Üniversitesi İşletme Fakültesi ders çizelgeleme için oluşturdukları KDS'den oluşmaktadır. Atamaların fakülte-ders, ders-zaman aralığı ve zaman aralığı-sınıf atama şeklinde üç aşamalı olarak yapıldığı model tam sayılı hedef programlama yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Miranda ve diğ. (2012) DÇP için KTP yöntemini kullanarak web-tabanlı bir KDS geliştirmişlerdir. Ders ve dersliklerin çizelgelenmesini sağlayan bu sistemi Diego Portales Üniversitesi için kullanmışlardır. Kökçen ve diğ. (2014) geliştirdikleri KTP modelini yurt içinde yer alan bir üniversitenin matematik bölümü için uygulamışlardır. Sánchez-Partida ve arkadaşları (2014) ise KTP modeli geliştirerek UPAEP Üniversitesi DÇP için çözüm elde etmişlerdir. Phillips ve diğ. (2015) yaptıkları çalışma derslere sınıf atamasının yapılması problemini kapsamaktadır. Var olan problem için genel bir yapıya sahip olan ve büyük örnekler için çözülebilir özellikte olan yeni bir model önermişlerdir. Uçar ve diğ. (2015) önermiş oldukları matematiksel programlama modelini Gazi Üniversitesi EM Bölümü ders çizelgelerinin oluşturulması için kullanmışlardır. Altunay ve Eren (2016) geliştirdikleri KTP modelini Uludağ Üniversitesi'ne uygulamaları, Demir ve Çelik (2016) KTP modelini Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ders çizelgelerini oluşturmak için kullanmışlardır. Ertuğrul ve Öztaş (2016) ise KTP programlama modelini Pamukkale Üniversitesi İİBF İşletme Fakültesi ders çizelgelerini oluşturmak için kullanmışlardır. Kamışlı Öztürk ve arkadaşları (2016) ise geliştirdikleri KTP'yi Anadolu Üniversitesi EM Bölümü ders çizelgelerini oluşturmak için kullanmışlardır. 25 dersin yer aldığı planı oluşturmak için derslik kapasitelerini kullandıkları bu çalışmada amaç fonksiyonunun ağırlıklarını belirlemek için analitik serim sürecini kullanmışlardır. Vermuyten ve diğ. (2016) ise iki aşamalı KTP modeli önermişlerdir. İlk aşamada derslerin derslik ve zamanları belirlenirken ikinci aşamada ilk aşamada belirlenen sonuçlara göre derslikler arası geçiş yapan öğrenci sayısı minimize edilmiştir. Dersler arasındaki geçişlerdeki öğrenci sayısını minimize etmeyi amaçladıkları bu çalışmayı KU Leuven Kampüsü Brüksel Ekonomi ve İşletme Fakültesi'ne uygulamışlardır. Fonseca ve diğ. (2017) ise XHSTT (the extended markup language for high school timetabling) problemi için var olan KTP modelini yeniden formüle etmiştir. Eren ve diğ. (2018) ise yapmış oldukları çalışmada KTP model geliştirerek Kırıkkale Üniversitesi EM Bölümü için ders çizelgeleri oluşturmuşlardır. Siddiqui ve arkadaşları (2018) DÇP için geliştirdikleri KTP modelini web tabanlı bir KDS'ye dönüştürmüşler ve üniversitelerinde uygulamışlardır. Çok amaçlı yeni bir model önerdikleri bu çalışmayla ders çizelgelerinin hazırlanmasını sağlamışlardır.

Yukarıda verilen çalışmalar tam sayılı modeller kullanılarak oluşturulan çalışmalardan oluşmaktadır. Ancak bazı durumlarda yöntemleri geliştirerek daha iyi çözümler elde edebilmek için sezgisel yöntemler gibi ek yöntemler geliştirilmiştir. Dimopoulou ve Miliotis (2001) KTP modeli geliştirerek ders ve sınav çizelgelerinin oluşturulabilmesi için bir sistem geliştirmişlerdir. Oluşturdukları ders çizelgelerini, sınav çizelgelerinin başlangıç çözümü olarak kullanmışlardır. Daha iyi sonuçlar elde etmek için ise sezgisel yöntemler geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modeli beş modülden oluşan bir KDS'ye dönüştürmüşlerdir: veri, kontrol sistemi, optimizasyon, rapor üretimi ve değerlendirme. Oluşturulan bu KDS, Atina Ekonomi ve İşletme Üniversitesi'nde uygulanmıştır. Daskalaki ve Birbas (2005) iki aşamalı gevşeme prosedürü (two stage relaxation procedure) kullanarak yeni bir KTP modeli önermişlerdir. Önerdikleri bu çalışmanın ilk aşamasında dersler günlere atanmış, ikinci aşamada ise yeniden düzenleme yapılarak derslerin ardışıklığı garanti altına alınmıştır. Burke ve arkadaşları (2010) ITC için yapmış oldukları çalışmada sezgisel model önerisinde bulunmuşlardır. Modelde yer alan alt problemleri çözmek için ise KTP kullanmışlardır. Lemos

ve diğ. (2019) ise yaptıkları çalışmada iki aşamalı KTP modeli geliştirmişler ve açgözlü algoritma (greedy algortihm) kullanarak çalışmanın performansını garantilemişlerdir. İlk aşamada derslere yerleştirilen öğrenci sayısı maksimize edilmiş ikinci aşamada ise dersliklerin kullanımı optimize edilmiştir.

Matematiksel modeller dışında sadece sezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Piechowiak ve Kolski (2004) ise Valenciennes ve Hainaut Cambresis Üniversitesi ders çizelgelerinin oluşturulması için interaktif bir sistem geliştirerek KDS oluşturmuşlardır. Yaptıkları bu çalışmanın ilk aşaması kısıt programlama ile oluşturulmakta ve çizelgelerin elde edilmesi işlemi kapsamaktadır. İkinci aşaması ise çoklu ajan yaklaşımları kullanılarak oluşturulan KDS'yi içermektedir. Ateş ve Kestane (2014) yapmış oldukları çalışmada sürükle-bırak teknolojisini kullanarak çakışmaların yer almadığı ders çizelgelerinin oluşturulabilmesi için bir KDS geliştirmişlerdir. Diğer çalışmalardan farklı olarak optimizasyon yöntemi kullanmadan geliştirdikleri bu yazılımı Celal Bayar Üniversitesi Eğitim Fakültesi'ne uygulamışlardır. Abdelhalim ve El Khayat (2016) yapmış oldukları çalışmada genetik algoritma ve veri yakalama yöntemlerini kullanarak DÇP için çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Veri yakalama kısmında Radio-Frequency Indetification (RFID) yönteminden faydalanmışlar ve bu yöntem ile tanımlanan zaman dilimlerinde öğrencilerin numaralarını kullanarak dersliklerin mevcut kapasite kullanımlarını ölçmüşlerdir. Ders çizelgelerinin hazırlandığı bilgisayar ile bağlantılı olan RFID ile sınıf kullanımları parametre olarak tutulmuştur ve ders çizelgelerinin güncellenmesi bu bilgilere göre sağlanmıştır. Böylece kullanılan RFID sistemi sayesinde veri görünürlüğünün (information visibility) temel alındığı dinamik bir yapı oluşturmuşlar ve Alexandra Üniversitesi Ticaret Fakültesi'ne uygulamışlardır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar sezgisel ya da matematiksel yöntemler kullanarak bir kuruma ait ders çizelgelerinin oluşturulması için geliştirilen modelleri içermektedir. DÇP için oluşturulan bu KDS'ler içerisinde Günalay ve Şahin (2006), Schimmelpfeng ve Helber (2007), Miranda (2010), Al-Qaheri ve diğ. (2011), Miranda ve arkadaşları (2012) ve Siddiqui ve arkadaşlarının (2018) yapmış oldukları çalışmalar KTP kullanılarak oluşturulmuştur. Günalay ve Şahin (2006) yapmış oldukları çalışmada KTP kullanarak yaptıkları çalışma için iki modülden oluşan bir KDS geliştirmişler ve geliştirdikleri bu KDS'yi eşit boyutlara sahip sınıfların olduğu modeli çalıştırmak için kullanmışlardır. Schimmelpfeng ve Helber (2007) ise yaptığı çalışmada öğretim elemanlarının isteklerinin yerine getirildiği modeli KDS'ye dönüştürerek otomatik ders çizelgeleme sistemi oluşturmuşlardır. Yapılan bu çalışmalardan biri olan Miranda'nın (2010) yazılım olarak geliştirdiği sistem de ders çizelgelerinin oluşturulması işlemi kapsamaktadır. Al-Qaheri ve arkadaşları (2011) üç aşamalı tam sayılı hedef programlama yöntemini kullanarak oluşturdukları modeli son kullanıcıların kolayca ders çizelgeleri hazırlayabildiği bir KDS'ye dönüştürmüşlerdir. Miranda ve diğ. (2012) yapmış oldukları çalışmada ise sınıflar ve zamanlar belirli bir yapı/desen olarak birleştirilerek bir bütün halinde ele alınmıştır. Derslerde oluşturulan önceden belirlenen bu desenler kullanılarak ders çizelgeleri oluşturulmuştur. Siddiqui ve diğ. (2018) akademik dönem hazırlığı yapmak için kullandıkları web tabanlı KDS'de ise gerekli olan dersler kullanılarak birden fazla mümkün çözüm oluşturarak öğrencilerin uygun programı seçmeleri için örnek çizelgeler oluşturulmuştur. Güler ve Geçici (2020) ise yapmış oldukları çalışmada DÇP'den farklı olarak SÇP'yi ele almışlardır. Bu çalışmada SÇP için geliştirilen KTP modeli KDS'ye dönüştürülerek sınav çizelgeleme işlemlerinin otomatik olarak hazırlanması sürdürülebilir hale getirilmiştir. DÇP ve SÇP de kullanılan girdiler aynı olmasına rağmen problemlerin yapısı gereği farklı matematiksel modeller kullanılmalıdır. Örneğin sınavlar tek bir zaman aralığında yapılıyorken, dersler en az iki zaman aralığı olacak şekilde planlanmaktadır. Buna ilaveten bir sınav için birden fazla derslik kullanılabilir. Yapılan bu çalışmada YTÜ-EM'nin toplamda dokuz adet olan lisans ve lisansüstü programı derslerinin çizelgelenmesi için bir KTP modeli önerilmektedir. Açık kaynak kodlu çözücü CBC kullanılarak çözümlerin elde edildiği bu KDS'de optimal çözümler hızlı bir şekilde oluşturulmaktadır. Çizelge 1, literatürde yer alan ve DÇP'nin ele alındığı çalışmaların özetini göstermektedir.

Çizelge 1. Ders çizelgeleme ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar*Table 1. Studies in the literature on course scheduling*

Yazarlar	Yıl	Uygulanan yöntem	Uygulandığı yer	KDS
Dimopoulou ve Miliotis	2001	KTP + Sezgisel	Atina Ekonomi ve İşletme Üniversitesi	Var
Daskalaki vd.	2004	KTP	Patras Üniversitesi	Yok
Piechowiak ve Kolski	2004	Kısıt programlama + çoklu-ajan yaklaşımları	Valenciennes ve Hainaut Cambresis Üniversitesi	Var
Daskalaki ve Birbas	2005	KTP	---	Yok
Günalay ve Şahin	2006	Hedef programlama	Harp Okulu	Var
Schimmelpfeng ve Helber	2007	KTP	Hannover Üniversitesi İktisat ve İşletme Fakültesi	Var
Bakır ve Aksop	2008	KTP	Gazi Üniversitesi İstatistik Bölümü	Yok
Oladokun ve Badmus	2008	KTP	Nijerya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Yok
Miranda	2010	KTP	Universidad de Chile	Var
Burke vd.	2010	Hibrit sezgisel +KTP	ITC / Udine çizelgeleme problemi (2007)	Yok
Al-Qaheri vd	2011	KTP	Kuveyt Üniversitesi İşletme Fakültesi	Var
Miranda vd.	2012	KTP	Diego Portales Üniversitesi	Var
Ateş ve Kestane	2014	Sürükle bırak teknolojisi	Celal Bayar Üniversitesi Eğitim Fakültesi	Var
Kökçen vd.	2014	KTP	Matematik Bölümü	Yok
Sánchez-Partida vd.	2014	KTP	UPAEP Üniversitesi	Yok
Phillips vd.	2015	KTP	Auckland Üniversitesi + 2007 ITC	Yok
Uçar vd.	2015	Matematiksel programlama	Gazi Üniversitesi EM	Yok
Abdelhalim ve Khayat	2016	Genetik algoritma + veri yakalama (RFID)	Alexandra Üniversitesi Ticaret Fakültesi	Yok
Altunay ve Eren	2016	KTP	Uludağ Üniversitesi	Yok
Demir ve Çelik	2016	KTP	Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Yok
Ertuğrul ve Öztaş	2016	KTP	Pamukkale Üniversitesi İİBF İşletme Fakültesi	Yok
Kamuşlu Öztürk vd.	2016	KTP	Anadolu Üniversitesi EM	Yok
Vermuyten vd.	2016	KTP	KU Leuven Kampüsü Brüksel Ekonomi ve İşletme Fakültesi	Yok
Fonseca vd.	2017	KTP	ITC	Yok
Eren vd.	2018	KTP	Kırıkkale Üniversitesi EM	Yok
Siddiqui vd.	2018	KTP	Orta Doğu Üniversitesi	Var
Lemos vd.	2019	KTP + Greedy algoritması	Lizbon Üniversitesi Yüksek Teknik Enstitüsü	Yok
Bu çalışma	2020	KTP	YTU-EM	Var

PROBLEMİN TANIMI VE KTP MODELİ (PROBLEM DEFINITION AND MIP MODEL)

Çalışmanın bu bölümde öncelikle problemin tanımı verilecektir. Daha sonrasında ise mevcut yapı için önerilen KTP modeli anlatılacaktır.

Problemin Tanımı (Problem Definition)

Bu çalışmada YTÜ-EM bölümüne ait ders çizelgelerinin oluşturulması için geliştirilen KDS ele alınmaktadır. Ders çizelgeleme işlemi, müfredatta yer alan derslerin haftanın beş iş gününde olacak şekilde belirli zaman dilimlerine uygun olarak atanmasını sağlamaktadır. YTÜ-EM'ye ait dersler lisans ve lisansüstü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Lisansa ait dersler 1. sınıf, 2. sınıf, 3. sınıf ve 4. sınıf olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflar Türkçe (%30 İngilizce) ve İngilizce (%100 İngilizce) olmak üzere iki programdan oluşmaktadır. Lisansüstü dersleri ise endüstri mühendisliği yüksek lisans, sistem mühendisliği yüksek lisans, mühendislik yönetimi yüksek lisans, endüstri mühendisliği doktora, iş güvenliği doktora programı ve iki adet tezsiz program olmak üzere toplam yedi programdan oluşmaktadır. Lisansüstü programlardan bazıları 2. öğretim olarak veriliyorken lisans programı sadece 1. öğretim programı olarak verilmektedir. Bu derslerin atamasının yapılabilmesi için YTÜ-EM'nin sahip olduğu altı derslik kullanılmaktadır. Çalışmanın bundan sonrasında fiziksel olarak kullanılan sınıfları tanımlamak için *derslik*, öğrencilerin eğitim sürelerini tanımlamak için de *sınıf* (örn. 3. sınıf gibi) tanımı kullanılacaktır. Lisans derslerin çizelgelenmesi için beş derslik kullanılabiliyorken lisansüstü dersleri altı dersliğin hepsi kullanılarak çizelgelenebilmektedir. Çizelgede yer alan bu dersler bölümde yer alan 21 öğretim elemanı ve dışarıdan gelen misafir öğretim elemanları tarafından verilmektedir. Ders çizelgeleri oluştururken takip edilmesi gereken kurallar şu şekilde verilebilir:

- Lisans dersleri 1. öğretim programı için tanımlı zaman dilimlerine atanmalıdır. Lisansüstü dersleri ise programlara göre 1. öğretim ve 2. öğretim zamanlarına uygun olacak şekilde atanmalıdır.
- Dersler iki veya üç saatlik zaman aralıklarından oluşmaktadır ve her ders sahip olduğu zaman aralığı kadar süreye atanmalıdır.
- Ders çizelgelerinin oluşturulması aşamasında derslere kayıtlı olan öğrencilerin sayısı kesin olarak bilinmemektedir. Bu nedenle ders çizelgeleri EM'deki programlar için tanımlanan müfredatlarda yer alan sınıf tanımlamaları dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Örneğin lisans seviyesinde yer alan programlar için dersler 1. sınıf, 2. sınıf, 3. sınıf ve 4. sınıflar olacak şekilde tanımlanmaktadır.
- Aynı sınıfa ait olan dersler çakıştırılmamalıdır. Örneğin 3. sınıfa ait olan Yapay Zekâ ve Uzman Sistemler (END3971) dersi ile Yöneylem Araştırması 2 (END3991) dersi çakıştırılmamalıdır.
- Lisans programında yer alan dersler Türkçe ve İngilizce olarak sınıflandırıldığı için müfredatta yer alan dersler Türkçe ve İngilizce olacak şekilde en az iki grup olarak açılmaktadır. Bu dersler farklı öğretim elemanları tarafından verilebildiği gibi aynı öğretim elemanı tarafından da verilebilmektedir. Eğer dersler aynı öğretim elemanı tarafından veriliyorsa dersler farklı zamanlarda olmalıdır.
- Lisans programında yer alan bazı dersler (örneğin birden fazla grup olarak açılan farklı öğretim elemanları tarafından verilen ders) aynı zaman dilimlerinde yapılmak istenmektedir. Bu şekilde belirtilen ve aynı anda olması istenen dersler aynı zamanlara yazılmalıdır.
- Son yıllarda 3. ve 4. sınıf öğrencilerinden uzun dönemli staj yapan veya yarı zamanlı çalışan sayısı oldukça artmaya başlamıştır. Bunun neticesinde özellikle farklı günlere yayılan ders seçimlerinde gözle görülen bir biçimde düşüş görülmüş ve öğrenciler tarafından konu ile ilgili bir düzenleme yapılması yoğun olarak dile getirilmiştir. Bu nedenle derslerin belirli günlerde toplanması da modele bir kısıt olarak eklenmiştir.

KTP Modeli (MIP Model)

Bu bölümde ise problemi çözebilmek için önerilen KTP modeli yer almaktadır. Modelin oluşturulması için gerekli olan küme, indis ve parametreler sırasıyla Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'te sunuluyorken değişkenler Çizelge 5'te verilmektedir.

Bölüm kuralları, bölümün sahip olduğu özellikler ve öğretim elemanlarına ait istekler kullanılarak oluşturulan kısıtlar KTP modelinin tanımlanması için kullanılmıştır. Modelde yer alan kısıtları tanımlayabilmek için X_{idt} ve Y_{rd} değişkeni kullanılmaktadır. Bu değişkenler sayesinde dersler belirli bir gün ve zaman aralığına atanabilmektedir. X_{idt} değişkeni, i dersinin d gün ve t zaman aralığına atanmasını sağlarken Y_{rd} değişkeni r sınıfında yer alan öğrencilere ait derslerin belirli günlerde toplanmasını sağlamaktadır. r indisi ile lisans programındaki dört adet sınıf ile yedi adet lisansüstü programın birleşiminden oluşan 11 adet farklı eğitim müfredat yılı gösterilmektedir. Z_{dt}^1 ve Z_{dt}^2 ise sapma değişkenleri olarak tanımlanmaktadır ve dersler için dersliklerin yetersiz geldiği durumlarda kullanılmaktadır.

Çizelge 2. Kümeler

Table 2. The sets

Küme	Tanımı
I	Dersler kümesi.
D	Günler kümesi.
T	Zaman aralıkları kümesi.
R	Programlarda yer alan dört adet lisans sınıfları ile yedi adet lisansüstü programlarının birleşim kümesi.
H	Öğretim elemanları kümesi.
I_U	Lisans dönemine ait dersler kümesi.
I_G	Lisansüstü dönemine ait dersler kümesi.
I_{D1}	Derslikte gerçekleşen dersler kümesi.
I_{D2}	Laboratuvarda gerçekleşen dersler kümesi.
I_{S2}	İki saat süren dersler kümesi.
I_{S3}	Üç saat süren dersler kümesi.
I_r	r sınıfına ait olan dersler kümesi.
I_h	h öğretim elemanı tarafından verilen dersler kümesi.
I_{P1}	Birinci öğretim dersleri.
I_{P2}	İkinci öğretim dersleri.
γ_1	Aynı anda yapılması istenen dersler kümesi. Eğer $(i, i') \in \gamma_1$ ise i dersi ile i' dersi aynı zaman diliminde yapılır.
γ_2	Aynı günde yapılması istenen dersler kümesi. Eğer $(i, i') \in \gamma_2$ ise i dersi ile i' aynı günde yapılır.
α_0	Ders-zaman eşleşmelerinde r sınıfına ait istenmeyen zamanı gösterir küme. Eğer $(r, d, t) \in \alpha_0$ ise r sınıfına ait dersler d gününde ve t zaman aralığında yapılmaz.
α_1	Ders-zaman eşleşmelerinde istenmeyen zamanı gösterir küme. Eğer $(i, d, t) \in \alpha_1$ ise i dersi d gününde t zamanında yapılmaz.
α_2	Ders-zaman eşleşmelerinde istenen zamanı gösterir küme. Eğer $(i, d, t) \in \alpha_2$ ise i dersi d gününde t zamanında yapılır.
T_{P1}	Birinci öğretim programları için zaman aralıkları kümesi.
T_{P2}	İkinci öğretim programları için zaman aralıkları kümesi.

Çizelge 3. İndisler

Table 3. The indices

İndis	Tanımı
i, i'	Ders indisleri
d	Gün indisi
t	Zaman aralığı indisi
r	Sınıf indisi
h	Öğretim elemanı indisi

Çizelge 4. Parametreler

Table 4. The parameters

Parametre	Tanım
M	Büyük bir sayı
w_i	i dersinin süresi (iki saatlik dersler için 2, üç saatlik dersler için 3)
c_{dt}^1, c_{dt}^2	Sapma değişkenlerine ait ceza maliyetleri
k_{idt}	Lisans derslerinin belirlenen zaman aralığındaki son saatlere yazılmasını engellemek için tanımlanan ceza maliyeti

Çizelge 5. Değişkenler

Table 5. The variables

Değişken	Tanımı
X_{idt}	i dersi d günü ve t zaman aralığına atanırsa 1, aksi takdirde 0
Y_{rd}	r sınıfına d günü ders atanırsa 1, aksi takdirde 0
Z_{dt}^1, Z_{dt}^2	Sapma değişkenleri

$$\text{Min } z = \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} (c_{dt}^1 Z_{dt}^1 + c_{dt}^2 Z_{dt}^2) + \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{t=8}^{10} k_{idt} X_{idt} \quad (1)$$

Mevcut durumda derslik sayısı kapasitesi göz önüne alınmadan çizelgeler oluşturulduğu için diğer bölümlerin dersliklerinin de kullanıldığı dönemler olmaktadır. Bu nedenle modelde diğer bölümlerden derslik almaya izin verilmekte ancak alınacak derslik sayısı (1) numaralı eşitlikte verilen amaç fonksiyonunun ilk parçasında minimize edilmektedir. Amaç fonksiyonunun ikinci parçası ise 1. öğretimde yer alan derslerin mümkün olduğunca geç vakitlere atanmasını engellemektedir. Amaç fonksiyonunda sırasıyla c_{dt}^1, c_{dt}^2 ve k_{idt} olarak tanımlanan katsayı değerleri aynı kabul edilmiştir. Ancak kullanılan bu parametre değerlerinin belirtilen indis değerlerine göre farklı tanımlanabileceğini göstermek amacıyla modelde c_{dt}^1, c_{dt}^2 ve k_{idt} olarak ifade edilmiştir.

Müfredatta yer alan her bir ders, kendi için tanımlanan süreyi tamamlayacak şekilde oluşturulmalıdır. Derslerin sahip olduğu süre kadar zamana dersi atamak için kısıt (2) kullanılmaktadır. Sınıflara göre ayrılan dersler aynı zaman dilimi içinde yazılamaz, başka bir deyişle aynı sınıftaki öğrencilerin dersleri çakıştırılmaz. Bu çakışmayı engellemek için kısıt (3) kullanılmaktadır. Lisans programlarında ilk sınıflarda servis dersleri olarak adlandırılan temel dersler (matematik, fizik, kimya, vs.) verilmektedir. Bu sınıfların derslerinin servis dersleri ile çakışmaması gerekmektedir. Bu gibi atamaları engellemek için kısıt (4) kullanılmaktadır. Lisans eğitimi sadece 1. öğretim olarak verilirken lisansüstü eğitimi 1. öğretim ve 2. öğretim olarak devam etmektedir. Bu nedenle çizelge oluşturulurken zaman dilimleri 2. öğretim derslerinin biteceği zaman dilimine kadar devam etmektedir. Böyle durumlarda 1. öğretim derslerinin 2. öğretim zaman dilimine yazılmasını engellemek için kısıt (5) kullanılmaktadır. 2. öğretim programları ise 1. öğretim derslerinin yazıldığı zaman aralıklarına atanmamalıdır. Bunun için kısıt (6) kullanılmaktadır. Bazı dersler ise içerikleri benzer olduğu için ya da seçmeli grubuna ait olduğu için paralel zamanlarda yazılmak istenmektedir. Bu şekilde tanımlanan derslerin bir arada yazılabilmesi için kısıt (7) kullanılmaktadır.

$$\sum_d \sum_t X_{idt} = w_i \quad i \in I \quad (2)$$

$$X_{idt} + X_{i'dt} \leq 1 \quad r \in R, i \in I_r, i' \in I_r, d \in D, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I_r} X_{idt} = 0 \quad r \in R, d \in D, t \in T \text{ st. } (r, d, t) \in \alpha_0 \quad (4)$$

$$\sum_{t \in T_{P_2}} X_{idt} = 0 \quad i \in I_{P_1}, d \in D \quad (5)$$

$$\sum_{t \in T_{P_1}} X_{idt} = 0 \quad i \in I_{P_2}, d \in D \quad (6)$$

$$X_{idt} - X_{i'dt} = 0 \quad (i, i') \in \gamma_1, d \in D, t \in T \quad (7)$$

Bölümde yer alan öğretim elemanı sayısı 21 ve müfredatta yer alan ders sayısı 80'e yakın olduğu için çoğu öğretim elemanının bir dönemde verdiği ders sayısı en az iki olmaktadır. Ayrıca lisans seviyesindeki derslere ilaveten öğretim elemanları lisansüstü dersleri de verebilmektedir. Bu nedenle birden fazla ders veren öğretim elemanlarının derslerinin aynı zaman diliminde olmaması kısıt (8) ile sağlanmaktadır. Öğretim elemanlarının tercihlerine bağlı olarak bazı derslerin aynı gün içerisinde yapılması istenebilir. Böyle dersleri aynı güne yazmak için kısıt (9) kullanılmaktadır. Öğretim elemanlarının isteklerine bağlı olarak derslerin istemedikleri zamanlarda derslerinin olmasını engellemek veya istedikleri zamanlara yazılmasını sağlamak için sırasıyla kısıt (10) ve kısıt (11) kullanılmaktadır.

$$X_{idt} + X_{i'dt} \leq 1 \quad h \in H, i \in I_h, i' \in I_h, d \in D, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{t \in T} \left(\frac{X_{idt}}{w_i} - \frac{X_{i'dt}}{w_{i'}} \right) = 0 \quad i \in I, i' \in I, st. (i, i') \in \gamma_2, d \in D \quad (9)$$

$$X_{idt} = 0 \quad i \in I, d \in D, t \in T \text{ st. } (i, d, t) \in \alpha_1 \quad (10)$$

$$X_{idt} = 1 \quad i \in I, d \in D, t \in T \text{ st. } (i, d, t) \in \alpha_2 \quad (11)$$

İki saatlik derslerin (örneğin seçmeli dersler) zaman aralıklarının peş peşe yazılmasını sağlamak için kısıt (12)-(14) kullanılmaktadır. Model eğer iki saat süren bir ders için herhangi bir t anına ders atarsa (12) numaralı kısıt, bu saatin ya bir saat öncesine ($t - 1$) ya da takip eden saate ($t + 1$) ders ataması yapmaktadır. Örneğin ikinci saate bir atama yapılırsa bu kısıt ya birinci saate ya da üçüncü saate mutlaka bir atama yapacaktır. Dolayısıyla bu kısıtın iki saatlik derslerde sağlanabilmesi için atanan ders saatlerinin ardışık olması gerekir.

$$X_{idt} \leq X_{idt-1} + X_{idt+1} \quad i \in I_{S2}, d \in D, 2 \leq t \leq 12 \quad (12)$$

$$X_{idt} - X_{idt+1} \leq 0 \quad i \in I_{S2}, d \in D, t = 1 \quad (13)$$

$$X_{idt} - X_{idt-1} \leq 0 \quad i \in I_{S2}, d \in D, t = 13 \quad (14)$$

Bölümde yer alan zorunlu dersler olarak tanımlanan Yöneylem Araştırması, İstatistik gibi temel bölüm dersleri ise üç saatlik ders olarak tanımlanmaktadır. Bu derslerin peş peşe yazılmasını sağlamak için kısıt (15)-(17) kullanılmaktadır.

$$X_{idt} \leq X_{idt-1} + X_{idt+2} \quad i \in I_{S3}, d \in D, 2 \leq t \leq 11 \quad (15)$$

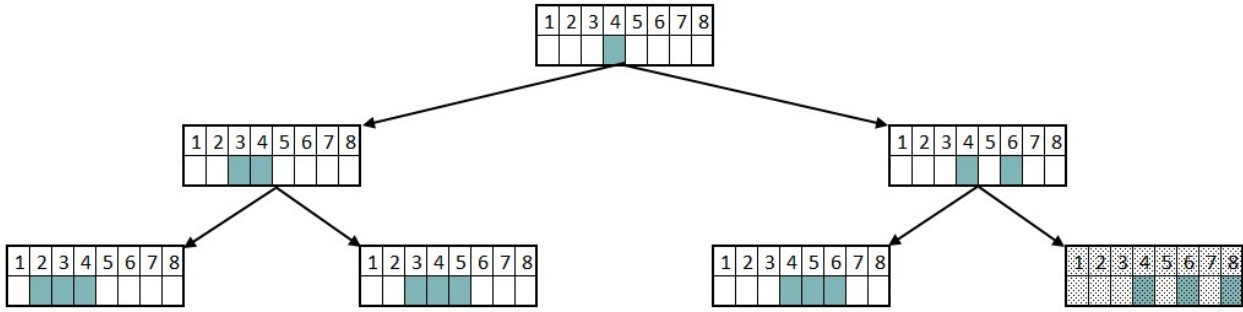
$$X_{idt} - X_{idt+2} \leq 0 \quad i \in I_{S3}, d \in D, t = 1 \quad (16)$$

$$-X_{idt-1} + X_{idt} \leq 0 \quad i \in I_{S3}, d \in D, t = 13 \quad (17)$$

Model eğer üç saat süren bir ders için herhangi bir t anına ders atarsa (15) numaralı kısıt, bu saatin ya bir saat öncesine ($t - 1$) ya da takip eden ikinci saate ($t + 2$) ders ataması yapmaktadır. Örneğin dördüncü saate bir atama yapılırsa bu kısıt ya üçüncü saate ya da altıncı saate mutlaka bir atama yapacaktır.

a. Üçüncü saate atama yapıldığını varsayalım. Bu durumda (15) numaralı kısıt üçüncü saat için yazıldığında ya ikinci saate ya da beşinci saate atama yapacaktır. İkinci saate atama yapıldığında dördüncü saate ders olduğu için (15) numaralı kısıt ikinci saat için sağlanmış olacaktır. Bu durumda ders (2, 3, 4) numaralı saatlerde olacaktır. Ders beşinci saate atandığında (15) numaralı kısıt üçüncü saate ders olduğu beşinci saat için sağlanmış olacaktır. Bu durumda ders (3, 4, 5) numaralı saatlere atanacaktır.

b. Altıncı saate atama yapıldığını varsayalım. Bu durumda (15) numaralı kısıt altıncı saat için yazıldığında ya beşinci saate ya da sekizinci saate atama yapacaktır. Beşinci saate atama yapıldığında dördüncü saatte ders olduğu için (15) numaralı kısıt sağlanmış olacaktır. Bu durumda ders (4, 5, 6) numaralı saatlerde olacaktır. Sekizinci saat için (15) numaralı kısıt sağlanamayacağı için (yedinci veya onuncu saatte ders yok), bu aşamada ders ataması yapılamayacaktır. Bu örneğin akışı Şekil 1’de verilmiştir



Şekil 1. Kısıt (15)'in çalışma yapısı örneği
Figure 1. Example of the working structure of constraint (15)

Lisans ve lisansüstü derslerin dersliklere atanmasını sağlamak için kısıt (18)-(20) kullanılmaktadır. Lisans programının kullanabildiği toplam beş derslik bulunmaktadır. Bu nedenle lisansa ait dersler bir zaman aralığında en fazla beş tane olacak şekilde oluşturulabilir. Ancak beş dersliğin eksik kaldığı durumlarda diğer bölümlerden derslik alınabilmektedir. Lisans derslerinin dersliklere atanması kısıt (18) ile sağlanmakta ve diğer bölümlerden alınabilecek derslik sayısı sapma değişkeni ile ifade edilmektedir. Bu sapma değişkeni amaç fonksiyonunda en-küçüklenerek diğer bölümlerden alınan derslik sayısı minimize edilecektir. Bazı dersler laboratuvar dersliklerinde yapılmaktadır. Bu nedenle bu dersler kısıt (19) kullanılarak laboratuvar dersliklerine atanmaktadır. Lisansüstü dersleri için ayrılmış özel bir sınıf bulunmaktadır. Dolayısıyla lisansüstü dersleri için beş dersliğe ek olarak bir derslik daha kullanabilmektedir. Ancak kullanılan dersliklerde lisans ve lisansüstü derslerinin çakışmaması gerekmektedir. Bu nedenle dersliklerdeki toplam ders sayısının altıyı geçmemesi gerekir. Bu durum kısıt (20) kullanılarak sağlanmaktadır. Lisans dersleri için diğer bölümlerden de derslik alınabileceği için bu kısıtlar sapma değişkeni kullanılarak gevşek kısıt olarak yazılmıştır.

$$\sum_{i \in (I_U \cap I_{D_1})} X_{idt} \leq 5 + Z_{dt}^1 \quad d \in D, t \in T \quad (18)$$

$$\sum_{i \in (I \cap I_{D_2})} X_{idt} \leq 2 \quad d \in D, t \in T \quad (19)$$

$$\sum_{i \in (I_U \cap I_{D_1})} X_{idt} + \sum_{i \in (I_G \cap I_{D_1})} X_{idt} \leq 6 + Z_{dt}^2 \quad d \in D, t \in T \quad (20)$$

Son yıllarda tüm endüstri mühendisliği lisans programlarında yeni bir akım başlamıştır. Üçüncü ve dördüncü sınıf öğrencileri, özellikle son yıllarda uzun dönem staj yaparak iş hayatına hazırlanmak istemektedirler. Derslerin farklı günlere yayılmış olması bu açıdan problem teşkil etmektedir. Öğrenciler ya derslere gelmemekte ya da staj yapamamaktadırlar. Bu akımın giderek güçlenmesi nedeniyle derslere gelmeyen öğrenci sayısı artmış ve dolayısıyla hem öğrencilerden hem öğretim elemanlarından konuyla ilgili düzenleme istekleri gündeme gelmiştir. Öğrencilerin genel isteği en az iki günün boş kalması yönündedir. Y_{rd} değişkeni r sınıfında okuyan öğrencilerin d gününde dersinin olup olmadığını gösterir. Kısıt (21) ile bu değişkenin toplamı üçe sabitlenerek öğrencilerin iki gününün boş kalması sağlanmıştır. Kısıt (22)-(23) ise Y_{rd} değişkeninin X_{idt} ile olan bağlantısını sağlamaktadır.

$$\sum_{d \in D} Y_{rd} = 3 \quad r \in \{3, 4\} \quad (21)$$

$$\sum_{i \in I_r} \sum_{t \in T} X_{idt} \leq M Y_{rd} \quad r \in \{3, 4\}, d \in D \quad (22)$$

$$Y_{rd} \leq \sum_{i \in I_r} \sum_{t \in T} X_{idt} \quad r \in \{3, 4\}, d \in D \quad (23)$$

Modelde yer alan değişkenlerin pozitif değerler almasını sağlayan kısıt ise kısıt (24)'tür.

$$X_{idt}, Y_{rd}, Z_{dt}^1, Z_{dt}^2 \in \{0, 1\} \quad i \in I, d \in D, t \in T, r \in R \quad (24)$$

KDS UYGULAMASI (IMPLEMENTATION OF THE DSS)

Çalışmanın bu bölümünde KTP ile kullanarak elde edilen KDS'yi oluşturma basamakları ve KDS kullanılarak hazırlanan 2019-2020 güz dönemine ait ders çizelgesi verilecektir.

Bu çalışmanın amacı oluşturması uzun zaman alan DÇP için bir KDS oluşturarak öğretim elemanı ve öğrencilerin isteklerine uygun ders çizelgelerinin hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlamaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için önerilen KTP, MS Excel'in bir eklentisi olan Solver Studio kullanılarak oluşturulmuştur. Bu eklenti içinde programı kodlamak için Python programlama dili ve modeli çözmek için ise CBC açık kaynak kodlu çözücü kullanılmıştır.

KDS'nin çalıştırılabilmesi için öncelikle parametrelerin tanımlanması gerekmektedir. Parametrelerin tanımlanabilmesi için modelin kodlanması aşamasında girdi alanları oluşturularak modelin çözümünde kullanılacak tüm listeler MS Excel çalışma sayfalarında tablo olarak oluşturulmaktadır. Modelde kullanılan parametrelerin tanımlanması için oluşturulan girdi alanlarını göstermek amacıyla KDS'ye ait ekran görüntüleri kullanılacaktır (Ders sayısının fazla olduğu bu uygulamada fikir oluşturabilmek adına girdi ve çıktı alanları için kullanılan parametrelerin bir kısmı verilmiştir). Derslere ait kümelerin tanımlanması için oluşturulan girdi alanlarına ait KDS arayüzü ise Şekil 2'de yer almaktadır. MS Excel çalışma sayfasına tanımlanan girdi alanları gibi çıktı alanları da çalışma sayfaları (sekme/sheet) kullanılarak oluşturulmakta ve modelin çalıştırılması sonucu elde edilen çıktılar bu sayfaya yazdırılmaktadır.

Dersler											L+LU		L+LU			
Dersler	Ders isimleri	Açılan Dersler	I_0/I_g	I_{p1}/I_{p2}	I_r	$w_i (I_{S2}/I_{S3})$	I_{D1}	I_{D1}	I_{D2}	I_{D2}	γ_1 Hazırlık	γ_1	γ_1	γ_1		
1	1	0	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	0	1		
1	END1902 Bilgisayar Destekli Teknik Resim Gr1	1	1	1	1	3	0	0	0	1	0	1	2	1	5	6
2	END1902 Bilgisayar Destekli Teknik Resim Gr2	1	1	1	1	3	0	0	0	1	1	3	4	2	19	20
3	END1912 İş Sağlığı ve Güvenliği 2 Gr1	1	1	1	1	3	1	0	0	0	2	5	6	3	21	22
4	END1912 İş Sağlığı ve Güvenliği 2 Gr2	1	1	1	1	3	1	0	0	0	3	7	8	4	30	31
5	END2972 Yöneylem Araştırması 1 Gr1	1	1	1	2	3	1	0	0	0	4	11	12	5	36	37
6	END2972 Yöneylem Araştırması 1 Gr1	1	1	1	2	3	1	0	0	0	5	19	20	6	23	27
7	END2962 Nümerik Analiz Gr1	1	1	1	2	3	1	0	0	0	6	21	22	7	28	29
8	END2962 Nümerik Analiz Gr2	1	1	1	2	3	1	0	0	0	7	24	25	8	18	26
9	END2312 Ergonomi Gr1	1	1	1	2	3	1	0	0	0	8	30	31	9	34	39
10	END2312 Ergonomi Gr2	1	1	1	2	3	1	0	0	0	9	36	37	10	32	33
11	END2992 İstatistik Gr1	1	1	1	2	3	1	0	0	0	10	28	29	11	35	38
12	END2992 İstatistik Gr2	1	1	1	2	3	1	0	0	0	11	35	38	12	3	4
13	END2982 Üretim Sistemleri Gr1	1	1	1	2	3	1	0	0	0	12	32	33	13	1	2
14	END2982 Üretim Sistemleri Gr2	1	1	1	2	3	1	0	0	0						
15	END3952 Tedarik Zinciri ve Lojistik Yönetimi G	1	1	1	3	3	1	0	0	0						
16	END3952 Tedarik Zinciri ve Lojistik Yönetimi G	1	1	1	3	3	1	0	0	0						
17	END3850 Karar Teorisi	1	1	1	3	2	1	0	0	0						
18	END3850 Karar Teorisi	1	1	1	3	2	1	0	0	0						

Şekil 2. Dersleri tanımlamak için gerekli olan girdi alanları

Figure 2. Necessary input areas to define courses

Şekil 2'de yer alan *Açılan Dersler* sütunu tanımlanan derslerin o dönemde açılıp açılmadığını göstermektedir. Eğer o ders açılıyorsa 1, açılmıyorsa 0 rakamı ile tanımlanmaktadır. Aynı şekilde lisans/yüksek lisans sütunu ve sınıf/laboratuvar sütunları da tanımlanmaktadır. I_U/I_G olarak tanımlanan sütununda derslerin lisans mı lisansüstü programa mı ait olduğunu göstermektedir. Eğer değer 1 değerini alıyorsa o ders lisans programlarına ait bir dersi ifade etmektedir, 0 ise lisansüstü derslerini göstermektedir. I_{P1}/I_{P2} sütunu ise derslerin 1. öğretime mi yoksa 2. öğretime mi ait olduğunu belirtmektedir. Eğer 1 rakamı tanımlanmışsa ders 1. öğretime aittir aksi takdirde ders 2. öğretime aittir. I_r sütunu derslerin hangi sınıfa ya da programa ait olduğunu göstermektedir. Bir rakamı birinci sınıfları, iki rakamı ise ikinci sınıfları göstermektedir. Beş ve daha büyük değerler ise lisansüstü programları ifade etmektedir. w_i ise derslerin iki saat ve üç saat olarak tanımlanmasını sağlamaktadır. I_{D1} ve I_{D2} sütunlarında ise 1 derslikleri, 0 bilgisayar laboratuvarlarını ifade etmektedir. Şekil 2'de sağ kısımda yer alan γ_1 ise aynı günde yapılmak istenen dersleri göstermektedir.

Öğretim elemanlarının vermiş olduğu dersleri tanımlanması için oluşturulan girdi alanları ise Şekil 3'te verilen KDS'ye ait arayüzde I_h - *Öğretim Elemanı (ÖE) Kümesi* olarak belirtilen sütunlarda yer almaktadır. Günler ve zaman aralıkları için oluşturulan kümeler de sırasıyla D ve T başlıklı sütunlarda tanımlanmıştır. Ayrıca T başlığı ile belirtilen kümede işaretlenmiş kısım ise 1. öğretim programları için kullanılacak olan zaman aralıklarını ifade etmektedir. γ_2 ise aynı günde yapılmak istenen derslerin tanımlanması için kullanılan girdi alanını ifade etmektedir. Şekil 3'ün sağ kısmında yer alan konsol ise matematiksel modelin kodlandığı alanı göstermektedir. Model çıktı kısmında yer alan sonuçlar matematiksel modelin sonuçlarını göstermekte ve bu değerler sonuçların kullanıcılar tarafından kolayca okunabileceği çıktıları yazdırmak için oluşturulan çalışma sayfalarına yazdırılmaktadır.

The screenshot shows the SolverStudio interface in Excel. The main window displays a spreadsheet with columns for course information. The columns are labeled as follows:

- U, V, W, X:** General course information.
- AC, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AP, AQ, AR, AS, AT, AU:** I_h - Öğretim Elemanı (ÖE) Kümesi. This section is divided into two parts:
 - Top part:** Columns for 'No', 'ÖE', and 'Dersler'. It lists 5 courses with their respective 'Ders' (1, 2, 3, 4) and 'ÖE' (0, 1) values.
 - Bottom part:** Columns for 'No', 'ÖE', and 'Dersler'. It lists 4 courses with their respective 'Ders' (1, 2, 3, 4) and 'ÖE' (0, 1) values.
- AT, AU:** Zaman Bilgileri. Columns for 'D' and 'T'.

The SolverStudio window on the right shows the following code:

```

#Assignment of the courses according to
#two hour courses
for i in TwoHTuple:
  for d in Days:
    for t in TimeInterval:
      if (t-1) in TimeInterval:
        if (t+1) in TimeInterval:
          prob += (-CourseVar[i]
          else: # if t-1 in time interval
            prob += (-CourseVar[i]
          elif (t+1) in TimeInterval:
            prob += (CourseVar[i])[d]

#Three hour courses
for i in ThreeHTuple:
  for d in Days:
    for t in TimeInterval:

```

The Model Output window shows the following results:

```

Status: Optimal
(z_1.0_1.0_4.0, 1.0)
(z_1.0_1.0_5.0, 1.0)
(z_1.0_1.0_6.0, 1.0)
(z_2.0_1.0_4.0, 1.0)
(z_2.0_1.0_5.0, 1.0)

```

Şekil 3. Zaman bilgileri ve öğretim elemanı ders bilgilerinin tanımlandığı girdi alanları

Figure 3. Time information and instructors course information definition input fields

Çizelge 6. Program bilgileri*Table 6. Program informations*

No	Program	Program türü	Öğretim türü	Ders sayısı
1	Endüstri Mühendisliği (Türkçe Program + İngilizce Program)	Lisans	1.Öğretim	43
2	Endüstri Mühendisliği	Yüksek Lisans	1.Öğretim	7
3	Sistem Mühendisliği	Yüksek Lisans	1.Öğretim	7
4	Endüstri Mühendisliği	Doktora	1.Öğretim	4
5	Endüstri Mühendisliği	Yüksek Lisans	2.Öğretim	5
6	Mühendislik Yönetimi	Yüksek Lisans	2.Öğretim	5
7	İş Sağlığı ve Güvenliği	Doktora	1.Öğretim	2
8	İş Sağlığı ve Güvenliği	Tezsiz Yüksek Lisans	2.Öğretim	6
Toplam Ders Sayısı				79

KDS'yi kullanarak optimal olarak elde edilen ders çizelgesinin bir bölümü Çizelge 7 ve Çizelge 8'de yer almaktadır. Çizelge 7 ders programında yer alan bir gün için tüm programlara ait programı ifade ediyorken Çizelge 8'de lisans programlarında yer alan 4. sınıfların haftalık programını göstermektedir. KDS kullanılarak bir dakikadan kısa sürede oluşturulan güz dönemi ders çizelgesinde bölüm dışından alınarak kullanılan derslik sayısı sıfıra indirilmiştir. Bununla birlikte 1. öğretim programında yer alan dersler manuel olarak hazırlanan çizelgeye göre daha erken bitmektedir. Manuel olarak oluşturulan çizelge ile KDS ile oluşturulan çizelge için elde edilen sonuçların karşılaştırması Çizelge 9'da yer almaktadır. Elde edilen diğer kazanımlar ise şu şekilde sıralanabilir: (i) KDS sayesinde ders çizelgesi hazırlamak için gerekli olan bilgi kayıtlı hale getirilerek bilgi kayıplarının önüne geçilmiştir. Böylece çizelgeyi hazırlayan kişi değişse bile KDS sayesinde kolayca elde edilebilmektedir. (ii) Oluşturulan KDS sayesinde gerekli bilgiler temel bilgisayar bilgisine sahip olan kişiler tarafından sisteme kolayca girilebilmekte ve elde edilen çıktılar MS Excel çalışma sayfalarından kolayca okunabilmektedir. (iii) Bilgiler kayıtlı olduğu için oluşturulan sistem sayesinde aynı standartlara sahip çizelgeler elde edilebilmektedir. (iv) Oluşturulan matematiksel model sayesinde en uygun çözümler saniyeler içinde elde edilebilmektedir. (v) Lisans programı son sınıflarında yer alan öğrencilerin programlarında belirli günler boşaltılarak staj için kolaylık sağlamaktadır.

Çizelge 7. Tüm programlar için pazartesi gününe ait ders çizelgesi*Table 7. Course schedule of the monday for all programs*

Saat\Derslik	1.derslik	2.derslik	3.derslik	4.derslik	5.derslik	6.derslik
09.00-10.00	END2312 Gr1	Servis dersleri için kullanılmaktadır			Servis dersleri için kullanılmaktadır	
10.00-11.00	END2312 Gr1				END5020	
11.00-12.00	END2312 Gr1					
12.00-13.00	END1912 Gr1	END1912 Gr2	END4390	END4480	END5020	
13.00-14.00	END1912 Gr1	END1912 Gr2	END4390	END4480	END5020	
14.00-15.00	END1912 Gr1	END1912 Gr2	END2312 Gr1	END5200	END6325	
15.00-16.00	END4890	END4680	END2312 Gr1	END5200	END6325	
16.00-17.00	END4890	END4680	END2312 Gr1	END5200	END6325	
17.00-18.00						
18.00-19.00						
19.00-20.00	END5200	END5020	END5310			
20.00-21.00	END5200	END5020	END5310			
21.00-22.00	END5200	END5020	END5310			

Çizelge 8. 4.sınıflara ait ders programı

Table 8. Course schedule of the 4th class

Saat\Gün	Pazartesi		Salı	Çarşamba	Perşembe		Cuma	
09.00-10.00							END4982 Gr1	END4982 Gr2
10.00-11.00							END4982 Gr1	END4982 Gr2
11.00-12.00					END4992 Gr1	END4992 Gr2	END4982 Gr1	END4982 Gr2
12.00-13.00	END4390	END4480			END4992 Gr1	END4992 Gr2		
13.00-14.00	END4390	END4480			END4992 Gr1	END4992 Gr2	END4690	END4820
14.00-15.00							END4690	END4820
15.00-16.00	END4890	END4680						
16.00-17.00	END4890	END4680						

Çizelge 9. Manuel ve KDS ile oluşturulan çizelgelerin karşılaştırılması

Table 9. Comparison of the schedules created by manual and decision support system

Açıklama	Manuel olarak oluşturulan çizelge	KDS ile oluşturulan çizelge
Çizelgenin oluşturulma süresi	>1 hafta	< 1 dakika
Bölüm dışından temin edilen derslik sayısı	7	0
Akşam saatlerine yazılan ders sayısı (1.öğretim için)	4	0
Lisans son sınıflarda boş bırakılan gün sayısı:		
3. sınıflar	1	2
4. sınıflar	1	2

SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMASI (CONCLUSION AND FUTURE WORKS)

Bu çalışmada YTÜ-EM Bölümü'ne ait ders çizelgeleri ele alınmıştır. Kullanılan derslik sayısının az olması ve artan öğrenci sayısına bağlı olarak artan ders sayısı ile birlikte müfredatın değişmesiyle ders çizelgelerinin elle oluşturulması oldukça zor olmaktadır. Son dönemlerde son sınıflarda yer alan öğrencilerin uzun dönemli stajlarda yer almak için ders programlarında günleri boşaltmaya çalışmak istemesi ile de problem daha da zor bir hale gelmiştir. YTÜ-EM'ye ait DÇP için bir KTP modeli önerilmiştir ve bu modelin açık kaynak kodlu bir çözücü ile çözebilen bir KDS geliştirilmiştir. Bu KDS sayesinde bölümün kurallarına ve öğretim elemanlarının isteklerine uygun ders çizelgeleri kısa sürede optimal olarak elde edilmektedir. Gelecek çalışmalarda bu sistemimizi web-tabanlı bir yapı haline getirerek aynı probleme sahip olan kurumların kolayca erişebileceği bir sisteme dönüştürebilmektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abdelhalim, E. A., & El Khayat, G. A., 2016, An information visibility-based university timetabling for efficient use of learning spaces (IVUT), *Egyptian Informatics Journal*, 17(3), 315–325.
- Al-Qaheri, H., Hasan, M. K., & Al-Husain, R., 2011, A decision support system for a three-stage university course scheduler with an application to College of Business Administration, Kuwait University, *International Journal of Data Analysis and Information Systems*, 3(2), 95–110.
- Altunay, H., & Eren, T., 2016, Ders programı çizelgeleme problemi için 0-1 tamsayı programlama modeli ve bir örnek uygulama, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(2), 473–488.
- Ateş, A. M., & Kestane, Ö., 2014, Üniversiteler için haftalık ders programı hazırlama yazılımı, *SDU Teknik*

- Bilimler Dergisi*, 4(2), 1–11.
- Babaei, H., Karimpour, J., & Hadidi, A., 2015, A survey of approaches for university course timetabling problem, *Computers & Industrial Engineering*, 86, 43–49. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.010>.
- Bakır, M. A., & Aksop, C., 2008, A 0-1 integer programming approach to a university timetabling problem, *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 37(1), 41–55.
- Burke, E., Jackson, K., Kingston, J. H., & Weare, R., 1997, Automated university timetabling: The state of the art, *The Computer Journal*, 40(9), 565–571.
- Burke, E. K., Marecek, J., Parkes, A. J., & Rudova, H., 2010, Decomposition, reformulation, and diving in university course timetabling, *Computers & Operations Research*, 37(3), 582–597.
- Daskalaki, S., & Birbas, T., 2005, Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming, *European Journal of Operational Research*, 160(1), 106–120.
- Daskalaki, S., Birbas, T., & Housos, E., 2004, An integer programming formulation for a case study in university timetabling, *European Journal of Operational Research*, 153(1), 117–135.
- Demir, Y., & Çelik, C., 2016, Müfredat bazlı akademik zaman çizelgeleme probleminin çözümüne tam sayılı doğrusal programlama yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 145–159.
- Dimopoulou, M., & Miliotis, P., 2001, Implementation of a university course and examination timetabling system, *European Journal of Operational Research*. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00052-7).
- Eren, T., Taş, C., & Bedir, N., 2018, 0-1 tam sayı programlama ile ders programı çizelgeleme probleminin çözümü: Bir Yüksek öğretim kurumunda uygulama, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 166–175.
- Ertuğrul, İ., & Öztaş, G. Z., 2016, Ders programı oluşturulmasında 0-1 tam sayılı bulanık hedef programlama yaklaşımı, *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 159–177.
- Fonseca, G. H. G., Santos, H. G., Carrano, E. G., & Stidsen, T. J. R., 2017, Integer programming techniques for educational timetabling, *European Journal of Operational Research*, 262(1), 28–39.
- Güler, M. G., & Geçici, E., 2020, A spreadsheet based decision support system for examination timetabling, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 28(3), 1584–1598.
- Günalay, Y., & Şahin, T., 2006, A decision support system for the university timetabling problem with instructor preferences, *Asian Journal of Information Technology*, 5(12), 1479–1484.
- Kamışlı Öztürk, Z., Kasımbeyli, N., Sağır Özdemir, M., Soyuöz Acar, M., Özçetin, E., Alegöz, M., & Ceylan, G., 2016, Kullanıcı tercihlerinin dikkate alınması durumunda üniversite ders çizelgeleme problemi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(1), 2–16.
- Kökçen, H., Özdemir, R., & Ahlatcıoğlu, M., 2014, Üniversite ders zaman çizelgeleme problemi için ikili tamsayı bir model ve bir uygulama, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 43(1), 28–54.
- Lemos, A., Melo, F. S., Monteiro, P. T., & Lynce, I., 2019, Room usage optimization in timetabling: A case study at Universidade de Lisboa, *Operations Research Perspectives*, 6, 100092.
- Miranda, J., 2010, eClasSkeduler: a course scheduling system for the executive education unit at the Universidad de Chile, *Interfaces*, 40(3), 196–207. <https://doi.org/10.1287/inte.1090.0485>.
- Miranda, J., Rey, P. A., & Robles, J. M., 2012, udpSkeduler: a web architecture based decision support system for course and classroom scheduling, *Decision Support Systems*, 52(2), 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.10.011>.
- Oladokun, V. O., & Badmus, S. O., 2008, An integer linear programming model of a university course timetabling problem, *The Pacific Journal of Science and Technology*, 9(2), 426–431.
- Phillips, A. E., Waterer, H., Ehr Gott, M., & Ryan, D. M., 2015, Integer programming methods for large-scale practical classroom assignment problems, *Computers & Operations Research*, 53, 42–53.
- Piechowiak, S., & Kolski, C., 2004, Towards a generic object oriented decision support system for university timetabling: an interactive approach, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 3(01), 179–208.

- Python*, Retrieved July 30, 2019, from <https://www.python.org/>
- Sánchez-Partida, D., Martínez-Flores, J. L., & Olivares-Benítez, E., 2014, An integer linear programming model for a university timetabling problem considering time windows and consecutive periods, *Journal of Applied Operational Research*, 6(3), 158–173.
- Schimmelpfeng, K., & Helber, S., 2007, Application of a real-world university-course timetabling model solved by integer programming, *Or Spectrum*, 29(4), 783–803.
- Siddiqui, A. W., Raza, S. A., & Tariq, Z. M., 2018, A web-based group decision support system for academic term preparation, *Decision Support Systems*, 114, 1–17, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.08.005>
- Solver Studio*, Retrieved November 1, 2019, from <https://solverstudio.org/>
- Uçar, U., İşleyen, S., & Demir, Y., 2015, Ders çizelgeleme probleminin bulanık AHP ve çok amaçlı karışık tam sayılı matematiksel modelle çözümü, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(3), 513–523.
- Vermuyten, Hendrik Lemmens, S., Marques, I., & Beliën, J., 2016, Developing compact course timetables with optimized student flows, *European Journal of Operational Research*, 251(2), 651–661.