

Scheduling of Air Traffic Controllers in Turkey: A Two-Step Solution Approach Using Goal Programming

Zekeriya KAPLAN¹  Büşra TUTUMLU²  İlknur TÜKENMEZ^{3*} 

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hava Trafik Kontrolü Bölümü, 26555, Mutlalıp/ESKİŞEHİR

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 43020, Merkez/KÜTAHYA

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 61080, Merkez/TRABZON

Article Info

Research article

Received: 02/01/2023

Revision: 20/02/2023

Accepted: 22/02/2023

Keywords

Air Traffic Controller
Personel Scheduling
Integer Programming
Goal Programming
Controller Workload
Balancing
Shift Scheduling

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi

Başvuru: 02/01/2023

Düzeltilme: 20/02/2023

Kabul: 22/02/2023

Anahtar Kelimeler

Hava Trafik Kontrolörü
Personel Çözümleme
Tamsayılı Programlama
Hedef Programlama
Kontrolör İş Yükü
Dengeleme
Vardiya Çözümleme

Graphical/Tabular Abstract (Grafik Özet)

In this study, the scheduling problem of air traffic controllers (ATCo) providing field control services in Turkey's handled by considering traffic density and weather conditions. With the developed two stage mathematical model, it is aimed to balance the workloads of the employees. / Bu çalışmada Türkiye'deki Hava trafik kontrolörlerinin iş çözümü probleminde trafik yoğunluğu ve hava durumu dahil edilmiştir. Geliştirilen 2 aşamalı matematiksel model ile çalışanların iş yükleri arasındaki dengeyi sağlamak amaçlanmıştır.

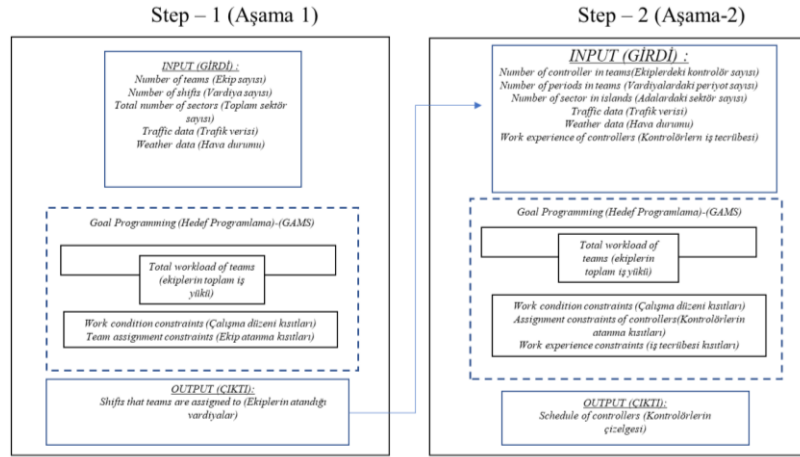


Figure A: Two step of ATCo scheduling problem / Şekil A: ATCo çözümleme probleminin iki aşaması

Highlights (Önemli noktalar)

- Air Traffic Controller / Hava Trafik Kontrolü
- Controller Workload Balancing / Kontrolör İş Yükü Dengeleme
- Shift Scheduling / İş Çözümleme

Aim (Amaç): The purpose is to balance the workloads of the controller according to traffic density and weather conditions. / Bu çalışmanın amacı kontrolörlerin iş yüklerini trafik yoğunluğu ve hava koşulları dikkate alınarak dengelemektir.

Originality (Özgünlük): Workload balancing of ATCo in Turkey by considering the traffic density and seasonal conditions, has not been discussed in the literature before. / Trafik yoğunluğu ve mevsimsel koşullar dikkate alınarak Türkiye hava kontrolörlerinin iş yükünü dengeleme problemi daha önce literatürde ele alınmamıştır.

Results (Bulgular): With the proposed mathematical model, at the first stage, shift assignments have been made to balance the total workload of the teams consisting of a certain number of people. In the second stage, the controllers have been scheduled to balance the workloads of the teams in each shift. / Önerilen matematiksel model ile ilk aşamada belirli sayıda kişiden oluşan ekiplerin toplam iş yüklerini dengeleyecek şekilde vardiya atamaları yapılmıştır. İkinci aşamada ise her bir vardiyadaki ekiplerin kendi içerisinde iş yüklerini dengeleyecek şekilde kontrolörlerin çözümlemesi yapılmıştır.

Conclusion (Sonuç): In this study, by balancing the workloads of the controllers, it was ensured that the working conditions were more fair and improved. / Bu çalışmada kontrolörlerin iş yüklerinin dengelemesi ile çalışma koşullarının daha adil olması ve iyileştirilmesi sağlanmıştır.



Türkiye'deki Hava Trafik Kontrolörlerinin Çizelgelenmesi: Hedef Programlama Kullanarak İki Aşamalı Çözüm Yaklaşımı

Zekeriya KAPLAN¹ Büşra TUTUMLU² İlknur TÜKENMEZ^{3*}

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hava Trafik Kontrolü Bölümü, 26555, Mutlalıp/ESKİŞEHİR

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 43020, Merkez/KÜTAHYA

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 61080, Merkez/TRABZON

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 02/01/2023
Düzeltilme: 20/02/2023
Kabul: 22/02/2023

Anahtar Kelimeler

Hava Trafik Kontrolörü
Personel Çizelgeleme
Tamsayılı Programlama
Hedef Programlama
Kontrolör İş Yükü
Dengeleme
Vardiya Çizelgeleme

Öz

Bu çalışmada Türkiye'de saha kontrol hizmeti veren hava trafik kontrolörlerinin (ATCo) çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Kontrolörler belirli bir zaman diliminde sınırlı sayıda uçak kontrol edebileceği için hava sahaları birden fazla sektöre ayrılmaktadır. Yol safhasındaki uçuşlar için verilen saha kontrol hizmeti hem yerel uçuşları hem de ülke sınırları içerisindeki herhangi bir havalimanına iniş-kalkış yapmayan transit uçuşları kapsamaktadır. Bu sektörlerdeki trafik yoğunluğu saatlik dilimlere, gece-gündüz saatlerine ve mevsimlere göre değişkenlik göstermektedir. Trafik yoğunluğu ile doğru orantılı olarak da kontrolörlerin iş yükü artmaktadır. Bunun yanı sıra mevsimsel farklılıklar ve hava koşulları iş yükünü etkileyen faktörlerdir. Bu faktörler de doğrudan kontrolör iş yükünü etkilemektedir. Çalışmada sektörlerdeki tahmini trafik talebi ve hava koşulları dikkate alınarak kontrolörlerin iş yükü dağılımını dengelemek amacıyla iki aşamalı matematiksel model önerilmiştir. İlk aşamada farklı kontrolör ekiplerinin toplam iş yüklerini dengeleyecek şekilde 10 günlük vardiya atamaları yapılmıştır. İkinci aşamada ise personelin iş yükünü dengeleyecek şekilde her bir vardiyadaki her bir ekip bünyesindeki kontrolörlerin çizelgelenmesi yapılmıştır. Kontrolörlerin çalışma saatleri, dinlenme saatleri gibi çalışma koşullarının yanında tecrübeli ve tecrübesiz kontrolör ayrımı da dikkate alınmıştır.

Scheduling of Air Traffic Controllers in Turkey: A Two-Step Solution Approach Using Goal Programming

Article Info

Research article
Received: 02/01/2023
Revision: 20/02/2023
Accepted: 22/02/2023

Keywords

Air Traffic Controller
Personel Scheduling
Integer Programming
Goal Programming
Controller Workload
Balancing
Shift Scheduling

Abstract

In this study, the scheduling problem of air traffic controllers (ATCo) providing area control services in Turkey is discussed. Airspace is divided into multiple sectors, as controllers can control a limited number of aircraft in a given time period. The area control service provided for the flights at the en-route phase includes both of the transit and domestic flights. The traffic density in these sectors varies according to hourly zones, day-night hours and seasons. As the traffic density increases, the workload also increases. In addition, seasonal differences and weather conditions are factors that affect the workload. In the study, a two-stage mathematical model is proposed in order to balance the workload distribution of the controllers, considering the estimated traffic demand and weather conditions in the sectors. In the first stage, shift assignments were made to balance the total workload of the teams consisting of a certain number of people in a ten-day period. In the second stage, the controllers were scheduled to balance the workloads of the teams in each shift. In addition to the working conditions of the controllers such as work and rest hours, the difference of experienced and inexperienced ATCo is also considered.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1990 ile 2019 yılları arasında hava yolculuğuna olan talep dünya genelinde yıllık ortalama %3,5 artış

göstermiştir [1]. Bu talebin artışı, uçuş sayısında da artışa neden olmuştur, bu da hava trafik kontrolörlerinin iş yükünün artması anlamına gelir. Genel olarak hem fizyolojik hem de psikolojik

etkisi olan iş yükü, yapılacak görevlerin gerektirdiği nesnel çabalar ve bu çabalara ilişkin kişinin öznel algısı olarak tanımlanmaktadır [2]. Repetti, kontrolörlerin iş arkadaşları ile sosyal etkileşimi, günlük ruh hali ve sağlık şikayetleri ile ilgili yaptığı çalışmada bir kontrolörün iş yükünü havalimanındaki trafik oranı olarak tanımlamıştır [3]. Ancak, uçuş sayısının yanında uçuş türleri ve hava koşullarındaki değişimlere bağlı olarak iş yüklerinde artış olabilir. Kontrolörlerin tecrübelerine göre farklı etkiye sahip olan bu faktörleri de hesaba katarak çalışmamızda iş yükünü; belirli bir zaman diliminde belirli trafik ve hava koşullarında kendi sorumluluklarındaki hava sahasında kontrol ettikleri toplam uçak sayısı olarak tanımlamaktayız.

Hava trafik kontrol hizmeti, uçaklar arasındaki ve uçaklarla engeller arasındaki çakışmaları önleyerek emniyetli, hızlı ve düzenli bir hava trafik akışı sağlamak ve sürdürmektir. Hava trafik kontrolörleri, küresel hava trafik sisteminde bu hizmeti sağlamak için eğitilen kişilerdir [4]. Hava trafik kontrol hizmeti; saha kontrol hizmeti, yaklaşma kontrol hizmeti ve meydan kontrol hizmeti olmak üzere üçe ayrılır. Bu çalışmada, saha kontrol hizmeti veren kontrolörlerin çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Saha kontrolündeki hava trafik kontrolörleri, kendilerine tahsis edilen hava sahasındaki uçakların konumunu radar ekranı ile takip ederler. Aynı zamanda pilotlarla belirli radyo frekansları üzerinden haberleşerek gerekli talimatları verirler. Her bir radar ekranının başında bir yönetici (executive) ve bir planlayıcı (planner) olmak üzere genellikle iki kontrolör bulunur. Yönetici kontrolör, emniyetli bir trafik akışını sağlamak amacıyla gerekli talimatları vermek için pilotlarla iletişime geçen kişidir. Planlayıcı kontrolörler ise uçaklar arasındaki olası çakışmaları belirleyip yönetici kontrolör ile paylaşan kişidir. Bunun yanında, sorumluluğu altındaki sektöre uçakların giriş ve çıkış koşullarını komşu sektörlerin kontrolörleri ile koordine etmektedir.

Literatürde farklı iş alanları için uygulanan personel çizelgeleme problemi için çeşitli çözüm yaklaşımları ve algoritmalar önerilmiştir. Koçtepe vd. kültürel, bilimsel etkinlikler ve eğlence sektöründe çalışan organizasyon görevlilerinin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. 0-1 tam sayılı programlama modeli ile özel bir şirket için düzenlenen bölge bayii toplantısı etkinliğinde gerekli personel sayısı ve yetkinliklerini belirlemişlerdir. Personelin yetkinliklerine uygun biçimde görev ataması yapmışlardır [5]. Eren vd. kamuda çalışan temizlik personelinin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Hedef

programlama modeli kurarak belirli kıdemdeki personelin görev sayısı hedefine ulaşmasını istemişlerdir [6]. Azaiez ve Al Sharif hemşirelerin çizelgelenmesi için 0-1 doğrusal hedef programlama modeli önermişlerdir. Hastane açısından personelin fazla mesaisinden doğan ek maliyetleri azaltarak sürekli bir hizmet sağlamayı hedeflemişlerdir. Personel açısından ise gece ve hafta sonu vardiya dağılımlarının adil bir şekilde olması hedeflenmiştir [7]. Bağ vd. ise analitik ağ prosesi ve hedef programlama ile hemşire çizelgeleme probleminin çözümünü gerçekleştirmişlerdir [8]. Bunun yanında Özcan vd. hidroelektrik santrallerinde çalışan personelin aylık vardiya çizelgelerini hedef programlama kullanarak planlamışlardır. Personelin dikkat ve motivasyonunu artırmak amacıyla vardiyalara personelin kıdem seviyelerine göre atamalar yapmışlardır [9]. Demirel vd. ANKARAY güvenlik personelinin vardiya çizelgeleme problemini ele almışlardır. Hedef programlama kullanarak her bir personel için çalıştıkları vardiya sayılarını eşitlemeyi amaçlamışlardır. Bir aylık vardiya planına göre, personellerin hangi istasyonda, hangi vardiyada çalışacağı ve hangi günler tatilde olacağını elde etmişlerdir [10]. Aykin çalışmada birden fazla dinlenme ve öğle yemeği mola penceresi içeren vardiyaların planlanması için bir tamsayı programlama modeli sunmuştur. Vardiyamola kombinasyonları için yeni bir yaklaşım önerisinde bulunmuştur. Bu önerisinin büyük boyutlu vardiya çizelgeleme problemlerini optimal olarak çözmeye çok fayda sağladığını göstermiştir [11].

Personel çizelgelemenin uygulandığı alanlardan biri de hava trafik kontrolörlerin çizelgelenmesi problemidir. Conniss vd. hava trafik kontrolörlerin çizelgelenmesi problemi için bir ağgözlü sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Zamanı 30 dakikalık bloklar halinde böldükleri algoritmada, bir kontrolörün çalışma süresini 2 saat ile sınırlandırırken dinlenme süresini minimum 30 dakika olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın amacı kontrolörlerin atandıkları farklı pozisyon sayısını maksimize etmektir [12]. Tello vd. belirli bir hava sahası sektörü için gerekli olan kontrolör sayısını en küçükleme amacıyla kontrolörlerin vardiya planlamasını yapmışlardır. Çözüm yaklaşımı olarak çok başlangıçlı tavlama benzetimi kullanmışlardır. Önerilen yaklaşımda, ilk uygun çözümleri optimize edilmiş şablonlara dayalı bir sezgisel yöntem kullanarak oluşturmuşlardır. Bir kontrolörün ardışık vardiyalarda en fazla iki farklı sektörde çalışmasına izin vermişlerdir [13]. Sonrasında Tello vd. problemi çok amaçlı olarak ele almışlar ve kontrolörlerin çalışma-dinlenme süreleri,

çalıştıkları farklı pozisyon sayıları ve iş yükü dağılımlarıyla ilgilenmişlerdir. İlk çalışmada minimum çalışma ve dinlenme sürelerini 30 dakika olarak belirlerken ikincisinde 15 dakika olarak belirlemişlerdir. Ayrıca ikinci çalışmada ardışık vardiyalarda farklı sektörlerde çalışma sayısını 3'e çıkarmışlardır [14]. Jiménez-Martín vd. kontrolörlerin çizelgelenmesi problemini taktiksel olarak ele almışlardır. Bu durumda trafikte beklenmedik bir artış meydana gelmesi, bazı personelin hastalanması gibi olayları göz önünde bulundurarak anlık trafik talebine göre kontrolörleri yeniden atamışlardır. Yeni atamalarda mevcut kontrolörlerin daha önceden yaptıkları işleri de hesaba katmışlardır. Minimum çalışma-dinlenme sürelerini 15 dakika olarak belirlemişlerdir. Çalışmalarında iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı benimsemişlerdir. İlk aşamanın amacı mevcut kontrolörler ile açılan ya da kapanan sektörler dikkate alınarak muhtemel gerçekleştirilemez başlangıç çözümü oluşturmaktır. İkinci aşamada ise tavlama benzetimi ve değişken komşuluk araması yöntemlerini kullanarak uygun çözüm elde edilmektedir [15]. Wang ve Ke yaptıkları çalışmada havacılık kazalarının doğrudan olmasa bile %21'inin yorgunluk ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple kontrolörlerin yorgunluğunu azaltmak amacıyla tam sayılı programlama kullanarak vardiya planlaması yapmışlardır [16]. Josefsson vd. iki veya daha fazla havalimanındaki operasyonların uzaktan kontrol edilebildiği uzaktan kule merkezlerinde çalışan kontrolörlerin çizelgelenmesi problemi için doğrusal karar modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarında gerekli kontrolör sayısının, havalimanı başına ortalama kontrolör sayısının ve pozisyon değişikliği sayısının enküçüklenmesi amaçları için çözümler elde etmişlerdir [17]. Hernandez-Romero vd. çeşitli hava olaylarının ATCO iş yükü üzerindeki etkisini ATCO'larla yapılan yapılandırılmış görüşmeler yoluyla incelemişlerdir. Personel çizelgelenmesi için Karma Tamsayı Programlama (MIP) modele belirsiz etkili hava olaylarını dahil etmişlerdir [18]. Kontrolörlerin simülasyon eğitimleri sürecinde önemli rol oynayan pseudo-pilot pozisyonundaki kişilerin iş yükü dağılımlarını dengelemek amacıyla Dönmez vd. bir MIP model geliştirmişlerdir. Bu amaçla ilk olarak matematiksel model ile pilotlara eşit periyot ataması yapmışlardır. Daha sonra pilotların simülasyon görevlerini ağırlıklandırmak için, NASA Görev Yükü İndeksini (NASA TLX) kullanmışlardır [19].

Bu çalışmada, Türkiye'de saha kontrol hizmetinde çalışan hava trafik kontrolörlerinin vardiya planlaması ve çizelgelenmesi problemi iki aşamada

çözülmüştür. Saha kontrol hizmetinde çalışan kontrolörler belirli ekiplerden oluşmaktadır. Yapılan çalışmada bu durum dikkate alınarak modelin ilk aşamasında ekiplerin 10 günlük vardiya planlaması yapılmıştır. Bu sürede ekiplerin belirli mesai koşullarını sağlamak şartıyla çalışacakları gün ve vardiyalar belirlenmiştir. İkinci aşamada ise ekiplerin atandıkları vardiyalardaki çizelgelenmeleri yapılmıştır. Çizelgeleme yapılırken kontrolörlerin çalışma şartları hesaba katılarak atandıkları vardiyalardaki çalışma ve dinlenme saatleri ile çalışacakları sektör ve birlikte çalışacakları iş arkadaşı belirlenmiştir. Her iki aşamada da amaç kontrolörlerin iş yükü dağılımını kendileri arasında dengelemektir.

Literatürde ele alınan problemler ile karşılaştırıldığında Türkiye'deki kontrolörlerin vardiya planlamalarında ve çalışma koşullarında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar bu çalışmayı literatürden ayıran önemli özelliklerdir. Örneğin, literatürdeki çalışmalarda kontrolörler tüm vardiyalarda çalışabilirken ele alınan problemde vardiya planlaması belirli ekiplerin belirli vardiyalarda çalışmaları gerektiği koşuluna göre yapılmaktadır. Ayrıca belirli ekipler yalnızca belirli hava sahalarını kontrol edebilme yetkinliğine sahiptirler. Bu durum belirli kişilerin belirli pozisyonlarda çalışması koşulundan farklıdır. Bu çalışmada iş yükü dağılımını dengelemek amacıyla gerçeğe uygun olarak kontrolörlerin hem yönetici hem de planlayıcı pozisyonlarında çalışmalarına izin verilmiştir. Bunun yanı sıra, kontrolörlerin çalışma ve dinlenme saatleri esnek olmayıp (en az 30 dk. ve en fazla 2 sa. gibi) 2 saat çalışma ve 2 saat dinlenme şeklindedir.

Daha önce de belirtildiği gibi çalışmada bir kontrolörün iş yükü belirli bir zaman diliminde belirli trafik ve hava koşullarında kontrol ettiği toplam uçak sayısı olarak alınmıştır. Ancak, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak yerel ve transit uçuşların kontrolörler açısından farklı iş yüküne sahip olmaları hesaba katılmıştır. Bunun yanında mevsimsel farklılık, farklı hava olayları ve hava koşullarının olması hava trafik akışını etkileyen faktörlerdir. Bu da doğrudan kontrolör iş yükünü etkilemektedir. Çalışmada hesaba katılan bu duruma örnek olarak, özellikle kış aylarında pilotların olumsuz hava koşullarından kaçınmak isterken kontrolörlerin daha fazla uçağa daha fazla talimatta bulunmasını verebiliriz. Ele alınan yeniliklerden bir diğeri de tecrübeli ve tecrübesiz kontrolör ayrımının hesaba katılmasıdır. Aynı hava koşulları için, belirli bir trafik talebinin tecrübeli ve tecrübesiz kontrolörler üzerinde farklı fizyolojik ve psikolojik etkileri olabilir. Bu nedenle, tecrübesiz

kontrolörlerin tecrübeli kontrolörlerle birlikte çalışması önerilmektedir, bu sayede tecrübesiz kontrolörler deneyim kazanarak daha iyi bir performans sergileyebilirler. Önerilen matematiksel modelde, yerel-transit trafik talep oranlarının ve tahmini hava durumunun toplam iş yüküne olan etkisini gösteren katsayılar kullanıcı tarafından belirlenebilirler.

Çalışmada önerilen iki aşamalı matematiksel model ile kontrolörlerin hem vardiyalarının belirlenmesi hem de çalışma saatlerinin çizelgelenmesi yapılabilmektedir. Kontrolörlerin iş yüklerini dengelemek amacıyla hedef programlama yönteminin kullanılarak çözümlerin elde edildiği bu çalışmanın farkı ve literatüre sağladığı katkıları şu şekilde özetlenebilir:

- Belirli ekiplerin yalnızca belirli vardiyalarda çalışmaları koşuluyla atamaların yapılması
- Esnek olmayan çalışma saatleri için çizelgelenmenin yapılması
- Geliştirilen modelde iş yükü açısından yerel ve transit uçuş ayırımının hesaba katılması
- Geliştirilen modelde iş yükü açısından mevsimsel farklılık ve hava koşullarının hesaba katılması
- Tecrübeli ve tecrübesiz kontrolör ayırımının hesaba katılması
- Kontrolörlerin iş yüklerinin kendi aralarında dengelenmesi

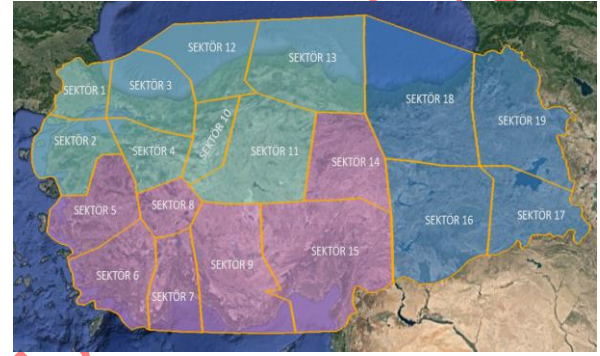
Çalışmanın ikinci bölümünde hava trafik kontrolörleri ve Türkiye'deki sektörler hakkında bilgiler verildikten sonra Türkiye'deki kontrolörlerin çizelgelenmesi problemi ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, tanımlanan problem için geliştirilen matematiksel model sunulmuştur. Dördüncü bölümde hedef programlama ve nasıl uygulandığı hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde ise modelin test edildiği örnek uygulama yapılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise sonuçlar ve öneriler ifade edilmiştir.

2. PROBLEMİN TANIMI (DESCRIPTION OF THE PROBLEM)

Hava trafik kontrolörü belirli bir zaman diliminde sınırlı sayıda uçağı kontrol edebilir. Bu sebeple hava sahaları birden fazla alana ayrılırlar. Bu alanlar sektör olarak adlandırılır. Bazı sektörler ise çok yoğun trafik talebine sahip oldukları için kendi içerisinde üst (U) ve alt (L) olmak üzere iki seviye katmanına ayrılırlar. Tahmini trafiğı kontrol etmek için önceden tasarlanan bu sektör yapılandırmaları

hava sahası sektör konfigürasyonu olarak adlandırılır.

Türkiye hava sahası ve sektör yapısı Şekil 1'de verilmiştir [20]. Toplam 19 tane sektör bulunmaktadır. Bu sektörlerin her biri bir yönetici ve bir planlayıcı kontrolör tarafından kontrol edilir. Üst ve alt katmanlara ayrılmış sektörler trafik talebinin az olduğu zamanlarda aynı yönetici ve planlayıcı kontrolörlerin sorumluluğunda iken trafik talebinin yoğun olduğu zamanlarda farklı yönetici ve planlayıcı kontrolörlerin sorumluluğundadır.



Şekil 1. Türkiye hava sahası sektörlerindeki adalar [20] (Islands in Turkish airspace sectors [20])

Kontrolörlerin sorumlu olduğu sektörler önceden belirlenmektedir. Yani, kontrolörler yalnızca belirli sektörlerde çalışabilmektedirler. Bu sebeple Türkiye hava sahasındaki sektörler gruplandırılarak 3 adaya ayrılmıştır. Her bir kontrolör yalnızca görevlendirildiği adada yer alan sektörlerde çalışabilmektedir. Adalar Şekil 1'de farklı renklerle gösterilmiştir. Böylece hangi adada hangi sektörlerin yer aldığı da görülmektedir. Adalarda yer alan sektörler ve bu sektörlerin alt ve üst katmanlarının birlikte ya da ayrı ayrı kontrol edilme durumları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Adalarda yer alan sektörler (Sectors on the islands)

SEKTÖRLER	ADALAR		
	Ada-1	Ada-2	Ada-3
Sektör 1 – 2 L/U	✓		
Sektör 3 – 4 L/U	✓		
Sektör 5 – 6 L/U		✓	
Sektör 7 – 8 – 9 L		✓	
Sektör 7 – 8 – 9 U		✓	
Sektör 10 – 11 L/U	✓		
Sektör 12 L/U	✓		
Sektör 13 L/U	✓		
Sektör 14 L/U		✓	
Sektör 15 L/U		✓	
Sektör 16 – 17 L			✓
Sektör 16 – 17 U			✓
Sektör 18 – 19 L/U			✓

Buna göre Ada – 1’de toplam 5, Ada – 2’de toplam 5, Ada – 3’de toplam 3 sektör grubu bulunmaktadır. Kontrolörlerin çalışacakları sektörleri bu verilere göre de açıklayabiliriz. Örneğin; Ada-1’de görevli bir kontrolör Sektör 1-2-3-4-10-11-12-13’den herhangi birisinde çalışabilirken diğer sektörlerde çalışmamaktadır. Ayrıca bir kontrolör grupta yer alan sektörlerden aynı anda sorumludur. Buna göre, çalışacağı saatte bu adadaki ilk grup olan Sektör 1-2 L/U’de çizelgelenmiş ise Sektör 1, Sektör 2 ve bu sektörlerin her iki katmanından da sorumludur. Her bir kontrolör aynı mesaide farklı sektör gruplarında çalışabilir. Bu çalışma düzenine uygun olarak farklı ekipler oluşturulmuştur. Tüm ekiplerde adalardaki sektörleri kontrol edecek kadar yeterli sayıda kontrolör bulunmaktadır.

Oluşturulan ekipler belirli bir düzene göre vardiyalara atanmaktadır. Sonrasında ekiplerdeki kontrolörlerin atandıkları vardiyalar için çizelgelenmesi yapılmaktadır. Çalışmamızda bağımsız bir şekilde ele alınan Aşama-1 ve Aşama-2 vardiyası atamaları ve kontrolör çizelgelenmeleri aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

2.1. Aşama – 1 (The Stage-1)

Türkiye hava sahasındaki sektörleri kontrol eden yol safhası kontrolörleri 5 ekipten oluşmaktadır. Bu ekiplerin çalışacağı gündüz ve gece olmak üzere bir günde iki vardiya bulunmaktadır. Ekiplerin vardiyası çalışma düzeni Tablo 2’de verilmiştir. Her bir ekip bir vardiya çalışıp iki vardiya dinlendikten sonra tekrar bir vardiya çalışıp altı vardiya dinlenmektedir. Vardiyaların 12’şer saatten oluştuğunu düşünürsek; her bir ekip 12 saatlik

vardiyada görevlendirildiği saatlerde çalışıp 24 saat dinlenmektedir. Sonrasında tekrar 12 saatlik vardiyada görevli olduğu saatlerde çalışıp 72 saat dinlenmektedir.

Tablo 2. Beş ekip için vardiya çalışma düzeni (Shift work order for five teams)

Gün	Gündüz Vardiyası	Gece Vardiyası
1	A Var-1	B Var-2
2	C Var-3	A Var-4
3	D Var-5	C Var-6
4	E Var-7	D Var-8
5	B Var-9	E Var-10
6	A Var-11	B Var-12
7	C Var-13	A Var-14
8	D Var-15	C Var-16
9	E Var-17	D Var-18
10	B Var-19	E Var-20

Tablo 2’den de görüldüğü gibi, A ekibi Var-1 gündüz vardiyasında çalıştıktan sonra iki vardiya dinlenip Var-4 gece vardiyasında çalışmaktadır. Daha sonra da altı vardiya dinlenip Var-11 gündüz vardiyasında çalışmaktadır. B ekibi ise Var-2 gece vardiyasında çalıştıktan sonra altı vardiya dinlenip Var-9 gündüz vardiyasında çalışmaktadır. Sonrasında iki vardiya dinlenip Var-12 gece vardiyasında çalışmaktadır. Tüm ekiplerin vardiyası çalışma düzenleri bu döngüyle devam etmektedir. Tabloda da görüldüğü üzere 5 ekibin çalışma döngüsü 10 günde tamamlanmaktadır.

Ekiplerin vardiyalara atanmasında 5 farklı durum mevcuttur. Bu durum personelin aylık çalışma saatlerini doldurması, çizelgenin kurallara göre yapılması sonucu ortaya çıkmıştır. Ekipler, vardiya 1-4-11-14, vardiya 2-9-12-19, vardiya 3-6-13-16, vardiya 5-8-15-18 ve vardiya 7-10-17-20 durumlarından birine atanabilmektedir. Bu sebeple ilk aşama modelde 10 gün - 20 vardiya çalışma düzenine göre ekiplerin vardiyalara atamaları yapılmıştır. Aşama-1 modelinin amacı ekipler için yerel-transit trafik talebi ve hava durumu etkisinden kaynaklanan 10 günlük iş yükü dağılımını dengelemektir.

2.2. Aşama – 2 (The Stage-2)

İlk aşamada ekiplerin çalışacakları vardiyalar belirlendikten sonra bu aşamada kontrolörlerin atandıkları vardiyalardaki çizelgelenmeleri yapılmaktadır. Ekiplerin bünyesinde tüm adalardaki sektörleri kontrol edebilecek kadar kontrolör bulunmaktadır. Ancak daha önce de belirtildiği gibi kontrolörler yalnızca sorumlu oldukları adalardaki sektörlerde görevlendirilmektedirler. Bu sebeple,

kontrolörlerin atandıkları vardiyalardaki çizelgeleri de adalar için ayrı ayrı yapılmaktadır. Çalışmamızın ikinci aşamasında önerilen matematiksel model ile her bir adada görevli olan kontrolörlerin çizelgesi yapılmıştır. Çizelgeleme yapılırken Aşama-1'de atandıkları vardiyalar için trafik talebi ve tahmini hava durumu koşulları dikkate alınmıştır. Böylece, bu koşullardan kaynaklanan iş yükünü dengelemek amacıyla kontrolörlerin çizelgesi yapılmıştır.

Daha önce belirtildiği gibi, bir kontrolör hem yönetici hem de planlayıcı olarak çalışabilmektedir. Ancak, herhangi bir sektöre personel görevlendirilirken tecrübesiz kontrolörün yanına tecrübeli kontrolör verilmesi önerilmektedir. Kontrolörlerin atandıkları vardiyalarda çalışma ve dinlenme saatleri ikişer saatlik periyotlar halindedir. Yani, bir kontrolör 2 saat çalışıp 2 saat dinlenmelidir. İkinci aşama matematiksel modelde tecrübeli-tecrübesiz kontrolör eşleşmesi ve ikişer saatlik çalışma-dinlenme düzeni dikkate alınmıştır.

Türkiye'deki yol kontrolörlerinin çalışma koşullarını maddeler halinde özetleyecek olursak:

- Toplam 5 ekip bulunmaktadır.
- Ekipler 1 vardiya çalış – 2 vardiya dinlen – 1 vardiya çalış– 6 vardiya dinlen düzeniyle çalışmaktadır.
- Ekipler farklı sektörlerden oluşan 3 adada çalışacak alt gruplardan oluşmaktadır.
- Kontrolörler yalnızca görevli oldukları ada bünyesindeki sektörlerde çalışabilmektedir.
- Aynı vardiyada farklı sektörlerde görevlendirilebilirler.
- Kontrolörler vardiyalarda 2 saat çalışıp 2 saat dinlenmelidirler.
- Her sektör bir yönetici ve bir planlayıcı kontrolör tarafından kontrol edilir.
- Tecrübesiz kontrolörler, tecrübeli kontrolörler ile çalışmalıdır.

Önerilen modelde, zorunlu ve gevşek kısıtların olduğu hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Önerilen modelin indisleri, parametreleri, karar değişkenleri, amaç fonksiyonları ve kısıtlar aşağıda sunulmuştur.

2.3. Trafik Talebi ve Tahmini Hava Durumu (Traffic Demand and Forecast Weather)

Bu bölümde Türkiye hava sahasındaki sektörler için yerel ve transit uçuş talep oranlarının nasıl belirlendiğinden bahsedilmiştir. Hava koşullarının hava trafik kontrolörlerin iş yüküne olan etkisi hakkında bilgi verilmiştir. Bunun yanında yaz ve kış

ayları için tahmini hava durumu verisinin nasıl üretildiği ve kontrolör iş yüküne olan etkisinin nasıl belirlendiği anlatılmıştır.

2.3.1. Sektörler İçin Trafik Verisi (Traffic Data for Sectors)

Türkiye hava sahasındaki uçuş oranlarını belirlemek için Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) tarafından paylaşılan veriler incelenmiştir. Buna göre, 2018 – 2021 yılları arasında yapılan tüm uçuşların ortalama %79,12'sini yerel uçuşlar ve ortalama %20,88'ini transit uçuşlar oluşturmuştur [21]. Yerel uçuşların sektörlerdeki dağılım oranlarını belirlemek için 2018 – 2021 yılları arasında havalimanlarında gerçekleşen toplam uçuş sayıları dikkate alınmış ve her bir havalimanı için trafik oranı belirlenmiştir. Sektörlerdeki transit uçuş oranlarını belirlemek için de çevrimiçi harita üzerinden uçuş bilgilerini anlık olarak takip edebildiğimiz Flightradar24 web sitesinden yararlanılmıştır [22]. Web sitesinin filtreleme özelliğini kullanarak Türkiye hava sahası üzerinde gerçekleşen yol safhası uçuşları 1 hafta boyunca takip edilmiş ve trafik oranları belirlenmiştir. Her bir sektör için elde edilen yerel ve transit trafik dağılım oranları Tablo 3'de verilmiştir. Ancak, sektörler için trafik talepleri saatlik olarak değiştiği için bu ortalama oranların yanında gece ve gündüz trafikleri için ayrı ayrı olmak üzere en düşük ve en yüksek değerler de hesaba katılmıştır. Bu oran ve değerlere göre de her bir sektör için trafik talep aralıkları belirlenmiştir. Böylece, sektörlerin saatlik trafik veri setleri bu talep aralıklarına göre rassal olarak oluşturulmuştur.

Tablo 3. Türkiye hava sahasındaki sektörler için yerel ve transit uçuş oranları [21,22] (Local and transit flight rates for sectors in Turkish airspace [21,22])

Sektör	Yerel trafik oranı (%)	Transit trafik oranı (%)	Sektör	Yerel trafik oranı (%)	Transit trafik oranı (%)
1	1,96	5,21	11	1,02	9,38
2	2,02	2,08	12	0,04	10,42
3	28,40	3,13	13	1,43	8,33
4	16,25	1,04	14	1,34	6,25
5	7,22	2,08	15	5,12	2,08
6	5,32	3,13	16	2,95	5,21
7	11,51	3,13	17	0,75	3,13
8	2,51	2,08	18	2,45	14,58
9	0,98	7,29	19	2,33	2,08
10	6,40	9,38			

2.3.2. Hava Koşullarının Etkisi ve Tahmini Hava Durumu (Effect of Weather Conditions and Forecast Weather)

Hava koşulları, hava trafik kontrolörlerinin iş yükünü etkileyen faktörlerden birisidir. Özellikle olumsuz hava koşulları, hava trafik kontrolörlerinin iş yükü üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Şiddetli rüzgarlar, sis veya yağış nedeniyle düşük görüş mesafesi ve türbülans, kontrolörlerin kendi sorumluluk alanlarındaki trafik akışını emniyetli bir şekilde yönetmelerini zorlaştırabilir. Özellikle kış aylarında karşılaşılan bu koşullar, uçuşların gecikmesine, iptal edilmesine veya yönlendirilmesine neden olabilir. Bu durum, hava trafik kontrolörlerinin daha fazla çalışmasına ve daha fazla zorlukla karşı karşıya kalmalarına neden olabilir.

Ayrıca, olumsuz hava koşulları nedeniyle hava trafik kontrolörleri, daha fazla zaman harcayarak uçuşlar arasındaki mesafeyi artırmayı ve uçuşlar arasındaki zamanı arttırmayı düşünebilirler. Örneğin, şiddetli rüzgarlar uçağın amaçlanan uçuş yollarından sapmasına neden olabilir ve kontrolörlerin pilotlara gözden geçirilmiş talimatlar vermesini gerektirebilir. Düşük görüş mesafesi, kontrolörlerin uçağı görsel olarak izlemesini zorlaştırabilir ve durumsal farkındalığı sürdürmek için ek radar ve diğer elektronik sistemlerin kullanılmasını gerektirebilir. Ayrıca türbülans pilotların uçak kontrolünü sürdürmelerini zorlaştırabilir ve kontrolörlerin ek rehberlik ve yardım sağlamasını gerektirebilir. Genel olarak, olumsuz hava koşulları, kontrolörler üzerindeki zihinsel ve fiziksel talepleri artırabilir ve potansiyel olarak artan stres ve yorgunluğa yol açabilir. Bu nedenle, hava koşullarının değişebileceği ve bu değişimlerin kontrolörlerin iş yüküne olan etkisi hesaba katılmalıdır.

Hava durumu tahminlerini kullanarak hava sahalarındaki hava koşulları önceden tahmin edilebilir. Bu tahminler doğrultusunda, hava trafik kontrolörlerinin çizelgelemesi yapılabilir. Özellikle, beklenen olumsuz hava koşulları durumunda, hava trafik kontrolörlerinin iş yükleri dengelenerek, daha az çalışma yükü altına alınabilir. Bu sayede, hava trafik kontrolörleri, beklenen olumsuz hava koşullarının etkisi altında daha az yük altında çalışarak, daha iyi performans gösterebilirler. Ayrıca, hava durumu tahminleri doğrultusunda, hava trafik kontrolörlerinin çalışma saatleri belirlenirken olumsuz hava koşullarının daha fazla

olduğu saatler dikkate alınarak iş yükü dengelenebilir. Genel olarak, hava durumu tahminleri, hava trafik kontrolörlerinin çizelgelemesi yapılırken dikkate alınarak, iş yükleri dengelenebilir ve onların performansını artırmaya yardımcı olabilir.

Tahmini hava koşulları veri setinde hava koşullarının açık, sisli, yağışlı, rüzgârlı ve fırtınalı olması gibi durumlar için kış ve yaz aylarında görülme sıklıkları ve bu hava koşullarının iş yüküne olan etki katsayıları Tablo 4'de verildiği gibi belirlenmiştir.

Tablo 4. Hava koşulları görülme sıklığı oranları ve iş yükü etki katsayıları (Weather conditions incidence rates and workload impact coefficients)

Hava Koşulları	Görülme sıklığı (Kış ayları)	Görülme sıklığı (Yaz ayları)	İş yükü katsayı
Açık	<% 10	<% 30	0<w<1
Sisli	% 10 - % 20	% 30 - % 50	1<w<2
Yağışlı	% 20 - % 30	% 50 - % 70	2<w<3
Rüzgârlı	% 30 - % 50	% 70 - % 80	3<w<5
Yoğun yağışlı	% 50 - % 70	% 80 - % 90	5<w<7
Fırtınalı	% 70 - % 100	% 90 - % 100	7<w<10

Kış ayları ile yaz aylarında hava olaylarının görülme sıklıkları ters orantılıdır. Örneğin, yaz aylarında açık hava koşullarının görülme sıklığı yüksek olduğu için, açık hava koşullarının iş yüküne olan etkisi düşük olur ve bu da iş yükünü azaltır. Kış aylarında ise, yoğun yağışlı hava koşullarının görülme sıklığı yüksek olduğu için iş yüküne olan etkisi yüksek olur ve bu da iş yükünü artırır. Buna göre yaz ve kış ayları için tahmini hava koşulları saatlik dilimlerde tüm sektörler için rassal olarak atanmıştır. Böylece iş yüküne olan etkileri de belirlenmiştir.

Hava koşullarının görülme sıklığı yıl içerisinde mevsimlerden etkilenir. Bu nedenle, hava koşullarının iş yüküne olan etkisini tahmin etmek için hava koşullarının yıl içerisinde görülme sıklığının mevsimlere göre değiştiği dikkate alınmalıdır. Bu sebeple, yaz ve kış ayları için ayrı ayrı veri setleri oluşturulmuştur ve bu veri setlerinde hava koşullarının görülme sıklığı mevsime göre belirlenmiştir. Bu sayede, hava koşullarının iş

yüküne olan etkisi tahmin edilirken mevsimlerin de dikkate alınması sağlanmıştır ve hava koşullarının iş yüküne olan etkisinin daha doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi mümkün olmuştur.

Yerel ve transit trafik talepleri ile hava koşullarının iş yüküne olan etkileri farklı değer aralıklarına sahip oldukları için büyük olan değer diğerine göre daha baskın olacaktır. Bunu engellemek trafik talepleri ve hava durumu değerleri, bu değerlerin aldığı en büyük değere bölünerek normalleştirilme yapılmıştır.

3. ÖNERİLEN İKİ AŞAMALI MATEMATİKSEL MODEL (PROPOSED TWO-STAGE MATHEMATICAL MODEL)

Bu çalışmada ele alınan 2 modelin de amaç fonksiyonları belirlenen hedef değerlerinden sapmaları enküçükleme. Eğer her bir çalışanın iş yükü değeri toplamının enküçükleme amaçlanırsa bazı çalışanların değerleri diğerlerinden daha büyük veya daha küçük değerler alabilirdi. Fakat bu çalışmayla amaçlanan her bir çalışanın iş yükü değerini olabildiğince birbirine eşitlemektir. Hedef değer toplam iş yükünün ortalaması olarak hesaplanmıştır. Çalışanların birbirine yakın iş yüklerinin olması daha adil bir çalışma düzeni oluşturacaktır.

3.1. Aşama – 1 (Ekiplerin Vardiyalara Atanması) (The Stage – 1 (Assigning Teams to Shifts))

İndisler

a : Ekip indisi $a = 1, 2, \dots, m$
 v : Vardiya indisi $v = 1, 2, \dots, n$
 r : Çalışma düzeni indisi $r = 1, 2, \dots, m$

Parametreler

m : Ekip sayısı
 n : Vardiya sayısı
 dd_v : v vardiyasındaki toplam yerel uçuş sayısı
 dt_v : v vardiyasındaki toplam transit uçuş sayısı
 h_v : v vardiyasındaki hava durumu etkisi
 w_1' : Yerel uçuş sayısının toplam iş yüküne olan ağırlık katsayısı
 w_2' : Transit uçuş sayısının toplam iş yüküne olan ağırlık katsayısı
 w_3' : Hava durumunun toplam iş yüküne olan ağırlık katsayısı
 \overline{load}^1 : Ekip başına düşen ortalama iş yükü

Ekip başına düşen ortalama iş yükü Denk. 1'de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu oran aynı

zamanda her bir ekip için hedeflenen iş yükünü göstermektedir. Yerel uçuş sayısının, transit uçuş sayısının ve hava durumunun toplam iş yüküne olan ağırlık katsayıları (w_1' , w_2' , w_3') kullanıcı tarafından belirlenebilir. Bu ağırlıkların toplamı 1'e eşit olmalıdır.

$$\overline{load}^1 = \sum_v \frac{w_1' dd_v + w_2' dt_v + w_3' h_v}{m} \quad (1)$$

Karar Değişkenleri

$$x_{av} = \begin{cases} 1, a \text{ ekibi } v \text{ vardiyasına atanmışsa} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$y_{ar} = \begin{cases} 1, a \text{ ekibi } r \text{ çalışma düzenine atanmışsa} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$load_a$: Her bir a ekibinin toplam iş yükü

s_a^+ : Her bir a ekibinin hedeflenen iş yükünden pozitif sapma değişkeni

s_a^- : Her bir a ekibinin hedeflenen iş yükünden negatif sapma değişkeni

Amaç Fonksiyonu

$$\min z = \sum_a s_a^+ + s_a^- \quad (2)$$

Kısıtlar

$$x_{a1} + x_{a4} + x_{a11} + x_{a14} = 4y_{a1} \quad \forall a \quad (3)$$

$$x_{a2} + x_{a9} + x_{a12} + x_{a19} = 4y_{a2} \quad \forall a \quad (4)$$

$$x_{a3} + x_{a6} + x_{a13} + x_{a16} = 4y_{a3} \quad \forall a \quad (5)$$

$$x_{a5} + x_{a8} + x_{a15} + x_{a18} = 4y_{a4} \quad \forall a \quad (6)$$

$$x_{a7} + x_{a10} + x_{a17} + x_{a20} = 4y_{a5} \quad \forall a \quad (7)$$

$$\sum_r y_{ar} = 1 \quad \forall a \quad (8)$$

$$\sum_a x_{av} = 1 \quad \forall v \quad (9)$$

$$load_a = \sum_v x_{av} (w_1' dd_v + w_2' dt_v + w_3' h_v) \quad \forall a \quad (10)$$

$$load_a - s_a^+ + s_a^- = \overline{load}^1 \quad \forall a \quad (11)$$

$$x_{av} \in \{0,1\} \quad \forall a, v \quad (12)$$

$$y_{ar} \in \{0,1\} \quad \forall a, r \quad (13)$$

$$load_a, s_a^+, s_a^- \geq 0 \quad \forall a \quad (14)$$

Denk. 2, ekiplerin iş yükünün ortalama iş yükünden sapmalarının toplamını en küçükleme sağlayan amaç fonksiyonudur. Denk. 3- Denk. 8, ekiplerin vardiya 1-4-11-14, vardiya 2-9-12-19, vardiya 3-6-13-16, vardiya 5-8-15-18 ve vardiya 7-10-17-20 çalışma düzenlerinden sadece birine atanabilmesini sağlayan kısıtlardır. Denk. 9, her vardiyaya sadece bir ekibin atanmasını sağlayan kısıttır. Denk. 10, her ekibin iş yükünü hesaplamayı sağlayan kısıttır. Denk. 11, her ekibin ortalama iş yükünden negatif

ve pozitif sapmalarını hesaplanmasını sağlanmaktadır. Denk. 12- Denk. 14, işaret kısıtlarıdır.

3.2. Aşama – 2 (Kontrolörlerin Çizelgelenmesi) (The Stage – 2 (Scheduling of Controllers))

İndisler

i, j : Kontrolör indisi $i, j = 1, 2, \dots, q$
 k : Periyot indisi $k = 1, 2, \dots, f$
 l : Sektör indisi $l = 1, 2, \dots, g$

Parametreler

q : Kontrolör sayısı $q = 4g$
 f : Periyot sayısı $f = 6$
 g : İlgili adadaki sektör grup sayısı $g = 5$ (Ada-1), 5 (Ada-2), 3 (Ada-3)
 dd_{kl} : k periyodunda l sektöründeki toplam yerel uçuş sayısı
 dt_{kl} : k periyodunda l sektöründeki toplam transit uçuş sayısı
 h_{kl} : k periyodunda l sektöründeki hava durumu etkisi
 t_i : i kontrolörün iş tecrübesi ($t_i = 2$ ise tecrübeli, $t_i = 1$ ise tecrübesiz)
 M : yeterince büyük pozitif bir sayı
 T : Tecrübeli kontrolörün tecrübesiz kontrolör ile çalışması durumunda ek iş yükü katsayısı ($T = 3$)
 w_1'' : Yerel uçuş sayısının toplam iş yüküne olan ağırlık katsayısı
 w_2'' : Transit uçuş sayısının toplam iş yüküne olan ağırlık katsayısı
 w_3'' : Hava durumunun toplam iş yüküne olan ağırlık katsayısı
 \overline{load}^2 : Kontrolör başına düşen ortalama iş yükü

Kontrolör başına düşen ortalama iş yükü oranı Denk. 15'de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu oran aynı zamanda her bir kontrolör için hedeflenen iş yükünü göstermektedir. Yerel uçuş sayısının, transit uçuş sayısının ve hava durumunun toplam iş yüküne olan ağırlık katsayıları (w_1'' , w_2'' , w_3'') kullanıcı tarafından belirlenebilir.

$$\overline{load}^2 = \sum_v \frac{w_1'' dd_{kl} + w_2'' dt_{kl} + w_3'' h_{kl}}{q} \quad (15)$$

Karar Değişkenleri

$$p_{ikl} = \begin{cases} 1, & i \text{ kontrolörü } k \text{ periyodunda } l \\ & \text{sektörüne atanmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$load_{ikl}$: k periyodunda l sektörüne atanan i kontrolörünün toplam iş yükü

s_i^+ : Her bir i kontrolörünün hedeflenen iş yükünden pozitif sapma değişkeni

s_i^- : Her bir i kontrolörünün hedeflenen iş yükünden negatif sapma değişkeni

Amaç Fonksiyonu

$$\min z = \sum_i s_i^+ + s_i^- \quad (16)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k,l} p_{ikl} = 3 \quad \forall i \quad (17)$$

$$\sum_i p_{ikl} t_i \geq 3 \quad \forall k, l \quad (18)$$

$$\sum_l p_{ikl} + p_{ik+1l} = 1 \quad \forall i, k < 6 \quad (19)$$

$$load_{ikl} + M(1 - p_{ikl}) \geq p_{ikl}(w_1 dd_{kl} + w_2 dt_{kl} + w_3 h_{kl}) \quad \forall i, k, l \quad (20)$$

$$+ T(4 - \sum_j p_{jkl} t_j)(t_i - 1)$$

$$\sum_{k,l} load_{ikl} - s_i^+ + s_i^- = \overline{load}^2 \quad \forall i \quad (21)$$

$$p_{ikl} \in \{0, 1\} \quad \forall i, k, l \quad (22)$$

$$load_{ikl} \geq 0 \quad \forall i, k, l \quad (23)$$

$$s_i^+, s_i^- \geq 0 \quad \forall i \quad (24)$$

Denk.16, kontrolörlerin iş yükünün ortalama iş yükünden sapmalarının toplamının en küçüklenmesini sağlayan amaç fonksiyonudur. Denk. 17, her kontrolörün sadece 3 periyoda atanmasını sağlamaktadır. Denk. 18, bir periyodun bir sektörüne iki kişi atanmasını ve tecrübesiz kontrolörlerin yan yana atanmamasını sağlamaktadır. Denk. 19, bir kontrolörün ardışık periyotlara atanmamasını sağlayan kısıttır. Denk. 20, her kontrolörün iş yükünün hesaplanmasını sağlamaktadır. Denk. 21, her kontrolörün ortalama iş yükünden negatif ve pozitif sapmalarını hesaplayan kısıttır. Denk. 22 – Denk. 24, işaret kısıtlarıdır.

4. BULGULAR (RESULTS)

Çalışmada tanımlanan problem için geliştirilen iki aşamalı model test edilmiştir. Testlerde elde edilen sonuçlar, modellerin çözüm süreleri paylaşılmış ve yorumlanmıştır. Kontrolörlerin iş yükünü etkileyen faktörler trafik talebi ve hava koşulları olarak alınmıştır. Öncelikle sektörler için trafik talepleri oluşturulmuştur. Sektörler için trafik verisi bölümünde yer alan Tablo 1 ve 2'de verilen yerel ve transit uçuş oranları dikkate alınarak her bir sektör için trafik talepleri rassal olarak üretilmiştir. Alt ve üst katmanlarında farklı kontrolörlerin atanması gereken sektörler için (Sektör 7 – 8 – 9 – 16 – 17) yerel ve transit trafik talep oranları belirlenirken alt

katmanlar için yerel uçuşların %70'i transit uçuşların %30'u, üst katmanlar için de tam tersi alınmıştır. Sonrasında tahmini hava koşulları yaz ve kış ayları için ayrı ayrı rassal olarak üretilmiştir. Yerel trafik talebinin, transit trafik talebinin ve hava durumunun ekiplerin ve kontrolörlerin iş yüküne olan katsayıları Denk. 1 ve Denk. 13'de verildiği gibi kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. Oluşturulan testler için bu oranlar eşit olarak alınmıştır. Tüm testler için GAMS/CPLEX çözücüsü kullanılmıştır ve tüm test hesaplamaları 2.7 GHz, Intel Core i7 işlemcili ve 8 GB RAM kapasitesi olan bir bilgisayar ile yapılmıştır.

Geliştirilen matematiksel modelde Aşama-1 modelinin amacı tüm ekipler arasında iş yükünü eşitleyecek şekilde ekiplerin vardiyaya atamalarını yapmaktır. 10 gün – 20 vardiya için 5 ekibin yaz ve kış vardiyaya atama sonuçları çok kısa sürelerde elde edilebilmiştir. Geliştirilen aşama-2 modelinin amacı ise her bir adada çalışan kontrolörler arasında iş yükünü dengeleyecek şekilde çizelgeleme yapmaktır. Toplamda 3 sektörün bulunduğu Ada – 3 için sonuçlar ortalama 17 saniyede elde edilmiştir. Ancak toplamda 5 sektörün bulunduğu Ada – 1 ve Ada – 2 için arzu edilen sürede eniyi çözümlere ulaşılamamıştır. Bu sebeple 5 sektörün olduğu adalardaki kontrolörlerin çizelgelendiği testler için artırma sayısı (10000000) olarak belirlenmiştir. Bu durumda elde edilen çözüm değeri ve eldeki en iyi çözümün en iyi alt sınır değerine uzaklığı olan “RelativeGap” bilgisi paylaşılmıştır.

Elde ettiğimiz çözümlerin kalitesi eniyi çözüme ne kadar uzak olduğumuza bağlıdır. Eniyi çözüm değerine ulaşamadığımız durumlarda, örneğin enküçükleme problemleri için eldeki alt sınır değeri olan en iyi tahmin (bestestimate) değerine ve o ana kadar elde ettiğimiz en iyi tamsayı çözüm (bestinteger) değerine sahip olmaktayız. Bu iki değer arasındaki fark “absolutegap” olarak adlandırılmaktadır. GAMS'in OPTCR özelliği olan “relativegap(Gap_r)” (Denk. 21), absolutegap değerinin eldeki eniyi çözüm ya da eniyi tahmin değerlerinden en büyük olanına oranlanması ile elde edilmektedir [23]:

$$Gap_r = \frac{\text{eldeki eniyi tamsayı}}{\max\{|\text{eniyitahmin}|, |\text{eldeki eniyi tamsayı}|\}} \quad (21)$$

4.1. Yaz Vardiyalarının Sonuçları (Results of Summer Shifts)

4.1.1. Aşama – 1 Sonuçları (The Stage-1 Results)

Yaz aylarına denk geldiği kabul edilen 10 gün – 20 vardiya için ayrı ayrı oluşturulan trafik talebi ve hava durumunun kontrolör iş yüküne olan etkilerine göre ekiplerin atandıkları vardiyaya sonuçları ve ortalama iş yükü dağılımları Tablo 5'de verilmiştir. Bu sonuçlar için amaç fonksiyonu değeri 33 olarak elde edilmiştir. Bu değer hedeflenen iş yükü değerinden tüm ekiplerin sapmaları toplamını göstermektedir ve oldukça düşüktür. Yani ekiplerin iş yükü dağılımları tabloda da görüldüğü üzere oldukça birbirine yakındır.

Tablo 5. Ekiplerin atandıkları yaz vardiyaları ve ortalama iş yükü dağılımları (Summer shifts and average workload distribution of teams)

Ekip	Atandıkları Vardiyalar	İş yükü
1. Ekip	1,4,11,14	857
2. Ekip	3,6,13,16	838
3. Ekip	5,8,15,18	845
4. Ekip	2,9,12,19	848
5. Ekip	7,10,17,20	842

4.1.2. Aşama – 2 Sonuçları (The Stage-2 Results)

Yaz vardiyaları için ekiplerin çalışacakları vardiyaya atamaları yapıldıktan sonra her bir vardiyadaki kontrolörlerin çizelgelenmesi yapılmıştır. Ada – 1, 2 ve 3'de çalışan kontrolörlerin çizelgelenmesi sonucunda tüm vardiyalardaki toplam iş yükü değerleri sırasıyla Tablo 6, 7 ve 8'de paylaşılmıştır. Ayrıca tablolarda 5 sektörlü Ada – 1 ve 2 için yüzdesel relativegap değerleri ve 3 sektörlü olan Ada – 3 için çözüm süreleri saniye (sn.) olarak verilmiştir.

Tablo 6. Ada – 1'de çalışan ekiplerin yaz vardiyaları iş yükü dağılımları (Summer shift workload distribution of the teams working in Island – 1)

v	Toplam iş yükü	Gap _r (%)	v	Toplam iş yükü	Gap _r (%)
1	773	7	11	811	7
2	733	6	12	722	8
3	794	6	13	778	7
4	749	8	14	714	6
5	769	7	15	786	8
6	722	8	16	692	7
7	789	7	17	789	6
8	717	8	18	741	7
9	784	8	19	822	6
10	768	8	20	692	8

Tablo 7. Ada – 2’de çalışan ekiplerin yaz vardiyaları iş yükü dağılımları (Summer shift workload distribution of the teams working in Island – 2)

v	Toplam iş yükü	Gap_r (%)	v	Toplam iş yükü	Gap_r (%)
1	755	7	11	714	7
2	642	8	12	649	7
3	642	8	13	697	7
4	620	9	14	663	7
5	684	7	15	660	7
6	654	6	16	648	8
7	621	10	17	675	7
8	571	9	18	637	8
9	697	7	19	684	8
10	619	7	20	675	8

Tablo 8. Ada – 3’de çalışan ekiplerin yaz vardiyaları iş yükü dağılımları ve çözüm süreleri (Summer shifts workload distribution and solution times of teams working in Island – 3)

v	Toplam İş yükü	Çözüm Süresi (sn.)	v	Toplam İş yükü	Çözüm Süresi (sn.)
1	447	8	11	514	46
2	445	16	12	486	20
3	502	16	13	516	30
4	504	12	14	511	48
5	496	12	15	515	18
6	514	38	16	495	12
7	467	20	17	507	26
8	508	30	18	527	14
9	529	84	19	473	20
10	517	32	20	506	16

Tablo 6, 7 ve 8’de iş yükü sonuçları verilen tüm vardiyalar için kontrolörlerin çizelgenmesi sonuçları da elde edilmiştir. Bunlardan bir tanesi Tablo 9’da örnek olarak verilmiştir. Tabloda Ada – 1’de çalışan kontrolörlerin Vardiya – 18’deki çizelgesi görülmektedir. C1 – C11 tecrübeli kontrolör iken C12 – C20 tecrübesiz kontrolörlerdir. Kontrolörler 2’şer saatlik zaman dilimlerinde çalışıp dinlenmektedirler ve 12’şer saatlik vardiyalar 6 periyottan oluşmaktadır. Bu sebeple

vardiya 6 tane zaman dilimi olarak gösterilerek kontrolörlerin çalıştıkları zaman dilimleri renkli olarak gösterilmiştir. Hangi rengin hangi sektörü temsil ettiği şekilde verilmiştir.

Tablo 9’da verilen çizelgeye bakıldığında tüm kontrolörlerin 2 saat çalışıp 2 saat dinlenecekleri şekilde görevlendirmelerinin yapıldığı görülmektedir. Kontrolörlerin çoğunluğu iş yükünün dengelenmesi adına vardiyaları boyunca farklı farklı sektörlere atanmışlardır. Yani aynı sektöre vardiya boyunca farklı kontrolörler çizelgenmiştir. Bunun yanında tecrübesiz kontrolörlerin yanına tecrübeli kontrolörlerin atanması gerekmektedir. Çizelgede C12 – C20’nin görevlendirildiği sektörler bakıldığında aynı zaman diliminde bu kontrolörlerden herhangi ikisi aynı sektöre atanmadığı görülmektedir. Ayrıca, bu çizelgelemeye göre kontrolörlerin iş yükü dağılımları da tabloda verilmiştir.

4.2. Kış Vardiyalarının Sonuçları (Results of Winter Shifts)

4.2.1. Aşama – 1 Sonuçları (The Stage-1 Results)

Yaz aylarına denk geldiği kabul edilen 10 gün – 20 vardiya için ayrı ayrı oluşturulan trafik talebi ve hava durumunun kontrolör iş yüküne olan etkilerine göre ekiplerin atandıkları vardiya sonuçları ve toplam iş yükü dağılımları Tablo 10’da verilmiştir. Bu sonuçlar için amaç fonksiyonu değeri 17 olarak elde edilmiştir. Bu değer hedeflenen iş yükü değerinden tüm ekiplerin sapmaları toplamını göstermektedir ve oldukça düşüktür. Yani ekiplerin iş yükü dağılımları Tablo 10’da da görüldüğü üzere oldukça birbirine yakındır.

Tablo 9. Ada – 1’de çalışan kontrolörlerin yaz vardiyası Var – 18’deki çizelgesi (Schedule on summer Shift-18 of controllers working on Island-1)

	Periyot 1	Periyot 2	Periyot 3	Periyot 4	Periyot 5	Periyot 6	İş yükü	Sektör
C1							81	Sektör 1-2 L/U
C2							71	Sektör 3-4 L/U
C3							85	Sektör 10-11 L/U
C4							77	Sektör 12 L/U
C5							71	Sektör 13 L/U
C6							99	
C7							76	
C8							79	
C9							68	
C10							61	
C11							72	
C12							65	
C13							51	
C14							56	
C15							84	
C16							44	
C17							48	
C18							91	
C19							82	
C20							40	

Tablo 10. Ekiplerin atandıkları kış vardiyaları ve toplam iş yükü dağılımları (The winter shifts and total workload distribution of the teams)

Ekip	Atandıkları Vardiyalar	Toplam İş yükü
1. Ekip	3,6,13,16	1295
2. Ekip	5,8,15,18	1298
3. Ekip	1,4,11,14	1291
4. Ekip	7,10,17,20	1279
5. Ekip	2,9,12,19	1282

3 sektörlü olan Ada – 3 için çözüm süreleri saniye (sn.) olarak verilmiştir.

Kış vardiyasında çalışan kontrolörlerin vardiya atamalarından sonra vardiyalardaki çizelge sonuçları Tablo 14’de verilmiştir. Tabloda Ada – 1’de çalışan kontrolörlerin Vardiya – 13’deki çizelgesi görülmektedir. C1 – C11 tecrübeli kontrolör iken C12 – C20 tecrübesiz kontrolörlerdir. Kontrolörler 2’şer saatlik zaman dilimlerinde çalışıp dinlenmektedirler ve 12’şer saatlik vardiyalar 6 periyottan oluşmaktadır. Bu sebeple vardiya 6 tane zaman dilimi olarak gösterilerek kontrolörlerin çalıştıkları zaman dilimleri renkli olarak gösterilmiştir. Hangi rengin hangi sektörü temsil ettiği şekilde verilmiştir.

4.2.2. Aşama – 2 Sonuçları (The Stage-2 Results)

Kış vardiyaları için ekiplerin çalışacakları vardiya atamaları yapıldıktan sonra her bir vardiyadaki kontrolörlerin çizelgelemesi yapılmıştır. Ada – 1, 2 ve 3’de çalışan kontrolörlerin çizelgenmesi sonucunda tüm vardiyalardaki toplam iş yükü değerleri sırasıyla Tablo 11, 12 ve 13’de paylaşılmıştır. Ayrıca tablolarda 5 sektörlü olan Ada – 1 ve 2 için yüzdesel relativegap değerleri ve

Tablo 11. Ada – 1’de çalışan ekiplerin kış vardiyaları iş yükü dağılımları (Winter shift workload distribution of teams working in Island – 1)

v	Toplam İş yükü	Gap _r (%)
1	1076	6
2	1012	6
3	1057	6
4	987	5
5	1056	5
6	1008	5
7	1065	5
8	1023	5
9	1082	4
10	991	4

Tablo 12. Ada – 2’de çalışan ekiplerin kış vardiyaları iş yükü dağılımları (Winter shift workload distribution of teams working in Island – 2)

v	Toplam İş yükü	Gap _r (%)	v	Toplam İş yükü	Gap _r (%)
1	1045	5	11	1032	5
2	946	5	12	1024	5
3	1058	5	13	1051	5
4	995	5	14	1044	5
5	1030	5	15	1015	5
6	998	5	16	992	4
7	1015	5	17	1028	6
8	991	5	18	985	4
9	1027	5	19	1042	5
10	992	5	20	973	5

Tablo 13. Ada – 3’de çalışan ekiplerin kış vardiyaları iş yükü dağılımları ve çözüm süreleri (Winter shifts workload distribution and solution times of teams working in Island – 3)

v	Toplam İş yükü	Çözüm Süresi (sn.)	v	Toplam İş yükü	Çözüm Süresi (sn.)
1	725	18	11	703	46
2	685	24	12	712	72
3	704	22	13	516	32
4	686	34	14	511	58
5	695	16	15	515	18
6	709	44	16	495	12
7	726	72	17	507	76
8	728	92	18	527	32
9	701	88	19	473	26
10	694	28	20	506	16

Tablo 14’de verilen çizelgeye bakıldığında tüm kontrolörlerin 2 saat çalışıp 2 saat dinlenecekleri şekilde görevlendirmelerinin yapıldığı görülmektedir. Kontrolörlerin çoğunluğu iş yükünün dengelenmesi adına vardiyaları boyunca farklı farklı sektörlere atanmışlardır. Yani aynı sektöre vardiya boyunca farklı kontrolörler çizelgelenmiştir. Bunun yanında tecrübesiz kontrolörlerin yanına tecrübeli kontrolörlerin atanması gerekmektedir. Çizelgede C12 – C20’nin görevlendirildiği sektörlere bakıldığında aynı zaman diliminde bu kontrolörlerden herhangi ikisi aynı sektöre atanmadığı görülmektedir. Ayrıca, bu çizelgelemeye göre kontrolörlerin iş yükü dağılımları da tabloda verilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Türkiye’de hem yerel hem de transit uçuşları kapsayan saha kontrol hizmetini veren hava trafik kontrolörlerinin (ATCo) çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Hava sahasının yapısındaki sektörlerde trafik yoğunluğu ve hava koşulları saatlik dilimlere, gece-gündüz saatlerine ve mevsimlere göre değişkenlik göstermektedir. Çalışmada sektörlerdeki tahmini trafik talebi ve hava durumu dikkate alınarak kontrolörlerin iş yükü dağılımını eşitlemek amacıyla iki aşamalı matematiksel model önerilmiştir. İlk aşamada belirli sayıda kişiden oluşan ekiplerin on günlük periyottaki toplam iş yüklerini dengeleyecek şekilde vardiya atamaları yapılmıştır. İkinci aşamada ise her bir vardiyadaki ekiplerin kendi içerisinde iş yüklerini dengeleyecek şekilde kontrolörlerin çizelgelenmesi yapılmıştır. Kontrolörlerin çalışma saatleri, dinlenme saatleri gibi çalışma koşullarının yanında tecrübeli ve tecrübesiz olmaları durumu da dikkate alınmıştır. Kontrolörlerin iş yükleri hava durumu, atandıkları sektörün yoğunluğu ve birlikte çalıştıkları iş arkadaşının tecrübeli olup olmamasına göre değişmektedir. Bu çalışmada da sabit personel sayısına göre kontrolörlerin iş yüklerinin kendi aralarında dengelenmesi amaçlanmıştır. İş yüklerinin birbirine yakın olması personeller arasında adil bir çalışma düzeni sağlayacaktır. Bu şekilde çalışanların iş yerine ve çalışma arkadaşlarına güveni artacak ve daha sağlıklı bir çalışma ortamı ortaya çıkacaktır.

Tablo 14. Ada – 1’de çalışan kontrolörlerin kış vardiyası Var – 13’deki çizelgesi (Schedule on winter Shift-13 of controllers working on Island-1)

	Periyot 1	Periyot 2	Periyot 3	Periyot 4	Periyot 5	Periyot 6	İş yükü	Sektör
C1							73	Sektör
C2							128	1-2 L/U
C3							102	Sektör
C4							91	3-4 L/U
C5							102	Sektör
C6							89	10-11 L/U
C7							76	Sektör
C8							101	12 L/U
C9							157	Sektör
C10							105	13 L/U
C11							131	
C12							120	
C13							110	
C14							105	
C15							87	
C16							85	
C17							121	
C18							121	
C19							64	
C20							93	

Geliştirilen matematiksel modelin test edilirken Aşama – 1’de çok kısa sürelerde en iyi çözümlere ulaşılmıştır. Aşama – 2’de ise 3 sektör için yine çok kısa sürelerde en iyi çözümlere ulaşılmıştır. Bu sebeple iterasyon sayısı durdurma koşulu olarak belirlenmiştir. Bu durumda elde edilen çözümler ve eldeki en iyi çözümün en iyi alt sınır değerine uzaklığı olan bilgisini veren “RelativeGap” değerleri paylaşılmıştır. Aşama – 1 sonuçlarına bakıldığında atandıkları vardiyalara göre ekiplerin toplam iş yükleri oldukça birbirine yakındır. Aşama – 2’de de kontrolörlerin iş yükü dağılımları birbirine yakın olacak şekilde çizelge sonuçları elde edilmiştir.

Bundan sonraki zamanda yönetici ve planlayıcı kontrolörlerin yanında destekleyici kontrolörlerin de olduğu çizelgelerin elde edileceği bir çalışma planlanmaktadır. Destekleyici kontrolörler ile kontrolörlerin haftalık doldurması gereken çalışma saatleri de dikkate alınabilir. Ayrıca OJT eğitimi veren kontrolörlerin eğitim vereceği saatler dikkate alınarak çizelge yapılması da planlanmaktadır. Yani genel olarak kontrolörlerin ulaşılabilir olduğu saatler ve haftalık doldurması gereken çalışma

saatleri de dikkate alınacaktır diyebiliriz. Bu durumda kontrolörlerin izinli olduğu zamanlar da dikkate alınabilir.

Sektör sayısının 5 olduğu durumlarda çözüm süresi artmaktadır ve kabul edilebilir sürelerde eniyi çözüme ulaşamamaktadır. Farklı personellerin de dahil edildiği modellerde de kesin çözüm yöntemleri ile eniyi çözümlerin elde edilemeyeceği öngörülmektedir. Bu nedenle bu problemin çözümü için sezgisel algoritmalar geliştirilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma sürecinde kontrolörlerin çalışma düzenleri hakkında bize bilgiler aktaran sayın Saner Sabahcı’ya teşekkürlerimizi sunarız.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS (YAZARLARIN KATKILARI)

Zekeriya KAPLAN: Deneyleeri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

Büşra TUTUMLU: Deneyleeri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

İlknur TÜKENMEZ: Deneyleeri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] The World Bank. (December 20, 2020). Air transport, registered carrier departures worldwide.
- [2] Mulder, M. (2010). Air Traffic Control. Sciyo: Croatia.
- [3] Repetti, R. L. (1993). Short-term effects of occupational stressors on daily mood and health complaints. *Health Psychology*, 12, 126–131.
- [4] ICAO-Doc 4444. (2016). Procedures for Air Navigations Services - Air Traffic Management. 16th edition. Montréal, Canada.
- [5] Koçtepe, S., Bedir, N., Eren, T. ve Gür, Ş. (2018). Organizasyon Görevlileri İçin Personel Çizelgeleme Probleminin 0-1 Tam Sayılı Programlama İle Çözümü. *Ekonomi İşletme ve Yönetim Dergisi*, 2 (1), 25-46.
- [6] Eren, T., Özder, E. H. ve Varlı, E. (2017). Hedef Programlama Yaklaşımı İle Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 114-127.
- [7] Azaiez, M. N. ve Al Sharif, S. S. (2005). A 0-1 goal programming model for nurse scheduling. *Computers & Operations Research*, 32(3), 491-507.
- [8] Bağ, N., Özdemir, M. ve Eren, T. (2012). 0-1 Hedef Programlama ve ANP Yöntemi ile Hemşire Çizelgeleme Problemi Çözümü. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 4(1), 2-6.
- [9] Özcan, E. C., Varlı, E. ve Eren, T. (2017). Hedef Programlama Yaklaşımı ile Hidroelektrik Santrallarda Vardiya Personeli Çizelgeleme. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 363-370.
- [10] Demirel, B., Yelek A., Alakaş H. M. ve Eren, T. (2018). ANKARAY Güvenlik Personelinin Vardiya Çizelgeleme Probleminin Hedef Programlama Yöntemi ile Çözümü. *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, 18(2), 1-17.
- [11] Aykin, T. (1996). Optimal Shift Scheduling with Multiple Break Windows. *Management Science* 42(4):591-602.
- [12] Conniss, R., Curtois, T., Petrovic, S. ve Burke, E. (2014). Scheduling air traffic controllers. 10th International Conference Practice and Theory Automated Timetabling, August 26-29, York, UK, 465-466.
- [13] Tello, F., Mateos, A., Jiménez-Martín, A. ve Fernández del Pozo, J.A. (2017) ATC work shift scheduling using multistart simulated annealing and regular expressions. *International Conference Decision Support Systems Technology; IEEE Xplore: Thessaloniki, Greece*, 169–175.
- [14] Tello, F., Mateos, A., Jiménez-Martín, A. ve Suárez, A. (2018). The air traffic controller work-shift scheduling problem in Spain from a multiobjective perspective: A metaheuristic and regular expression-based approach. *Mathematical Problems in Engineering*, 15.
- [15] Jiménez-Martín, A., Tello, F. ve Mateos, A. (2020). The ATCo work shift scheduling problem dealing with incidents in a tactical phase. 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 385-390.
- [16] Wang, T. C. ve Ke, G. C. (2013). Fatigue minimization work shift scheduling for air traffic controllers. *International Journal of Automation and Smart Technology*, 3(2), 91-99.
- [17] Josefsson, B., Polishchuk, T., Polishchuk, V. & Schmidt, C. (2017). Scheduling air traffic controllers at the remote tower center. 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC), 1-10.
- [18] Hernandez-Romero, E., Josefsson, B., Lemetti, A., Polishchuk, T. ve Schmidt, C., (2022). Integrating weather impact in air traffic controller shift scheduling in remote and

- conventional towers. Euro Journal On Transportation And Logistics, 11.
- [19] Dönmez, K., Demirel, S. ve Özdemir, M. (2020) Handling the Pseudo Pilot Assignment Problem in Air Traffic Control Training by Using NASA TLX. Journal of Air Transport Management, vol. 89, pp. 101934.
- [20] DHMI - Devlet Hava Meydanları İşletmesi. (2021). Aeronautical Information Publication Turkey.
- [21] DHMI - Devlet Hava Meydanları İşletmesi (19 Haziran, 2022). İstatistikler.
- [22] Flightradar24. (2022). Flightradar24 Live Air Traffic.
- [23] GAMS Destek. (2015).

ERKEN GÖRÜLÜM