



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**PROJE BAZLI PERSONEL ÇİZELGELEME İÇİN
MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ: SAVUNMA SANAYİ
UYGULAMASI**

Özge ELCAN AĞARTAN

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2023

PROJE BAZLI PERSONEL ÇİZELGELEME İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ:
SAVUNMA SANAYİ UYGULAMASI

Özge ELCAN AĞARTAN

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2023

KABUL VE ONAY

Özge ELCAN AĞARTAN tarafından hazırlanan "Proje Bazlı Personel Çizelgeleme İçin Matematiksel Model Önerisi: Savunma Sanayi Uygulaması" başlıklı bu çalışma, 18 Ocak 2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

[Unvanı, Adı ve Soyadı] (Başkan)

[Unvanı, Adı ve Soyadı] (Danışman)

[Unvanı, Adı ve Soyadı] (Üye)

[Unvanı, Adı ve Soyadı] (Üye)

[Unvanı, Adı ve Soyadı] (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof.Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

...../...../.....

[İmza]

Özge ELCAN AĞARTAN

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, **Doç. Dr., Kazım Barış ATICI** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

[İmza]

Özge ELCAN AğARTAN

Melek Annem'e

TEŞEKKÜR

Hem yüksek lisans yaptığım süre boyunca hem de tez çalışması süresince benden emeğini, desteğini ve sabrını esirgemeyen çok değerli tez danışmanım Doç. Dr. Kazım Barış ATICI'ya,

Tez jüri hocalarım Prof. Dr. Aydın ULUCAN, Prof. Dr. Yetkin ÇINAR, Doç. Dr. Mehmet SOYSAL, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN'e,

Çalışmam boyunca sorularımı sabırla cevaplayan Arş. Gör. Nizameddin ALYAPRAK'a,

Yüksek lisans sürecinde yokluğumu telafi eden ve bana her zaman destek olan tüm iş arkadaşlarıma,

Beni bugünlere getiren, sonsuz sevgi ve ilgileriyle beni her zaman destekleyen sevgili annem Nuran ELCAN, babam Metin ELCAN ve kız kardeşlerim Merve ELCAN ve Kübra ELCAN İŞLEK'e,

Her anımda desteğini yanımda hissettiğim, hayatı benim için her zaman kolaylaştırmaya çalışan, iyi günde kötü günde varlığıyla daha güçlü hissettiren canım eşim Yiğit Ata AĞARTAN'a sonsuz teşekkür ederim.

ÖZET

ELCAN AĞARTAN, Özge. Proje Bazlı Personel Çizelgeleme İçin Matematiksel Model Önerisi: Savunma Sanayi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2023.

Günümüz artan rekabet koşullarında personellerin minimum maliyetle maksimum fayda sağlayacak şekilde ve belirli kısıtlar altında çizelgelenmesi, kâr amacı olan veya olmayan her organizasyonun ortak problemidir. Ar-Ge personeli çalıştıran ve proje bazlı çalışan Savunma Sanayi firmalarında ise personellerin projelere en çok fayda sağlayacak şekilde çizelgelenmeleri öncelikli amaç olmaktadır. Personel çizelgeleme problemi literatürde çok çalışılan bir konu olmasına rağmen daha çok vardiya çizelgeleme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada proje bazlı çalışan organizasyonlarda personellerin projelere çizelgelenmesi için bir matematiksel model önerilmiş ve Ankara'da faaliyet gösteren bir savunma sanayi firmasından alınan örnek bir veri seti ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Literatürdeki birçok çalışmadan farklı olarak personellerin eş yeteneklere sahip olduğu varsayımı kullanılmamış olup; günlük periyotlarda değil, aylık periyotlarda projelerin işgücü ihtiyacı ve personellerin aylık harcayabilecekleri işçilik saatleri göz önünde bulundurulmuştur. Savunma sanayi firmalarında da diğer organizasyonlar gibi maliyetin belirlenen sınırlar dışına çıkmaması kritik olsa da projelerin zamanında ve istenilen kalitede tamamlanması ve bunun için de alanında uzman Ar-Ge personellerinin projelere sağlayabilecekleri en çok katkıyı sağlaması savunma sanayi firmalarının birinci önceliği olmaktadır. Hem projelerin hem personellerin sahip oldukları kısıtlar göz önünde bulundurularak personellerin projelere maksimum fayda sağlamasını amaçlayan çalışma, kaynak yöneticilerinin karar verme süreçlerini kısaltacak olup daha verimli çizelgelemeler yapmalarını da sağlayacaktır.

Anahtar Sözcükler:

Personel Çizelgeleme, Doğrusal Programlama, Optimizasyon, Savunma Sanayii, Ar-Ge Personeli

ABSTRACT

ELCAN AĞARTAN, Özge. Mathematical Model Suggestion for Project Based Personnel Scheduling: Defense Industry Application, Master's Thesis, Ankara, 2023.

In today's increasingly competitive conditions, scheduling the personnel in a way to provide maximum benefit with minimum cost and under certain constraints is a common problem of every profit or non-profit organization. In Defense Industry companies that employ R&D personnel and work on a project basis, scheduling the personnel in a way that will provide the most benefit to the projects is the primary objective. Although the personnel scheduling problem is a widely studied subject in the literature, it is mostly seen as a shift scheduling problem. In this study, a mathematical model is proposed for scheduling personnel to projects in project-based organizations and the results obtained with a sample data set from a defense industry company operating in Ankara are evaluated. Unlike many studies in the literature, the assumption that the personnel have equal abilities was not used; The labor needs of the projects and the labor hours that the personnel can spend on a monthly basis are taken into account, not in daily periods, but in monthly periods. Although it is critical that the cost does not go beyond the determined limits in defense industry companies, like other organizations, it is the first priority of defense industry companies to complete the projects on time and at the desired quality, and for this to ensure that the R&D personnel, who are experts in their fields, can provide the most contribution to the projects. Considering the constraints of both the projects and the personnel, the study, which aims to provide maximum benefit to the personnel for the projects, will shorten the decision-making processes of the resource managers and enable them to make more efficient scheduling.

Keywords

Personnel Scheduling, Linear Programming, Optimization, Defense Industry, R&D Personnel

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
1.1. ÇİZELGELEME.....	4
1.2. PERSONEL ÇİZELGELEME.....	4
1.3. PROJE BAZLI PERSONEL ÇİZELGELEME	15
2. BÖLÜM PROBLEMİN TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELİ	20
2.1. FİRMA TANITIMI	20
2.2. MATEMATİKSEL MODEL.....	25
3. BÖLÜM UYGULAMA.....	31
3.1. ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ	31
3.2. ÖRNEK OLAY ÇÖZÜMÜ	36
3.3. ÖRNEK OLAY İÇİN SENARYO ANALİZLERİ	38
SONUÇ	48
KAYNAKÇA	52
EK 1. TEZ KAPSAMINDA ÖNERİLEN MODELİN KODU	58
EK 2. TOPLAM FAYDA TABLOSU	62
EK 3. ORİJİNALLİK RAPORU	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
EK 4. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Personel Çizelgeleme Problemi İle İlgili Çalışmalar.....	12
Tablo 2. Notasyon Tablosu.....	25
Tablo 3. Parametre Tablosu.....	30
Tablo 4. İşgücü İhtiyacı.....	31
Tablo 5. Personellerin Sağlayacakları Saatlik Fayda Değerleri.....	32
Tablo 6. Personeller Arasındaki Uyum Matrisi.....	33
Tablo 7. Kritik Personel Matrisi.....	34
Tablo 8. Proje Eğitim Bütçesi.....	34
Tablo 9. Çalışma Süreleri.....	35
Tablo 10. Personellerin Unvanları Ve Çalışabilecekleri Maksimum Proje Sayısı.....	36
Tablo 11. Planlanan İşçilikler.....	36
Tablo 12. Alınacak Eğitimler.....	37
Tablo 13. Analiz Edilen Farklı Senaryolar.....	38
Tablo 14. Personellerin Harcadıkları Toplam İşçilik.....	39
Tablo 15. Senaryo 2 İçin Planlanan İşçilik Verileri.....	40
Tablo 16. Senaryo 3 İçin Atıl Kalan İşçilik Verileri.....	41
Tablo 17. Senaryo 4 için Çizelgelenen Personel Listesi.....	42
Tablo 18. Senaryo 6 İçin Planlanan İşçilik Verileri.....	44
Tablo 19. Eğitim Alamayan Personeller.....	45
Tablo 20. Senaryoların Karşılaştırılması.....	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Personel Çizelgeleme Konusunda Yıllık Yayınlanan Makale Sayısı	7
Şekil 2. Temel kaynak belirleme	24

KISALTMALAR LİSTESİ

Ar-Ge	Araştırma Geliştirme
PYÖP	Proje Yönetim Planı
SSB	Savunma Sanayi Başkanlığı

GİRİŞ

Personel çizelgeleme, bir kuruluşun mal veya hizmetlerine olan talebi karşılayabilmesi amacıyla personeli için çalışma çizelgeleri oluşturma sürecidir (Ernst vd.,2004). Faaliyet alanı ne olursa olsun, personel çalıştırılan çoğu organizasyonda personel çizelgeleme yapılması gerekmekte ve çoğunlukla kaynak yöneticileri tarafından manuel olarak yapılmaktadır. Ancak çoğu organizasyon için ilgili personel çizelgeleme problemleri çok fazla değişken, parametre ve kısıt içermesi nedeniyle oldukça karmaşık bir görev haline gelmektedir. Manuel yapılan çizelgeleme faaliyeti, hem kaynak yöneticisinin çok fazla zamanını almakta hem de personellerden alınabilecek maksimum faydanın alınamamasına ve personel maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

De Causmaecker vd. (2004), personel çizelgeleme problemi tiplerine göre organizasyonları sınıflandırmışlardır. Polis merkezleri ve hastaneler gibi kalıcılık merkezli planlama; evde sağlık hizmetleri gibi hareketlilik merkezli planlama; çağrı merkezi, fast-food restoranı gibi personel planlamasının dalgalı talebe sahip olduğu dalgalanma merkezli planlama; danışmanlık, yazılım geliştirme gibi proje merkezli planlama yapılan organizasyon tipleri mevcuttur. Bu çalışma kapsamında proje merkezli planlama yapılan bir savunma sanayi firmasına odaklanılmıştır.

Savunma Sanayi sektöründe yer alan firmalar, Türkiye’de en çok Ar-Ge harcaması yapan firmaların başında gelmektedir. Sadece SSB tarafından savunma sanayi firmalarıyla yürütülen 750’den fazla proje mevcutken firmaların kendi özkaynaklarıyla yürüttüğü Ar-Ge projeleri ile yurtiçi ve yurtdışı farklı müşterilerle yürüttükleri projeler de mevcuttur. Toplam 75.000’den fazla çalışanı bulunan savunma sanayi firmaları, genellikle proje bazlı çalışmalar yürütmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2022). Bu çalışma kapsamında incelenen firmanın çalışan sayısı

9.000'in üzerinde olup; yıllık 20 Milyarlık cirosunun ortalama %7'sini, kendi özkaynakları ile finanse edilen yaklaşık 350 Ar-Ge projesine ayırmaktadır.

Personel planlaması özellikle hizmet sektöründe yürütülen operasyonlarda verimliliğin en büyük belirleyicisidir (Thompson, 1995). Hizmet sektörü için literatürde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu personel maliyetini en aza indirmeye odaklanmıştır. Ancak bu çalışma kapsamında ele alınan firma gibi proje bazlı çalışan ve yoğunlukla Ar-Ge projeleri yürütülen organizasyonlarda projelerin zamanında ve belirli bir kalitede tamamlanması maliyeti azaltma amacından daha önce gelmektedir. Ayrıca, çalışma kapsamındaki firma bir savunma sanayi firması olduğu için sunduğu mal ve hizmetlerin zamanında teslim edilmesi ve hatasız olması, ülke savunması için kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda ilgili taleplerin karşılanması için personel çizelgelerinin oluşturulması da oldukça önemli olmaktadır.

Literatürdeki personel çizelgeleme problemleri yoğunlukla maliyeti en küçüklemeyi amaçlarken bu çalışma kapsamında da olduğu gibi ülke için kritik projeler yapılan firmalarda personelden beklenen, projeye maksimum katkı sağlamasıdır. Personel çizelgeleme problemleri, belirli kısıtlar altındaki işgücü kaynaklarını etkin bir şekilde kullanarak talebi en iyi karşılamakla ilgili kaynak tahsisi problemleri oldukları için (Hao vd., 2004) kısıtların iyi belirlenmesi ve kaynakların optimal şekilde projelere dağıtılarak talebin zamanında ve yüksek kalitede karşılanması öncelikli amaç olmaktadır. Maliyet, birinci öncelik olmasa da personel çizelgelemesinin maliyet etkin bir şekilde yapılmaması ve personellerin atıl zamanlarının kalması organizasyonların kaynaklarını boşa harcamasına neden olacağından tercih edilmeyen bir durum olacaktır. Bu durumun tersi olarak; personelin kapasitesinden fazla işte görevlendirilmiş olması, çalışma motivasyonunu düşürebilmekte ve yetkin personelin kaybedilmesi gibi istenmeyen sonuçlara neden olabilmektedir. Bu kapsamda personellerin çalışma zamanlarını maksimum verimle kullanarak projeleri yürütmesinin sağlanması bu çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında ele alınan firmada personel giderleri sabit gider olarak ele alınmış ve toplam faydayı maksimize etmeyi amaçlayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model firmadan alınan veriler kullanılarak çözülmüştür. Planlama periyodu, personel ve proje sayıları değiştirilen, çözüm süresinin kısaltılması için sezgisel olarak kısıt eklenen ve personeller arasındaki ilişkinin ve alınabilecek eğitimlerin modele dahil edilmediği olası 7 senaryoya ait verilerle de model çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasının içeriği aşağıda yer almaktadır.

Birinci bölümde, personel çizelgeleme ile ilgili temel kavramlardan ve çalışma kapsamındaki firmanın genel işleyişinden bahsedilecek, personel çizelgeleme yapılırken dikkate alınması gereken süreçler hakkında bilgi verilecektir.

İkinci bölümde, personel çizelgeleme problemiyle ilgili literatürde yapılan benzer çalışmalar incelenecek ve bu çalışmanın literatürdeki çalışmalardan farkları ele alınacaktır.

Üçüncü bölümde, bu tez çalışması kapsamında ele alınan problem tanımlanacak ve önerilen matematiksel model ve notasyon tablosundan bahsedilecektir.

Dördüncü bölümde, matematiksel modelin çözümünde kullanılacak veri seti yer alacak olup ilgili modelin çözümü duyarlılık analizi sonuçları hakkında bilgi verilecektir.

Sonuç bölümünde, tez çalışmasıyla ilgili genel değerlendirme yapılacak ve gelecek dönemlerde çalışmanın nasıl geliştirilebileceği tartışılacaktır.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. ÇİZELGELEME

Çizelgeleme; üretim, ulaştırma, hizmet, sağlık gibi birçok alanda karşılaşılan bir problem olup kaynak yöneticilerinin görev tanımlarında önemli bir yere sahiptir. Zaman çizelgeleme, makine çizelgeleme, araç çizelgeleme, personel çizelgeleme gibi farklı problem tipleri mevcuttur. Matematiksel model ya da sezgisel yöntemler kullanılarak çözülen çizelgeleme problemlerinde amaç fonksiyonu da faaliyet gösterilen alana ya da koşullara göre farklılık gösterebilmektedir. Maliyeti en küçükmek, personel veya müşteri memnuniyetini arttırmak, üretilen ürün miktarını arttırmak, toplam harcanan zamanı en küçükmek gibi farklı amaçlarla yürütülen çalışmalar mevcuttur. Rekabetin arttığı günümüz koşullarında en az maliyetle, en kısa zamanda, en kaliteli ürün veya hizmeti üretebilmek organizasyonların varlığını sürdürebilmesi için önem arz etmektedir. Organizasyonlar, itibar kaybı yaşamamak için müşterilerine taahhüt ettikleri teslimat tarihlerini karşılamak zorunda olup mevcut kaynakları verimli bir şekilde kullanacak şekilde maliyet etkin planlama yapmaları gerekmektedir (Pinedo, 2012). Ancak çizelgeleme faaliyeti çoğunlukla optimizasyon eğitimi almış personeller tarafından yapılmamaktadır (Harjunkoski vd., 2014). Bu nedenle; zaman, personel, rota çizelgeleme gibi görevleri olan kaynak yöneticilerinin kullanabilecekleri karar destek sistemleri tasarlamak önemli olmaktadır.

1.2. PERSONEL ÇİZELGELEME

Personel çizelgeleme problemleri; üretim yapan, hizmet sektöründe faaliyet gösteren, kâr amacı olan veya olmayan her organizasyon için kritik öneme sahiptir. Kâr amacı olan organizasyonlarda personel maliyetlerini azaltmak, mevcut personeli verimli kullanmak gibi amaçlarla çizelgeleme yapılırken; kâr amacı olmayan ya da kârlılığı önceliklendirmeyen, toplum sağlığı, refahı,

güvenliği gibi alanlarda kritik hizmetler ve ürünler sunan organizasyonlar için ise belirli zaman aralıklarında ihtiyaç duyulan personel sayısının sağlanması, ürün/hizmet kalitesinin artması için personellerin en verimli olacakları alanlarda görevlendirilmesi gibi amaçlarla personel çizelgeleme yapılabilmektedir.

Hizmet sektöründe, müşteriler ürün değil personel talebinde bulunurlar. Sunulan hizmet, ürün gibi depolanabilir olmadığı için talebin yeterli personel ile karşılanabilir olması önem arz etmektedir (Bailey & Field, 1985). Personel çizelgeleme problemleri genel olarak; vardiya planlama, izin günü planlama ve tur planlama şeklinde gruplandırılabilir (Morris & Field, 1983). Vardiya planlama problemleri, genellikle günlük 2 veya 3 vardiya planlanan çağrı merkezi, hastaneler gibi hizmetin 8 saatlik mesai saatleri dışında da devam ettiği alanlarda uygulanabilir. Perakende sektörü gibi alanlarda hizmet veren organizasyonlarda ise personellerin izin günü planlamalarının yapılması için çizelgeleme problemi ele alınır. Bu iki problemin birlikte ele alınabildiği durumlar ise döngüsel tur problemlerinin alt problemleri olarak görülebilir.

Bazı organizasyonlarda hizmet veya ürün talebinin yoğun olduğu dönemlerde yarı-zamanlı personeller çalıştırmak da bir seçenek olabilir. Talebin yarı-zamanlı personellerle karşılanabilmesi için yapılacak işin standart bir iş olması, özel bir eğitim veya yetenek ihtiyacı bulundurmaması gerekmektedir. Böyle durumlarda personel maliyetini en küçükmek için tam-zamanlı personel sayısı kısıtlı tutulup sadece ihtiyaç duyulduğunda yarı-zamanlı personel çalıştırılması optimum çözüm sağlayabilir.

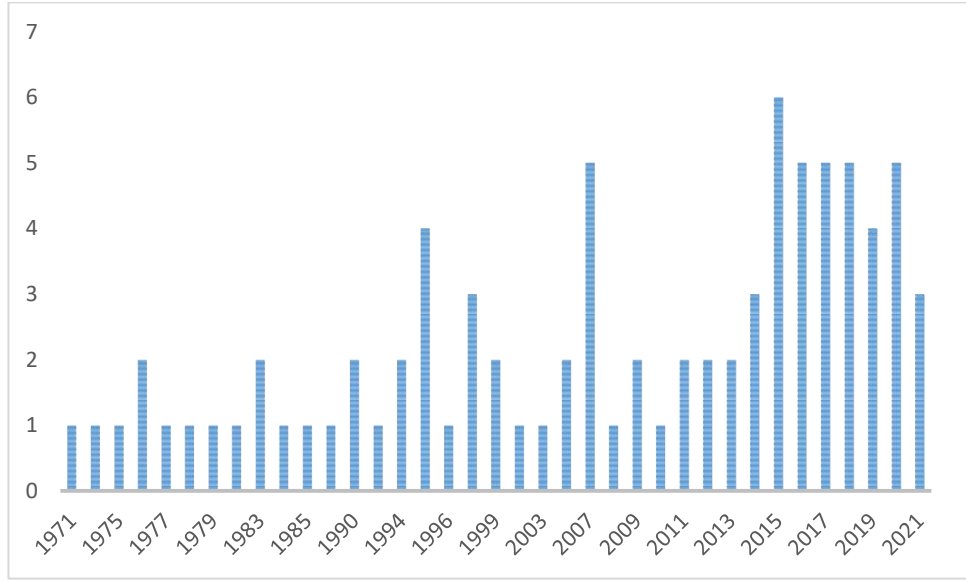
Bazı organizasyonlarda ise tam-zamanlı personellerin dahi ayrı yetenekleri ve uzmanlıkları olabilmekte ve birbirlerinin yerine bile görevlendirilememektedirler. Bu şekilde uzmanlık gerektiren hizmet veya ürünler sunan organizasyonlarda amaç; maliyeti en küçükmek değil, talebi karşılamak olmaktadır. Örneğin bir itfaiye personelinin mesai saatlerinin her zaman dolu olmaması, istihdam edilmesine engel olmamaktadır. İlgili personelin acil bir durumda görev başında olması maliyeti en küçükmekten daha kritik bir amaç haline gelmektedir.

Savunma sanayi alanında faaliyet gösteren bir firmada da personelin görev aldığı projelere sağlayacağı katkıyı en çoklamak öncelikli amaç haline gelebilmektedir. Lisansüstü eğitimin teşvik edilmesi, personellerin alanlarında uzmanlaşmalarını sağlayan eğitimlerin alınmasının sağlanması her personelin sağlayacağı faydayı farklılaştırmakta, görev alacağı projelerde uzmanlaşmasını sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamındaki firma gibi savunma sanayi firmalarında yürütülen projelerin sonucunda ortaya çıkan ürün ve hizmetler ülke savunması açısından kritik öneme sahip olmakta, belirlenen proje süresi içerisinde en yüksek kalitede tamamlanması öncelikli hedef haline gelmektedir.

Çalışma kapsamındaki literatür taraması “Web of Science” veritabanı kullanılarak yapılmıştır. Tarama yapılırken “personnel scheduling” (personel çizelgeleme), “employee scheduling” (çalışan çizelgeleme) ve “mathematical model” (matematiksel model) anahtar kelimeleri kullanılmış olup konu başlığında personel veya çalışan çizelgeleme geçen ve matematiksel modelleme yapılarak çalışılan makalelere odaklanılmıştır.

Personel çizelgeleme problemiyle ilgili çalışmaların dağılımını incelemek için Web of Science sitesinden çalışma başlığında “personnel scheduling” anahtar kelimeleri bulunan çalışmalar taranmıştır. Yöneylem araştırması, yönetim ve endüstri mühendisliği alanında yayınlanan makalelerin yıllara göre dağılımı Şekil 1’de yer almaktadır. Literatürdeki ilk çalışma 1971 yılında Orpen C. Tarafından “Personnel Psychology: The Study of People At Work” kitabında yayınlanmış ve personel seçiminde simüle edilmiş koşulların gerçek hayatla kıyaslandığında yanıtıcı olabileceğini vurgulamıştır (Orpen, 1971). Sonraki yıllarda yayınlanan makale sayılarındaki artışlar personel çizelgeleme konusunun literatürdeki öneminin arttığını göstermektedir.

Şekil 1. Personel Çizelgeleme Konusunda Yıllık Yayınlanan Makale Sayısı



Literatürdeki ilk personel çizelgeleme problemlerinden birinde toplu taşıma personeli, itfaiye personeli, polis, hemşire gibi kamuya hizmet veren ve günün her saati ihtiyaç duyulan personellerin çizelgeleme problemi çalışmış olan Miller (1976), maliyeti en küçükleyen bir model kurmuştur. Jaumard vd. (1998) yine kamuya hizmet veren mesleklerden olan hemşireler için benzer bir çalışma yürütmüş ve maaşların yarattığı maliyeti en aza indirmeyi amaçlayan genelleştirilmiş bir 0-1 doğrusal programlama modeli kurmuştur. Maliyeti en aza indirmeye ve tüm talebi karşılamaya çalışırken; çalışanın tercihlerini, ekip dengesini en üst düzeye çıkarmayı da hedeflemiş olan çalışmada personelin kıdemi, iş yükü, izin günleri, toplu sözleşme gereksinimleri gibi kriterler de göz önünde bulundurulmuştur. Lei vd. (2015) ise deprem gibi acil durumlarda sağlık ekiplerinin tıbbi malzemeleri dağıtım merkezlerine zamanında ulaştırabilmesi için gecikmeyi en aza indirmeye çalışan bir matematiksel model üzerinde çalışmış ancak acil durum operasyonlarında çözüm yaklaşımının hızı da hayati öneme sahip olduğundan karar verme sürecinde NP-zor matematiksel modeller kullanmak yerine optimale yakın sezgisel çözümlerin benimsenebileceğini vurgulamışlardır. Üzerinde çalıştıkları yuvarlanan ufuk tabanlı açgözlü sezgisel algoritma ile optimale yakın çözümler elde etmişlerdir.

Sağlık sektöründeki bir diğer çizelgeleme çalışması Fargetta ve Scrimali (2022) tarafından yürütülmüştür. Konuşma dili terapistlerinin çizelgelemesi için üç aşamalı bir çözüm yöntemi geliştirilmiş ve İtalya'daki bir konuşma terapisi merkezinde denenmiştir. İlk aşama olarak hastaları önceliklerine göre kategorize etmiş ve toplam önceliği en çoklayacak şekilde hasta kapasitesi belirlenmiştir. İkinci aşamada haftayı 6 gün ve 2 vardiya olacak şekilde 12'ye bölmüş ve hafif kısıtlardaki sapmayı en aza indirmeyi amaçlayan bir modelle terapistlerin ilgili vardiyalara atanması sağlanmıştır. Üçüncü aşamada da evlere terapiye giden terapistler için gezgin satıcı problemini baz alan bir çözüm önerisi sunmuşlardır.

7/24 hizmet veren bir eğlence mekanındaki güvenlik görevlilerinin çizelgelenmesi için zamanın sabit haftalık modüllere bölünerek vardiya ataması üzerine Panton (1991) tarafından yapılan çalışmada sezgisel bir çözüm yaklaşımı benimsenmiştir. Kaluzny ve Hill (2011) de yine güvenlik görevlilerinin çizelgelenmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Karşılanamayan güvenlik ihtiyacını en aza indirmeyi amaçlayan bir matematiksel model kurarak 6.000'den fazla güvenlik görevlisinin Vancouver'da düzenlenen 2010 Kış Olimpiyatları için görevlendirilmesini planlamışlardır.

Van den Berg ve Panton (1994), hem sürekli hem de ileri dönüşlü vardiya atamalarının dikkate alındığı bir personel çizelgeleme çalışmasının koşullarını tartışmış ve açgözlü sezgisel algoritma kullanmıştır.

Brusco ve Johnss (1995), iki aşamalı bir hedef programlama modeli ile çalışmış olup müşteri hizmetlerinde tam zamanlı ve yarı zamanlı çalışanların fazla mesailerinin eşit dağılımını sağlayan ve maliyeti en küçükmeyi hedefleyen matematiksel bir model geliştirmiştir. Ernst vd. (2004), personel çizelgelemenin yüksek hizmet kalitesi ve düşük maliyet odaklı küresel piyasada ne kadar önemli hale geldiğini belirtmiş ve bu alanda yaygın olarak kullanılan yöntemleri araştırmıştır. Ulaştırma ve hemşirelik hizmetleri, çağrı merkezleri, polis ve itfaiye gibi acil servis çalışanları, bankacılık ve turizm gibi hizmet sektörü personelleri

ve üretim sektörü çalışanlarıyla ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve artan kriterler nedeniyle gittikçe karmaşıklaşan çizelgeleme problemlerini çözmek için kısıtlı programlama, sezgisel arama, tamsayı programlama ve simülasyon yaklaşımlarını entegre eden çözümleri dikkate almak gerekeceği belirtilmiştir.

Elahipanah vd. (2013), eğlence, konaklama, perakende gibi birkaç gün önce talep değişiklikleriyle karşılaşılabilen hizmet sektöründeki vardiyalı çalışanların çizelgelenmesi üzerine çalışmışlardır. Esnek aktivite ve görev ataması için iki aşamalı bir optimizasyon problemi geliştirilen çalışmada fazla mesai ve geçici personellerden kaynaklanan maliyeti en küçükmeye odaklanılmıştır. Benzer şekilde yine perakende hizmet sektörüne odaklanan bir diğer çalışmada ise Talarico ve Duque (2015), bir süpermarket zincirindeki personellerin çizelgelenmesi için yine maliyeti en küçükleyen bir model üzerine çalışmışlardır. Ancak kesin bir yaklaşım kullanılarak problemin çözümünün her zaman mümkün olamayacağı; ihtiyaçların sık sık değişebileceği ve hesaplama çabalarının artabileceği belirtilerek esnek bir sezgisel yöntem de önerilmiş ve hem sezgisel hem kesin yöntemin birleştirilmesiyle hibrit bir sezgisel model çalışılmıştır. Gerçek bir veri kümesiyle uygulama yapılmış olup hibrit sezgisel modelin sonuçları, optimale oldukça yakın bir alternatif olarak sunulmuştur. Mac-Vicar vd. (2017), Şilili zincir bir perakendecideki gerçek verileri kullanmış ve temel matematiksel modelin karmaşıklığından dolayı problemi iki açgözlü sezgisel algoritma kullanacak şekilde bölerek basitleştirmişlerdir. Temel amaç, işçi memnuniyetsizliğini en aza indirmek için daha az program değişikliği sunan çözümleri tercih ederek kârı maksimize etmek olmuş ve gerçek problem verileri ile dakikalar içerisinde çözüm geliştirmişlerdir.

Eitzen vd. (2004), bir elektrik santralindeki farklı beceri düzeyine sahip personelleri, izin takvimi gibi farklı kısıtları da göz önünde bulundurarak personel yetersizliği olan toplam vardiya sayısını en aza indirgeyecek şekilde görevlere atamış ve önerdikleri farklı yaklaşımları karşılaştırmışlardır. Sabar vd. (2008), Eitzen vd. (2004) gibi yine personelin bireysel yetkinliklerini dikkate

almışlardır. Bunun yanında personel tercihlerini de matematiksel modele kısıt olarak dahil etmişler ve toplam maliyeti en küçükleyecek bir model kurmuşlardır. Van den Bergh vd. (2013), uçak hattı bakımı için üç aşamalı bir metodoloji sunmuştur. İlk aşamada, bir matematiksel programlama modeli ile çoklu personel listeleri oluşturulmuş; ikinci aşamada, kadroların bir takım hizmet kriterlerine ilişkin performansı simülasyon ile değerlendirilmiş; üçüncü aşamada ise veri zarflama analizi kullanılarak oluşturulan listeler arasında bir sıralama yapılmıştır. Farahani vd. (2022) yine üretim sektörüne odaklanarak çok amaçlı doğrusal olmayan karma tamsayı çizelgeleme modeli önermiş ve hem personellerin tercihlerini hem de yetkinliklerini dikkate almışlardır. NP-zor bir problem olan personel çizelgeleme problemi için meta-sezgisel bir yöntem önerilmiştir.

Brucker vd. (2011) literatürde farklı personel çizelgeleme problemleri için farklı kısıtlar içeren çok sayıda model geliştirildiğini ancak konuyla ilgili çeşitli özellikleri içinde barındıran genel bir matematiksel model eksikliği olduğunu vurgulamışlardır. Problem tiplerini genelleştirip özel durumlara göre farklılaşan ortak modeller sunmuşlardır.

Van Veldhoven vd. (2016), matematiksel modelin hesaplama süresini azaltmak için problemi iki aşamalı olarak ele almış olup ilk aşamada her çalışan için çalışma günlerini ve izin günlerini gösteren bir izin programı oluşturmuş, ikinci aşamada ise vardiyaları çalışma günlerine atamıştır.

Hassani vd. (2020), perakende sektöründe olduğu gibi çalışanların çok çeşitli vardiyalara atanabileceği bir problemde personellerin oluşabilecek aksaklıklar, gecikmeler vs nedeniyle yeniden çizelgelenmesi problemi üzerinde çalışmışlar ve sezgisel bir çözüm önermişlerdir.

Van Den Eeckhout vd. (2021) ise personellerin projeler arasında paylaşılabilmesi için takvim kısıtlı projelere personel atanması problemini incelemişlerdir. Personellere harcanan maliyeti en küçüklemek için çok aşamalı

bir çözüm önermişlerdir. Öncelikle sütun oluşturma yoluyla optimal doğrusal programlama çözümü hesaplamış daha sonra kesirli doğrusal programlama çözümünü bir tamsayı çözüme dönüştürmek için bir dalış sezgisel yöntemi uygulamışlardır.

Alwadood, vd. (2021), COVID-19 pandemisi sırasında karantina merkezi olarak kullanılan bir otelin temizlik departmanı için bir çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlar ve personel sayısını en küçükmeyi hedefleyen ikili tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Tablo 1'de yapılan çalışmalara ait bir özet tablo sunulmuş olup; çizelgeleme problemlerinin çoğunlukla maliyet minimizasyonuna odaklandığı görülmektedir. Aylık personel çizelgesi yapılması ve bir savunma sanayi firmasındaki proje odaklı bir uygulama alanına sahip olması nedeniyle bu çalışma literatürdeki diğer çalışmalardan kapsam olarak farklılaşmaktadır.

Tablo 1. Personel Çizelgeleme Problemi İle İlgili Çalışmalar

Yazar, Yıl	Amaç Fonksiyonu	Uygulama Alanı	Yöntem (Çözüm Metodu)	Zaman Periyodu
Miller, 1976	Maliyet minimizasyonu	Genel	Tamsayılı Programlama	Günlük ve Haftalık
Vandenberg ve Panton, 1994	Maliyet minimizasyonu	Genel	Sezgisel Metod (Açgözlü)	Gün
Brusco ve Johns, 1995	Maliyet minimizasyonu	Genel	Hedef Programlama ve Sezgisel Metod (Doğrusal Programlamaya Dayalı)	Gün
Jaumard vd., 1998	Maliyet minimizasyonu	Hemşire (Sağlık)	0-1 Doğrusal Programlama ve Sezgisel Metod (Sütun üretimi; Kısıtlı en kısa yol)	Gün
Eitzen vd., 2004	Yetersiz vardiya minimizasyonu	Üretim (Elektrik Santrali)	Tamsayılı Programlama	Gün
Sabar vd., 2008	Maliyet ve personel memnuniyetsizliği minimizasyonu	Üretim	Matematiksel programlama	15 dakikalık periyotlar
Brucker vd., 2011	Maliyet minimizasyonu	Genel	Tamsayılı Programlama	Genel

Kaluzny ve Hill, 2011	Yetersiz vardiya minimizasyonu	Güvenlik	Karma Tamsayılı Programlama	Gün
Van den Bergh vd., 2013	Maliyet minimizasyonu	Ulaşım	Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama	- (Uçuş Periyoduna göre)
Elahipanah vd., 2013	Maliyet minimizasyonu	Genel	Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama ve Sezgisel Metod (Sütun üretimi)	Genel
Talarico ve Duque, 2015	Maliyet minimizasyonu	Perakende	Tamsayılı Doğrusal Programlama ve Sezgisel Metod (Yerel arama)	Gün
Lei vd., 2015	Gecikmenin minimizasyonu	Sağlık	Karma Tamsayılı Programlama ve Sezgisel Metod (hareketli planlama ufku)	Genel
van Veldhoven vd., 2016	Maliyet minimizasyonu	Genel	Tamsayılı Doğrusal Programlama	Gün
Mac-Vicar vd., 2017	Fayda maksimizasyonu	Perakende	Karma Tamsayılı Programlama ve Sezgisel Metod (Sütun üretimi, Açgözlü yerel arama)	Gün
Hassani vd., 2020	Maliyet minimizasyonu	Perakende	Tamsayılı Programlama ve Sezgisel Metod	Gün
Alwadood, vd., 2021	Personel sayısı minimizasyonu	Otelcilik	İkili Tamsayılı Programlama	Gün

Van Den Eeckhout vd., 2021	Maliyet minimizasyonu	Genel	Doğrusal Programlama ve Sezgisel Method (Sütun Oluşturma Tabanlı Dalış Sezgisel)	Gün
Fargetta ve Scrimali, 2021	Maliyet minimizasyonu ve Kısıt İhlalinin Minimizasyonu	Sağlık	Tamsayılı Programlama	Gün
Farahani vd., 2022	Maliyet minimizasyonu	Üretim	Doğrusal Olmayan Karma Tamsayılı Programlama	Gün

1.3. PROJE BAZLI PERSONEL ÇİZELGELEME

Literatürdeki personel çizelgeleme çalışmalarının çoğunlukla sağlık ve perakende sektöründe yoğunlaşması ve aynı yeteneklere sahip çalışanların vardiyalara çizelgelenmesi şeklinde ele alınması nedeniyle arama kriterleri daraltılmış ve proje bazlı çalışan organizasyonlardaki personel çizelgeleme çalışmalarına odaklanılmıştır.

Bu çalışmalardan biri bölüm 2.1'de de bahsedilen Van Den Eeckhout vd. (2021)'ne ait olup; personellerin projeler arasında paylaşılabilceği takvim kısıtlı projelere personel atanması problemine odaklanılmış ve maliyeti en küçükleme amaçlanmıştır.

Wu ve Sun (2006), bir Ar-Ge departmanında görev alan personellerin projelere çizelgelenmesi üzerine çalışmış ve personellerin öğrenme etkilerini de göz önünde bulundurmuş olsa da mevcut personellerin ve dışardan destek alınacak taşeron personellerin aynı yeteneklerde olduğunu ve projelere eşit fayda sağlayacaklarını varsayımlar ve taşeron personel maliyetini en aza indirmeyi amaçlamışlardır.

Gutjahr vd. (2008), 1 aylık zaman periyotlarında olası projeler arasında hangilerinin seçileceği ve işçilik harcanacağı kararı sonrasında personellerin ilgili projelere atanması problemini çalışmışlardır. Çalışmada her projeden hesaplanabilir bir oranda ekonomik gelir elde edildiği varsayımı mevcuttur. Öncelikle bu varsayım Ar-Ge projeleri yapan organizasyonlarda için geçerli değildir. Ekonomik gelir, öncelikli hedefler arasında olsa da özellikle Savunma Sanayii'nde faaliyet gösteren ve çoğunlukla Ar-Ge projeleri yürüten bir organizasyonda savunma sanayisindeki ihtiyaç kritikliğinin öngörüsü ve/ya dünyadaki teknolojik gelişmelerin yakından takibi için de yakın vadede ekonomik gelir oluşturmayacak projeler yürütülebilmekte ve öncelikli olarak değerlendirilebilmektedir. Gutjahr vd. (2008), projelerden elde edilen toplam

ekonomik geliri ve personelin yetenek artışını en çoklayan bir model geliştirmişlerdir.

Certa vd. (2009), çalışmalarında personellerin farklı bilgi, deneyim ve yeteneklere sahip olduklarını dikkate alarak, insan kaynağının Ar-Ge projelerine tahsisi için bir optimizasyon modeli önermektedir. Model, personellerin farklı beceri düzeylerine sahip olduklarını, farklı öğrenme süreçlerinden geçtiklerini ve ekip içinde farklı seviyelerde sosyal ilişkiler kurduklarını göz önünde bulundurularak kurulmuştur. Çalışma kapsamında 3 farklı amaç fonksiyonu üzerinde çalışılmıştır. Bunlar; her projenin gerektirdiği becerilerin tatminine bağlı olarak projenin kalitesinin, personellerin öğrenme süreci ile gelişen becerilerinin ve çalışma ekibindeki memnuniyetin maksimize edilmesidir. Memnuniyet, personellerin birbirleriyle olan ilişkilerinin sözel olarak ifade edilmesiyle oluşturulan bir sosyal ilişkiler matrisi ile ölçülmekte ve her çalışma sonrası ilgili matris güncellenmektedir. İlgili çalışmanın personel çizelgeleme yaparken göz önünde bulundurduğu kriterler ve maksimize etmek istediği hedefler bu çalışmayla benzerlik göstermesine rağmen mevcut çalışmayı farklılaştıran noktalar mevcuttur. Bunların ilki ve en önemlisi, çözüm yöntemidir. Certa vd. (2009), bir çok kriterli karar verme yöntemi olan ve her bir kriter için alternatifler arasında ikili üstünlük kıyaslamaları yapılarak alternatifleri sıralayan ELECTRE III yöntemi ile çözüm sağlarken mevcut çalışmada doğrusal bir matematiksel model kurulmuş ve GUROBI ile çözümü sağlanmıştır. Bir diğer farklılık ise Certa vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada sosyal ilişkiler matrisinin personellerin sözel ifadeleriyle oluşturulmuş olması ve bulanık mantık kullanılarak modele entegre edilmesidir. Mevcut çalışmada ise; personellerin çizelgelemesini yapacak olan kaynak sorumlusu, personeller arasındaki ilişkiyi daha önceki çalışmalarında birbirlerine vermiş oldukları puanlar aracılığıyla halihazırda bilmektedir. İlgili puanlar birbirleriyle olan ilişkilerinin genel olarak “iyi” veya “kötü” olarak ifade edilmesiyle değil, farklı iletişim kategorisi başlıklarında birbirlerine vermiş oldukları beşli skaladaki puanların ortalaması hesaplanarak belirlenmiştir. Ek olarak; mevcut çalışmada personellerin birbirleriyle uyumları ve projeye sağlayacakları faydaları birlikte değerlendirilerek tek ve oldukça

kapsamlı bir fayda matrisi ile çalışıldığı için tek bir amaç fonksiyonuna odaklanılmakta ve optimal çözüme ulaşılmaktadır. Bunun yanında personelin uygun zamanı ve yetenekleri göz önünde bulundurularak model tarafından bazı projelere kaynak ayırmama kararı verilebilmekte yani bölümün yetkinliği de değerlendirilebilmektedir.

Heimerl ve Kolisch (2010), yine farklı yeteneklerdeki personellerin birden çok projeye çizelgelenmesi üzerine çalışmış ve yine personellerin öğrenme etkilerini modele dahil etmişlerdir. Ancak literatürdeki pek çok proje gibi probleme maliyet odaklı yaklaşmış ve toplam personel maliyetini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Felberbauer, vd. (2019), Heimerl ve Kolisch (2010) tarafından geliştirilmiş modeli genişletmişlerdir. İş paketlerinin heterojen becerilere sahip çok becerili insan kaynaklarına atanması problemi için, iş paketi işleme sürelerindeki belirsizlik ele alınmış ve ihtiyaç duyulan kapasitenin iç kaynakların mevcut kapasitesini aşması durumunda kullanılan dış insan kaynağının maliyetinin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.

Maghsoudlou vd. (2019), çok becerili, kaynakları kısıtlı bir proje çizelgeleme problemine odaklanmışlar ve tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Modelin gerçek hayat verilerine uygulanabilirliğini sağlamak için karınca kolonisi tabanlı bir metasezgisel geliştirmişlerdir. Modelin amaç fonksiyonu personel ve gecikme maliyetini minimize etmek üzerine kurulmuştur. Snauwaert, ve Vanhoucke (2021), Maghsoudlou vd.(2019) gibi çok becerili, kaynakları kısıtlı bir proje çizelgeleme problemi üzerine çalışmış ve personellerin beceri seviyelerini genişlik ve derinlik olarak 2 boyutta ele almışlardır. Üretim sektörü için önerdikleri genetik algoritma ile personellerin projelere toplam üretim süresini en aza indirgeyecek şekilde atanmasını sağlamışlardır. Haroune vd. (2022) de yine farklı yeteneklerdeki personellerin farklı projelerde görevlendirilmesi problemine odaklanmış ve gecikmeleri minimize edecek bir karma tamsayılı hedef programlama modeli sunmuşlardır. Ayrıca, büyük ölçekli örneklerin üstesinden gelmek için bir yerel arama algoritması ve bir tabu arama algoritması önererek performans analizlerini yapmışlardır. Snauwaert, ve

Vanhoucke (2022) ise aynı problem tipinin 6 farklı uzantısı için modeller sunarak performanslarını kıyaslamış ve sıralama/doğal tarih formulasyonunun yine toplam üretim süresini en aza indirmeyi amaçlayan modelde en iyi performansı gösterdiğini belirtmişlerdir.

Chen vd. (2022), büyük ölçekli ekipman imalat endüstrisi için çok projeli çizelgeleme ve çok becerili iş gücü atama problemini ele almış ve proje teslimatındaki gecikme cezaları ile dışardan personel temini giderlerinin toplamını yani maliyeti en küçükmeyi amaçlamıştır. Chen vd. (2017), yine çok becerili iş personel çizelgeleme problemini ele almış ve bilgi teknolojileri ürün geliştirme projelerine odaklanmışlardır. İlgili çalışmada birden çok amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Bu amaç fonksiyonları projelerin toplam geliştirme sürelerini ve personel maaşlarından oluşan toplam geliştirme maliyetini minimize etmek ve tüm çalışanların yeterliliklerinin katma değerlerinin toplamına eşit olan, çalışanların toplam beceri verimliliği artışlarını maksimize etmektir. İlgili verimlilik, personellerin projede buldukları süre ve ilgili öğrenme/unutma faktörü parametrelerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışma, hem geliştirme projelerine odaklanması yani tasarım projelerinde görev alan Ar-Ge personellerinin çizelgelenmesi ile ilgilenmesi hem de personellerin verimliliklerinin/faydalarının maksimize edilmesi üzerine çalışması nedeniyle mevcut çalışmamıza benzerlik gösterse de personeller arasındaki uyumun projeye sağladığı toplam faydayı göz ardı ettiği için çalışmamızdan farklılaşmaktadır.

Wang vd. (2022), COVID-19 salgını gibi beklenmedik riskler nedeniyle kaynak kullanılabilirliğinin değişebildiği durumlar için çok becerili proje çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Dinamik çizelgeleme algoritması önerilen çalışmada kaynakların ne kadar çok beceriye sahip olduğuna bağlı olarak algoritmanın performansının değiştiği değerlendirilmiştir.

Özetle; personel çizelgeleme çalışmaları literatürde çok fazla yer edinse de birbirinden farklı yeteneklere sahip personellerin proje bazlı çalışan

organizasyonlarda projelere çizelgelenmesiyle ilgili çok daha az çalışma yapıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmaların büyük kısmında da genel personel çizelgeleme probleminin ana amacı olan maliyeti en küçükleme öncelikli hedef olmuştur. Personeller arasındaki uyumu modele dahil eden çalışmalar çok kısıtlı olmakla birlikte olanlar da genel ve sözlü ifade edilen puanlamalarla çalışmışlardır. Bu çalışma kapsamında yapıldığı gibi birbirinden farklı kıdem ve yetenekteki personellerin belirli çalışma periyotları olan farklı ar-ge projelerine atanmasını, bireysel fayda ve personeller arasındaki uyumun maksimize edilmesini sağlayan ve modele eğitim desteği, kritik personel kısıtı gibi belirleyici kısıtlar ekleyen benzer bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

2. BÖLÜM

PROBLEMİN TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELİ

2.1. FİRMA TANITIMI

Çalışma kapsamında ele alınan firmada 9.000'in üzerinde personel çalışmakta olup çok sayıda proje yürütülmektedir. Projelerin bazıları müşteriden gelen ihtiyaçlar ve teknik isterler doğrultusunda planlanarak başlatılabildiği gibi; bazıları teknolojiyi yakından takip edebilmek için firmanın öz kaynaklarıyla desteklenerek başlatılabilmektedir. İki durumda da projeler başlatılırken belirli bir proje takvimi oluşturulmakta ve ihtiyaç duyulan malzeme, yatırım, işgücü ihtiyacı ve diğer muhtemel giderler belirlenmektedir. Belirlenen işgücü ihtiyacı kapsamında kaynak yöneticilerinden ilgili projede görev alacak personellerin belirlenmesi talep edilmektedir. Kaynak yöneticileri görevlendirme yaparken personellerin uzmanlık alanları, uygunluk durumları gibi belirli parametreleri göz önünde bulundurmakta ancak nihai olarak manuel bir çizelgeleme yapmaktadır. Bazı durumlarda ise yeterli kaynağı olmadığına karar vererek proje kapsamında talep edilen işi altyükleniciden sağlamayı tercih etmektedir. Kaynak yöneticisi personellerini manuel olarak projelere çizelgelerken hem çok fazla zaman harcamakta hem de belirli sebeplerle her personeli maksimum fayda sağlayacağı projede görevlendirmeyebilmektedir.

Firma, personellerinin akademik eğitimlerini devam ettirmelerini desteklemekte ve personellerine mesai saatleri içerisinde kullanabilecekleri akademik eğitim izin hakkı tanımaktadır. Ek olarak; katı mesai saatlerinin, strese ve iş tatminsizliğine neden olduğu, üretkenliği azalttığı bilinmekte olup (Koning, 2014); personellerin aylık 170 saati tamamlayacak şekilde esnek çalışma saatlerine sahip olmasına olanak tanınmaktadır.

Bu çalışma kapsamında bir savunma sanayi firmasında yürütülen projelere personellerin çizelgelenmesine odaklanılmıştır. İlgili firmada yürütülen projeler çoğunlukla Ar-Ge projeleri olduğu için işler rutin bir akışta ilerlememekte, personelin yeterliliğinin ve sağlayacağı faydanın önemi fazla olmaktadır. Personellerin projeye sağlayacağı fayda için pek çok kriter mevcuttur. Deneyim, performans, eğitim, ekip çalışmasına yatkınlık, aynı anda birden çok görev yönetme yeteneği gibi kriterler personelin sağlayacağı toplam faydayı etkilemektedir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye’de savunma sanayi alanında faaliyet gösteren bir firmadaki personellerin uygun projelerde görevlendirilmesi için bir çizelgeleme problemi ele alınmaktadır. Probleme firmada görev alan bir kaynak yöneticisi gözünden bakılmakta olup; bu bölümde problemin parametreleri, değişkenleri, kısıtları ve amacı tanımlanmaktadır.

Tanımlanan çizelgeleme probleminde $N = \{1, 2, \dots, N\}$ personel, $P = \{1, 2, \dots, P\}$ proje, $T = \{1, 2, \dots, T\}$ ay (zaman) olarak tanımlanmaktadır. Personellerin tecrübelerine, eğitim düzeylerine, diğer personellerle olan ilişkilerine göre her projeye farklı seviyelerde fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Personellerin projeye sağlayacağı bireysel katkıyı göstermek için bir personel fayda matrisi tanımlanmıştır.

Personellerin birbirleriyle olan ilişkileri ve uyumları da göz önünde bulundurulmuş ve personeller arasındaki uyum matrisi tanımlanmıştır. Ekip üyeleri arasındaki uyumun projelerin başarısına olan katkısı bilinmektedir. İş ortamında alınan sosyal destekle iş tatmini arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır (Hansen vd., 2015). Birbirleriyle uyumlu çalışan personellerin ortak projelerde görev alması, birbirlerini negatif yönde etkileyen personellerin ise farklı projelere atanması sağlanmıştır.

Personel fayda matrisi ve personeller arasındaki uyum matrisi kullanılarak toplam fayda matrisi hesaplanmış; n ve m personellerinin p projesinde birlikte çalışması durumunda projeye sağlayacağı katkı $U_{n,m,p}$ ile gösterilmiştir.

Personelleri maksimum fayda sağlayacakları projelerde görevlendirmek projenin amacını oluşturmaktadır.

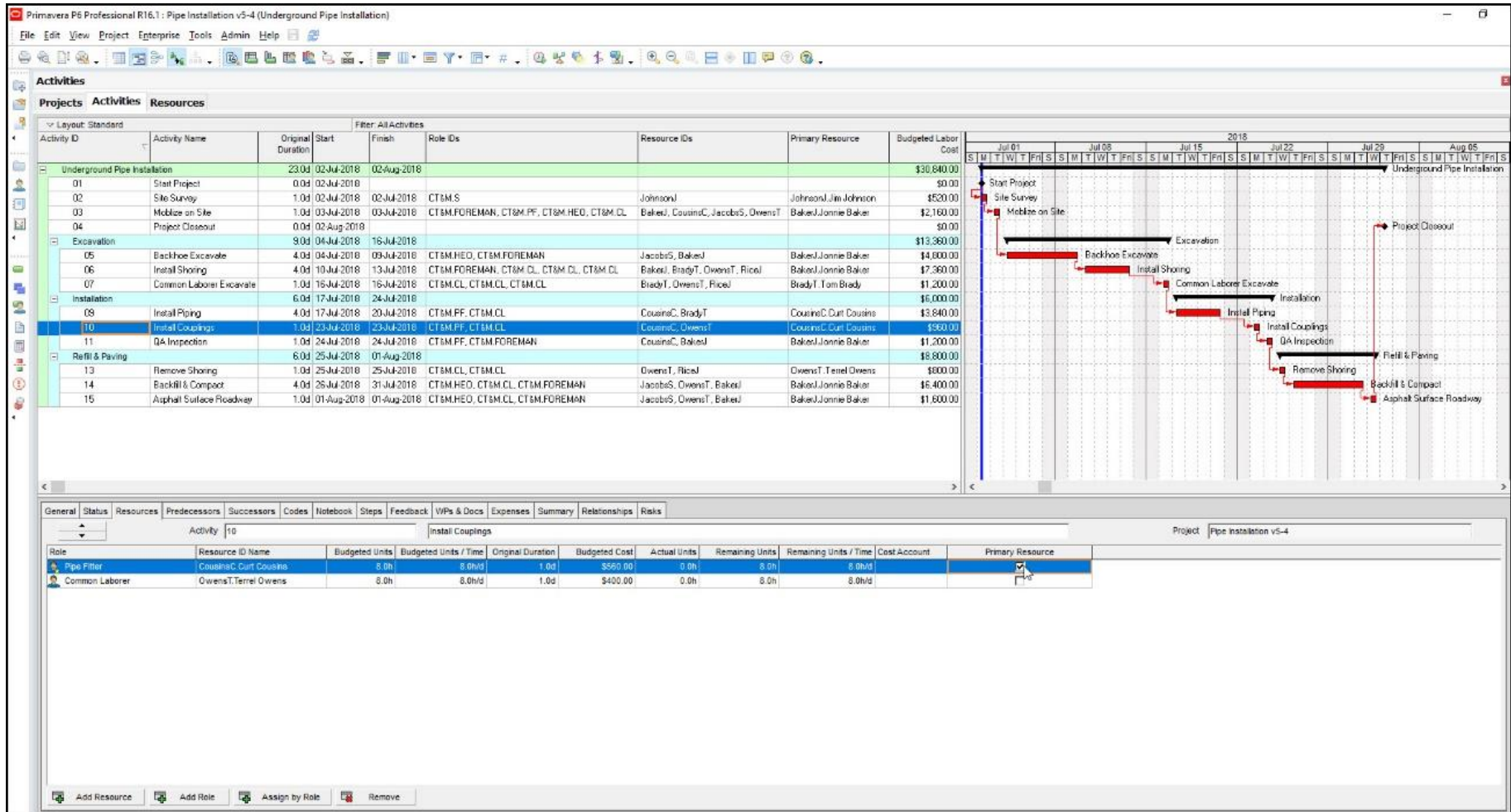
Çalışma kapsamında verilecek ilk karar, ilgili projeye personel ataması yapıp yapılmayacağıdır. Personeller ilgili projede çalışmak yerine daha fazla fayda sağlayacağı başka projelerde çalışabiliyorsa ilgili proje altyüklenici başka firmalarda yapılmak üzere devredilebilecek; dolayısıyla projeye herhangi bir personel ataması yapılmaması kararı alınacaktır.

Personellerin akademik eğitim, planlanmış izinler vb. gibi süreleri önceden belirli olan eksik çalışma süreleri mevcuttur. Bu süreler dışında kalan aktif çalışma sürelerinden daha fazla işlerinin olması, sosyal hayatlarından feragat etmelerine, iş-yaşam dengelerinin bozulmasına ve işe bağlılıklarında düşüşler olmasına neden olacaktır (Albertsen vd., 2008). Bu nedenle her personele aktif iş sürelerini maksimum %100 seviyesinde dolduracak şekilde iş atanabilecektir. Her personelin çoklu görev yürütme yeteneği farklı olup çalışabilecekleri maksimum proje sayısı da göz önünde bulundurularak atama yapılmıştır. Ek olarak bazı projelerde belirli personellerin görev almasının kritik olduğu bilinmektedir. $PK_{n,p}$ projede ilgili personelin çalışmasının kritik olup olmadığını belirten parametre olarak tanımlanmıştır. Firmada kullanılan Primavera yazılımında ilgili kaynak/lar “temel kaynak” olarak işaretlenebilmektedir. Kaynağın kritik/temel kaynak olarak nasıl belirtileceği Şekil 2’de yer almaktadır.

Bazı projelerde özel bir program kullanımı gibi ekstra eğitim gerektiren istekler olabilmektedir. Personellerin projelere sağladıkları fayda alacakları eğitimle birlikte artmaktadır. Ancak her projenin belirli bir bütçesi bulunduğu için eğitim için de bir eğitim bütçesi bulunmaktadır. İlgili projenin eğitim bütçesi B_p olarak tanımlanmıştır.

Proje takvimleri ilgili takvim yılının tamamını kapsamayabilmektedir. Hangi projelerin hangi aylarda aktif olacağı ve işçilik talep ettiği bilinmekte olup $PA_{p,t}$ ile ilgili aydaki işçilik saati ihtiyacı tanımlanmıştır. Personeller projenin aktif olduğu aylarda çalışacak şekilde atanmaktadır.

Şekil 2. Temel kaynak belirleme



2.2. MATEMATİKSEL MODEL

Probleme ait kümelerin, parametrelerin ve karar değişkenlerinin yer aldığı notasyon tablosu Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Notasyon Tablosu

Kümeler	
N	Personel Kümesi, $N=\{1,2,\dots, N \}$
P	Proje Kümesi, $P=\{1,2,\dots, P \}$
T	Ay Kümesi, $T=\{1,2, \dots, T \}$
Parametreler	
$U_{n,m,p}$	n personelinin ve m personelinin p projesinde birlikte çalışması durumunda projeye sağlayacağı katkı
EU	eğitim aldıktan sonra sağlanacak ek katkı
TK	Temel kaynağın çalışma yüzdesi
D	Personelin bir projeye harcayabileceği minimum işçilik katsayısı
YK	Projeye başlama kararı için yeterince büyük bir sayı
F	Herhangi bir personelin herhangi bir ayda herhangi bir proje için harcayabileceği maksimum saat
M	Yeterince büyük bir sayı
B_p	p projesinin eğitim bütçesi
MP_n	n personelinin çalışabileceği maksimum proje sayısı
$PA_{p,t}$	p projesinin t ayında ihtiyaç duyduğu işçilik saati
$PK_{n,p}$	n personelinin p projesinde çalışmasının kritik olup olmadığı $\{0,1\}$

$PZ_{n,t}$ n personelinin t ayında çalışabileceği maksimum mesai saati

Karar Değişkenleri

$W_{n,m,t,p}$ n ve m personellerinin t ayında p projesi için işçilik harcıyıp harcamadığı {0,1}

$X_{n,m,t,p}$ n ve m personellerinin t ayında p projesi için harcadığı işçilik saati

$Z_{n,t,p}$ n personelinin t ayında p projesi için eğitim alıp almadığı {0,1}

Y_p Projeye dahil olup olmama kararı {0,1}

$E_{n,m,t,p}$ n ve m personellerinin t ayında p projesi için eğitim aldıkları durumda harcadıkları işçilik saati

Maksimize (en büyükle)

$$\sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N \sum_{p=1}^P (U_{n,m,p} * X_{n,m,t,p} + E_{n,m,t,p} * U_{n,m,p} * EU) \quad (3.1)$$

Amaç fonksiyonu personellerin projeye sağlayacağı katkıyı maksimize etmektir.

Kısıt seti altında

$$Y_p * YK \geq \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M W_{n,m,t,p} \quad \forall p \in P \quad (3.2)$$

$$Y_p \leq \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M W_{n,m,t,p} * YK \quad \forall p \in P \quad (3.3)$$

Yetersiz işgücü kaynağı, projenin kritik olmaması ve altyüklenicilere aktarılabilir bir gizlilik derecesine sahip olması gerekçeleriyle kaynak yöneticisi projeye dahil olmama kararı verebilir. Kısıt (3.2) ve (3.3) dahil olunmayan projeye kaynak atanmamasını ve dahil olunmuş projeye en az bir kaynak atanmasını sağlar.

$$X_{n,m,t,p} \leq W_{n,m,t,p} * F \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N, m \in N \quad (3.4)$$

$$X_{n,m,t,p} \geq W_{n,m,t,p} \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N, m \in N \quad (3.5)$$

Personellerin işçilik harcadığı projeye atanmış olması ve atanmış olduğu projeye işçilik harcaması (3.4) ve (3.5) kısıtlarıyla sağlanmaktadır.

$$X_{n,m,t,p} == X_{m,n,t,p} \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N, m \in N \quad (3.6)$$

$$X_{n,n,t,p} \geq X_{n,m,t,p} \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N, m \in N \quad (3.7)$$

Kısıt (3.6), her proje için her ayda; n. ve m. personelin birlikte çalıştığı sürenin aynı olmasını sağlarken kısıt (3.7), n. personelin ilgili projedeki ilgili aydaki çalışma süresinin en az diğer personellerle çalıştığı süreye eşit olmasını veya büyük olmasını sağlar.

$$\sum_{n=1}^N X_{n,n,t,p} == PA_{p,t} * Yp \quad \forall t \in T, p \in P \quad (3.8)$$

Projelerin aktif olmadığı aylarda işçilik atanmaması ve aktif olduğu aylarda ihtiyaç duyduğu kadar işçilik atanması için (3.8) kısıtı eklenmiştir.

$$\sum_{p=1}^P W_{n,n,t,p} \leq MP_n \quad \forall t \in T, n \in N \quad (3.9)$$

Yeni başlayan bir personeller, lider unvanına sahip bir personelin fayda sağlayabileceği proje sayısı farklıdır. Yeni başlayan personeli fazla projeye atamak odağını dağıtarak öğrenme sürecini yavaşlatacaktır. Dolayısıyla her personelin çalışabileceği maksimum proje sayısı mevcuttur. Kısıt (3.9) personelin atandığı proje sayısının çalışabileceği maksimum proje sayısından fazla olmamasını sağlamaktadır.

$$\sum_{p=1}^P X_{n,n,t,p} \leq PZ_{n,t} \quad \forall t \in T, n \in N \quad (3.10)$$

Her personelin firmada geçirdiği süre farklı olabilmektedir. Daha önceden belli olan akademik izinler, yıllık izinler gibi planlı eksik çalışma saatleri mevcuttur. Personelin ilgili ayda çalıştığı tüm projelerdeki toplam iş saatinin çalışabileceği maksimum süreden fazla olmaması (3.10) kısıtıyla sağlanmaktadır.

$$X_{n,n,t,p} \geq PA_{p,t} * PK_{n,p} * TK \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N \quad (3.11)$$

$$X_{n,n,t,p} \geq PZ_{n,t} * W_{n,n,t,p} * D \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N \quad (3.12)$$

Bazı projelerde bazı personellerin çalışıyor olması kritik olabilir. Personel daha önce projenin öncül bir projesinde görev almış olabilir ya da geçmiş yıllarda başlamış ancak devam eden bir projeyse zaten o projede önemli bir rolü bulunuyor olabilir. Böyle personellerin ilgili projelere atanması ve aylık toplam mesaisinin en az belirli bir yüzdesinin ilgili projeye harcaması (3.11) kısıtıyla sağlanmaktadır. Projeye atanmış bir personelin ilgili projeye aylık 1 saat gibi anlamlı olmayan işçilikler harcamasının önlenmesi için ise kısıt (3.12) eklenmiş ve personelin toplam zamanının en az belirli bir yüzdesini atanmış olduğu projeye harcaması sağlanmıştır.

$$W_{n,n,t,p} \geq W_{n,n,t-1,p} * PA_{p,t} / M \quad \forall t \in T: t > 1, p \in P, n \in N \quad (3.13)$$

Projeye atanmış personellerin her ay değişmemesi gerekmektedir. Projede görev alacak personeller, projenin başlangıcında yayınlanan Proje Yönetim Planı'nda yer almaktadır. Görev alan personel işten ayrılmadığı sürece devam eden projelerine işçilik harcamaya devam etmektedir. Projenin aktif olduğu her ayda aynı personellerin görevlendirilmesi (3.13) kısıtıyla sağlanmaktadır.

$$E_{n,m,t,p} \leq X_{n,m,t,p} \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N, m \in N \quad (3.14)$$

$$E_{n,m,t,p} \leq Z_{n,t,p} * PA_{p,t} * M \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N, m \in N \quad (3.15)$$

$$Z_{n,t,p} \leq X_{n,n,t,p} \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N \quad (3.16)$$

Kısıt (3.14), eğitim alınan durumda harcanan işçilik saatinin toplam işçilik saatinden fazla olmamasını sağlamaktadır. Kısıt (3.15), eğitim alınan durumda harcanan işçilik saatinin oluşması için ilgili projenin ilgili zamanda aktif olmasını ve ilgili personelin o proje kapsamında eğitim almış olmasını sağlar. Personellerin sadece işçilik harcadıkları projeler kapsamında eğitim alabilmesi için ise (3.16) kısıtı eklenmiştir.

$$\sum_{n=1}^N Z_{n,t,p} \leq B_p \quad \forall t \in T, p \in P \quad (3.17)$$

Her projenin belirli bir eğitim bütçesi vardır. İlgili bütçeyle eğitim alabilecek maksimum personel sayısı mevcuttur. Kısıt (3.17) projenin, eğitim alabilecek personel sayısı kısıtının aşılmamasını sağlar.

$$Z_{n,t,p} \geq Z_{n,t-1,p} \quad \forall t \in T: t > 1, p \in P, n \in N \quad (3.18)$$

Kısıt (3.18) bir personelin eğitim aldığı aylardan sonraki aylarda eğitimi kabul edilmesini sağlar.

$$Y_p \in \{0,1\} \quad p \in P \quad (3.19)$$

$$X_{n,m,t,p} \geq 0 \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N, m \in N \quad (3.20)$$

$$Z_{n,t,p} \in \{0,1\} \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N \quad (3.21)$$

$$W_{n,m,t,p} \in \{0,1\} \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N, m \in N \quad (3.22)$$

$$E_{n,m,t,p} \geq 0 \quad \forall t \in T, p \in P, n \in N, m \in N \quad (3.23)$$

(3.19), (3.20), (3.21), (3.22) ve (3.23) kısıtları karar değişkenlerinin türünü ifade etmek için eklenmiştir.

Personellerin eğitim aldıktan sonra projeye sağlayacakları ek katkı, EU, personelin öğrenme kapasitesi, eğitmen, eğitim çeşidi gibi parametrelere göre değişebilir. Bu çalışma kapsamında varsayımsal bir değer belirlenmiştir. Projede kritik personel olarak belirlenen personelin projeye toplam zamanının en az %25'ini harcaması için TK, projeye kaynak olarak atanmış bir personelin proje için aylık 1 saat gibi anlamlı olmayan işçilik süreleri harcamasının önüne geçilmesi için toplam zamanının en az %12,5'ini harcamasını sağlayacak şekilde D parametreleri varsayımsal olarak belirlenmiştir. YK, F ve M parametreleri ilgili kısıtlar için yeterince büyük sayılar olarak modele dahil edilmiştir. Modelde kullanılan tüm parametrelerin değerleri Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Parametre Tablosu

Parametre	Değer
EU	0,25
TK	0,25
D	0,125
YK	120
F	170
M	1000

Modelin kodu Ek-1'de yer almaktadır.

3. BÖLÜM

UYGULAMA

Bu bölümde önerilen modelin sayısal analizlerine ve bu analizlerin yorumlarına yer verilecektir. Bu kapsamda, bir savunma sanayi firmasındaki veriler kullanılarak önerilen modelin örnek bir olay üzerine uygulaması sunulacaktır. İlk olarak örnek olay incelemesindeki verilerin kaynakları paylaşılacak ve optimal çözümün sonuçları değerlendirilecektir. Daha sonra olası senaryolar üzerinden modelin performansı değerlendirilecektir.

3.1. ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ

Önerilen modelin çözümünde kullanılacak verilerin tanımlanması için çalışmanın önceki bölümlerinde de belirtildiği gibi Ankara'da faaliyet gösteren bir savunma sanayi firmasındaki veriler referans alınmıştır. İlgili firmanın organizasyon şemasında yer alan bir bölümdeki personeller ve bu personellerin görev aldığı projelere ait kaynak ihtiyaçları üzerinde çalışılmıştır. İlgili bölümde 10 personel görev almaktadır. 2023 yılının ilk 6 ayı için 10 projede çalışılması planlanmaktadır. Gizlilik nedeniyle projelerin isimlerine çalışmada yer verilmemiştir. Projelerin ilgili bölümden ihtiyaç duyduğu aylık işgücü verisi PYÖP'lerden alınmış olup, saat cinsinden Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. İşgücü İhtiyacı

Personel/Zaman	1	2	3	4	5	6
1	170	170	170	170	170	170
2	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
3	0	0	0	0	0	0
4	85	85	85	85	85	85
5	120	120	120	120	120	120

6	340	340	340	340	340	340
7	170	170	170	170	170	170
8	510	510	510	510	510	510
9	35	35	35	35	35	35
10	65	65	65	65	65	65

Her projeye her personelin sağlayacağı fayda farklı olup personellerin ilgili proje için alacakları eğitim, sağlayacağı katkıyı arttırmaktadır. Tablo 5'te yer alan personellerin mevcut durumda sağlayacakları saatlik bireysel fayda değerleri hipotetik olarak üretilmiştir. Ancak ilgili fayda değerleri belirlenirken; personellerin daha önce benzer bir projede çalışması, uzmanlık alanı, toplam iş tecrübesi, ilgili bölümdeki iş tecrübesi, daha önce projeye alakalı aldığı eğitimler ve geçmiş yıllardaki performans puanlarının dikkate alınması önerilmektedir.

Tablo 5. Personellerin Sağlayacakları Saatlik Fayda Değerleri

Personel/Proje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.88	1.88	1.50	1.84	1.25	1.58	1.83	1.20	1.82	1.40
2	1.03	1.71	1.40	1.82	1.64	1.06	1.33	1.53	2.00	1.25
3	1.88	1.47	1.15	1.45	1.51	1.41	1.91	1.16	1.53	1.05
4	1.51	1.62	1.67	1.06	1.45	1.31	1.38	1.26	1.77	1.86
5	1.41	1.40	1.12	1.34	1.78	1.79	1.15	1.17	1.02	1.33
6	1.11	1.12	1.10	1.65	1.80	1.47	1.12	1.64	1.79	1.64
7	1.05	1.45	1.43	1.47	1.01	1.60	1.28	1.51	1.19	1.34
8	1.05	1.17	1.24	1.03	1.28	1.04	1.25	1.49	1.01	1.24
9	1.06	1.26	1.17	1.47	1.32	1.09	1.18	1.09	1.19	1.47
10	1.29	1.25	1.19	1.13	1.04	1.09	1.20	1.34	1.33	1.34

Tablo 6'da personeller arasındaki uyum ise personellerin birbirlerine bir önceki yılda verdikleri puanlar göz önünde bulundurularak listelenmiştir. Gerçek veriler, kaynak yöneticileri tarafından 100'lü skalada görüntülenebilmektedir ve ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilir. Ancak kişisel bilgilerin gizliliği nedeniyle bu çalışma kapsamında kullanılan veriler hipotetik olarak üretilmiştir. Her

personelin kendisiyle tam uyumlu çalıştığı varsayımı mevcut olup kendisiyle arasındaki uyum 1.00 kabul edilmiştir.

Tablo 6. Personeller Arasındaki Uyum Matrisi

Personel/ Personel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00	0.88	0.88	0.56	0.55	0.36	0.74	0.76	0.59	0.80
2	0.88	1.00	0.56	1.20	0.65	0.08	0.44	0.36	0.69	0.34
3	0.88	0.56	1.00	0.43	0.40	0.19	0.77	0.23	0.13	1.00
4	0.56	1.20	0.43	1.00	0.53	0.30	0.66	0.90	0.52	0.51
5	0.55	0.65	0.40	0.53	1.00	1.30	0.48	0.32	0.45	0.44
6	0.36	0.08	0.19	0.30	1.30	1.00	0.33	0.49	0.04	0.50
7	0.74	0.44	0.77	0.66	0.48	0.33	1.00	0.81	0.63	0.72
8	0.76	0.36	0.23	0.90	0.32	0.49	0.81	1.00	1.40	0.10
9	0.59	0.69	0.13	0.52	0.45	0.04	0.63	1.40	1.00	0.70
10	0.80	0.34	1.00	0.51	0.44	0.50	0.72	0.10	0.70	1.00

Toplam fayda değeri ise i . Çalışanın bireysel fayda değeri, j . Çalışanın bireysel fayda değeri ve uyumlarının birbirleriyle çarpılması ile hesaplanmaktadır. Personelin kendisiyle uyumu %100 olduğu için tek başına çalışmasının daha avantajlı hale gelmemesi, ekip çalışmasına teşvik sağlanması için toplam fayda değeri tek başına çalıştığı durumda 2'ye bölünmektedir. Toplam fayda tablosu Ek 2'de mevcuttur.

Yukarıdaki bölümlerde de bahsedildiği gibi bazı projeler bir önceki yılda başlamış olabilir ve hali hazırda ilgili personel o projede görevli olabilir. Bu durumda bu personelin projede kritik olduğu belirtilmekte ve planlama yapılan yılda da mutlaka o projeye atanması sağlanmaktadır. Tablo 7'de yer alan ilgili kritik personel matrisi Şekil 2'de görseli yer alan yazılımdan faydalanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 7. Kritik Personel Matrisi

Personel/ Proje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Projelerin belirli sayıda personel için eğitim bütçesi bulunmakta olup ilgili bütçe kısıtı projenin yayınlanmış olan PYÖP'ünde yer almaktadır. Tablo 8'de proje bütçesi kısıtı kapsamında eğitim alabilecek maksimum personel sayısı yer almaktadır.

Tablo 8. Proje Eğitim Bütçesi

Proje	Bütçe
1	1
2	0
3	2
4	1
5	1
6	2
7	2
8	3
9	0
10	0

Personel çizelgeleme çalışmasında zaman periyodu ay olarak belirlenmiştir. Mevcut durumda da bölüm yöneticisi tarafından çizelgeleme yapılırken personelin aylık işçiliği için çizelgeleme yapılmakta; ilgili ay içerisinde yapılması gereken işlerin hangi gün, hangi saatte yapılacağı detayı personelin kendi zaman yönetimine ve projenin hedeflerine bağlı olmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi personellerin aylık çalışması gereken 170 saat bulunmaktadır ancak bazı personellerin akademik izin gibi nedenlerle eksik çalıştıkları süreler bulunmaktadır, bu bilgi ilgili kaynak yöneticisinden alınmıştır. Tablo 9'da her personelin aylara göre değişen çalışma süreleri saat cinsinden yer almaktadır. Haftada maksimum 6 gün ve günde maksimum 11 saat çalışacak şekilde çalışma sürelerini personellerin kendilerinin planlaması beklenmektedir.

Tablo 9. Çalışma Süreleri

Personel/Ay	1	2	3	4	5	6
1	170	170	170	170	170	170
2	150	150	150	150	150	170
3	170	170	170	170	170	170
4	140	140	140	140	140	170
5	140	140	140	140	140	170
6	170	170	170	170	170	170
7	170	170	170	170	170	170
8	170	170	170	170	170	170
9	150	150	150	150	150	150
10	170	170	170	170	170	170

Çalışma kapsamında personellerin çalışabileceği maksimum bir proje sayısı olduğu varsayılmıştır. Bu sayı belirlenirken personellerin unvanları dikkate alınmış olup yeni başlayan bir mühendisin daha az projede yer alması sağlanmıştır. Tablo 10'da personellerin unvanları ve çalışabilecekleri maksimum proje sayıları yer almaktadır. Hangi unvanın kaç projede çalışabileceği verisi kaynak yöneticisinin katkılarıyla varsayımsal olarak üretilmiştir.

Tablo 10. Personellerin Unvanları Ve Çalışabilecekleri Maksimum Proje Sayısı

Personel	Unvan	Proje sayısı
1	Lider Mühendis ve Üstü	4
2	Kıdemli Uzman Mühendis	4
3	Kıdemli Uzman Mühendis	4
4	Uzman Mühendis	3
5	Uzman Mühendis	3
6	Uzman Mühendis	3
7	Uzman Mühendis	3
8	Mühendis	2
9	Mühendis	2
10	Mühendis	2

3.2. ÖRNEK OLAY ÇÖZÜMÜ

3.1'de tanımlanan örnek olayda faydayı maksimize edecek şekilde önerilen model çalıştırılmıştır. Optimal çözümün bulunması ortalama 80,36 dakika sürmektedir. Hangi personelin hangi projeye kaç saat işçilik harcayacağını gösteren sonuçlar Tablo 11'de yer almaktadır. Faydayı maksimize etmeyi amaçlayan amaç fonksiyonu 37.725,34 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11. Planlanan İşçilikler

Zaman	Proje	Personel	İşçilik Saati	Eğitim	
1-2-3-4-5-6		1	1	56,67	Evet
1-2-3-4-5-6		1	3	56,67	Hayır
1-2-3-4-6		1	10	56,67	Hayır
1-2-3-4-5-6		2	1	42,50	Hayır
1-2-3-4-5-6		4	2	21,25	Evet
1-2-3-4-5-6		4	3	21,25	Hayır
1-2-3-4-5-6		4	5	21,25	Hayır
1-2-3-4-5-6		4	6	21,25	Hayır
1-2-3-4-5		5	2	31,25	Hayır
1-2-3-4-5		5	3	21,25	Hayır
1-2-3-4-5		5	5	33,75	Evet
1-2-3-4-5		5	6	33,75	Hayır
1-2-3-4-5		6	5	85,00	Evet
1-2-3-4-5		6	6	65,00	Hayır
1-2-3-4-5		6	7	56,67	Evet
1-2-3-4-5		6	8	66,67	Hayır

1-2-3-4-5	6	9	66,67	Hayır
1-2-3-4-5-6	7	1	70,83	Evet
1-2-3-4-5-6	7	3	70,83	Evet
1-2-3-4-5-6	7	7	28,33	Hayır
1-2-3-4-5-6	8	2	85,00	Evet
1-2-3-4-5-6	8	4	85,00	Evet
1-2-3-4-5-6	8	7	85,00	Evet
1-2-3-4-5-6	8	8	85,00	Hayır
1-2-3-4-5-6	8	9	85,00	Hayır
1-2-3-4-5-6	8	10	85,00	Hayır
1-2-3-4-5-6	9	4	35,00	Hayır
1-2-3-4-5-6	10	2	32,50	Hayır
1-2-3-4-5-6	10	4	32,50	Hayır
6	5	2	21,25	Hayır
6	5	3	21,25	Hayır
6	5	5	38,75	Evet
6	5	6	38,75	Hayır
6	6	5	85,00	Evet
6	6	6	85,00	Hayır
6	6	7	56,67	Evet
6	6	8	56,67	Hayır
6	6	9	56,67	Hayır

Hangi personellerin hangi projeler kapsamında eğitim aldığı Tablo 12'de yer almaktadır. Mevcut personeller işçilik talep edilen tüm projelere yeterli olduğu için hiçbir projeye girmeme kararı alınmamıştır.

Tablo 12. Alınacak Eğitimler

Proje	Proje Bütçesi	Eğitim	Personel
1	1		1
2	0		-
3*	2		-
4	1		2
5	1		5
6	2		5, 7
7	2		1, 3
8	3		2, 4, 7
9	0		-
10	0		-

* Projenin ilk 6 ay için planlanan işçilik ihtiyacı olmadığı için eğitim atanmamıştır.

3.3. ÖRNEK OLAY İÇİN SENARYO ANALİZLERİ

Bu bölümde, olası senaryolar kapsamında önerilen modelin ve sonuçlarının incelenmesi gerçekleştirilecektir. Olası değişikliklerin performans kriterlerine olan etkisi incelenecektir. Amaç, yapılan değişikliklerin performans üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesidir. Tablo 13'te analiz edilen farklı senaryolar yer almaktadır.

Tablo 13. Analiz Edilen Farklı Senaryolar

Senaryo	Detay
S1	Planlama Takviminin 12 Ay Olması Senaryosu
S2	Bölümde 6 Personelin Görev Alması Senaryosu
S3	Proje Sayısının 6'ya Düşmesi Senaryosu
S4	Orijinal Büyüklükteki Modelin Sezgisel Eklenmiş Bir Kısıtla Çözülmesi Senaryosu
S5	12 Personel Ve 12 Proje Olduğu Durumda Modelin Sezgisel Eklenmiş Bir Kısıtla Çözülmesi Senaryosu
S6	Personeller Arası İlişkinin Modele Dahil Edilmemesi Senaryosu
S7	Eğitimin Modele Dahil Edilmemesi Senaryosu

3.3.1. Planlama Takviminin 12 Ay Olması Senaryosu

Planlama takviminin genişletilerek 6 ay yerine 12 aylık planlamanın yılın başında sadece 1 kere yapılması senaryosu çalışılmıştır. Bu senaryoda karar değişkenlerinin boyutları iki katına çıkmakta ancak çözüm süresi oldukça uzamaktadır. Orijinal modelde, bu senaryodaki gibi yıllık planlamanın çözüm süresinin uzun olması nedeniyle firmadaki kaynak yöneticilerinin planlama

sürelerinin daha kısa tutulması amaçlanmıştır. Bu senaryo ile model 78 saat çalıştırılmış ancak optimal çözüme ulaşılamamıştır. Optimal çözüme yakınlığı %6,52 olacak şekilde model çözümü sonlandırılmıştır. Bulunan amaç fonksiyonu değeri 46.375,46 olmuştur.

Yılın ikinci yarısında projelerin ihtiyaç duyduğu işçilik ihtiyacı azalmıştır. İkinci 6 ayda ilk 6 ayın sadece %48'i kadar işçilik ihtiyacı oluşmuştur. Tablo 14'te de görüldüğü gibi yılın ikinci 6 ayında personeller tam verimle çalışmamış ve amaç fonksiyonu orijinal modeldeki amaç fonksiyonundan sadece %22,93 oranında artmıştır.

Tablo 14. Personellerin Harcadıkları Toplam İşçilik

Personel/Zaman	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	170	170	170	170	170	162,92	77,92	77,92	63,75	92,08	85	85
2	170	170	170	170	170	170	63,75	63,75	119	104,83	97,75	97,75
3	170	170	170	170	170	170	99,17	99,17	85	70,83	63,75	53,13
4	156,25	156,25	156,25	156,25	156,25	152,5	64,17	64,17	76,92	76,92	76,92	76,92
5	140	140	140	140	140	170	60	110	110	110	110	110
6	120	120	120	120	120	170	60	110	110	110	110	110
7	170	170	170	170	170	170	42,5	42,5	34	34	55,2	76,5
8	170	170	170	170	170	127,22	64,17	64,17	55,67	55,67	55,67	55,67
9	121,25	121,25	121,25	121,25	121,25	117,5	64,17	64,17	55,67	55,67	55,67	55,67
10	25	25	25	25	25	5	7	7	7	7	7	7
10	150	150	150	150	150	127,36	56,67	56,67	7	42,5	42,5	31,88
Toplam	1537,5	1537,5	1537,5	1537,5	1537,5	1537,5	652,52	752,52	752,51	752,5	752,51	752,52

3.3.2. Bölümde 6 Personelin Görev Alması Senaryosu

Proje sayısı sabit tutularak personel sayısı 6'ya düşürülmüş ve sonuçlar incelenmiştir. Modelin çözüm süresinde ciddi bir azalma olduğu görülmüştür.

Sadece 11,11 saniyede optimal çözüme ulaşılmıştır. Yetersiz personel nedeniyle 3., 5. ve 8. Projelere personel ataması yapılmayarak bu projelere ilgili bölümün destek sağlamayacağına karar verilmiştir. Bu durum amaç fonksiyonunun 19.740 olarak hesaplanmasına neden olmuştur. Sonuçlar Tablo 15'te yer almaktadır.

Tablo 15. Senaryo 2 İçin Planlanan İşçilik Verileri

Zaman	Proje	Personel	İşçilik Saati	Eğitim	
1-2-3-4-5		1	1	85	Evet
1-2-3-4-5		1	3	85	Hayır
1-2-3-4-5		2	1	21,25	Hayır
1-2-3-4-5		2	2	21,25	Hayır
1-2-3-4-5		4	2	22,0	Evet
1-2-3-4-5		4	3	21,25	Hayır
1-2-3-4-5		4	5	22,0	Hayır
1-2-3-4-5		4	6	19,75	Hayır
1-2-3-4-5		6	2	84,25	Evet
1-2-3-4-5		6	4	85,25	Hayır
1-2-3-4-5		6	5	85,25	Evet
1-2-3-4-5		6	6	85,25	Hayır
1-2-3-4-5		7	1	63,75	Evet
1-2-3-4-5		7	2	42,5	Hayır
1-2-3-4-5		7	3	63,75	Evet
1-2-3-4-5		9	4	35	Hayır
1-2-3-4-5		10	4	25	Hayır
1-2-3-4-5		10	5	25	Hayır
1-2-3-4-5		10	6	15	Hayır
	6	1	1	85	Evet
	6	1	3	85	Hayır
	6	2	1	21,25	Hayır
	6	2	2	21,25	Hayır
	6	4	2	21,25	Evet
	6	4	3	21,25	Hayır
	6	4	5	21,25	Hayır
	6	4	6	21,25	Hayır
	6	6	2	42,92	Evet
	6	6	4	42,92	Hayır
	6	6	5	127,08	Evet
	6	6	6	127,08	Hayır
	6	7	1	56,67	Evet
	6	7	2	56,67	Hayır

6	7	3	56,67	Evet
6	9	4	35	Hayır
6	10	4	21,67	Hayır
6	10	5	21,67	Hayır
6	10	6	21,67	Hayır

Orijinal modelde toplam 9.680 saatlik harcanabilir işçilik saati bulunmaktadır. Personel sayısının 6'ya düştüğü senaryoda toplam harcanabilir işçilik saati %41 oranında azalarak 5.720 saat olmuştur. İlgili işçilik saatindeki düşüşe benzer bir oranda amaç fonksiyonunda da azalma olmuş ve orijinal modelin %52'sine denk gelecek şekilde hesaplanmıştır.

3.3.3. Proje Sayısının 6'ya Düşmesi Senaryosu

Personel sayısı sabit tutularak proje sayısı 6'ya düşürülmüş ve sonuçlar incelenmiştir. Modelin çözüm süresinde senaryo 2'deki gibi ciddi bir azalma olmamıştır. Çözüm süresi sadece 1,6 dakika azalmış ve 78,7 dakikada optimal çözüme ulaşılmıştır.

Tüm projelere atanabilecek kadar kaynak mevcut olduğu için tüm projelere girilmesi kararı verilmiştir. Toplam proje sayısında azalma olduğu için personeller planlanan tüm işçiliklerine harcayamamış, toplam 5.135 saat (%53 oranında) atıl zamanları oluşmuştur. Bu durum amaç fonksiyonunun %44 azalarak 21.130,02'ye düşmesine neden olmuştur. Atıl kalan işçilik saatleri Tablo 16'da yer almaktadır.

Tablo 16. Senaryo 3 İçin Atıl Kalan İşçilik Verileri

Personel/Zaman	1	2	3	4	5	6
1	43	55	55	55	55	55
2	52	58	58	58	58	78
3	50	70	70	70	70	70
4	63	69	69	69	69	99
5	31	6	6	6	6	36

6	82	95	95	95	95	95
7	85	98	98	98	98	98
8	170	170	170	170	170	170
9	129	129	129	129	129	129
10	138	94	94	94	94	94

3.3.4. Orijinal Büyüklükteki Modelin Sezgisel Eklenmiş Bir Kısıtla Çözülmesi Senaryosu

Orijinal modelin çözüm süresinin uzun olması çok personelli bölümlerde modelin kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu durumda toplam fayda matrisinde yer alan değerlerden sadece 1'den büyük olanların kullanılmasını sağlayacak şekilde modelde değişiklik yapılmıştır. 1 sınırı seçilirken personellerin bireysel faydalarının en az 1 olduğu göz önünde bulundurulmuş, birden fazla personelin görev alması durumunda bireysel faydasını aşağıya çekmeyen seçenekler arasında tercih yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Bu senaryoda 10 personel ve 10 proje için model çalıştırılmış ve 80,36 dakikada optimal çözüme ulaşılan veri setiyle 1,92 dakikada çözüme ulaşılmıştır. Amaç değeri 35.003,5 olarak hesaplanmıştır. Optimal çözümden %7,2'lik bir sapma olduğu gözlenmiştir. Tablo 17'de iki çözüm arasında benzer ve farklı olarak atanan personellerin listesi yer almaktadır. Orijinal modelde optimal çözümde yer alan ancak sezgisel yaklaşımda model dışına çıkarılan varyasyonlar olduğu gözlenmektedir. Çok personelli ve/ya projeli bölümler için bu senaryonun da kullanılabilir olduğu değerlendirilmektedir.

Tablo 17. Senaryo 4 için Çizelgelenen Personel Listesi

Proje	Personel (Orijinal Model)	Personel (S4)	
	1	1	1
	1	3	3
	1	10	10

2	1	1
2	-	2
4	2	2
4	3	-
4	5	-
4	6	-
4	-	9
5	2	2
5	3	-
5	5	5
5	6	6
6	-	1
6	-	3
6	5	5
6	6	6
6	7	7
6	8	-
6	9	-
7	1	-
7	3	3
7	7	7
7	-	10
8	2	2
8	4	4
8	7	7
8	8	8
8	9	9
8	10	-
9	4	4
10	2	-
10	4	4
10	-	8

3.3.5. 12 Personel ve 12 Proje Olduğu Durumda Modelin Sezgisel Eklenmiş Bir Kısıtla Çözülmesi Senaryosu

10 personel ve 10 proje yerine model genişletilerek 12 personel ve 12 projeden oluşan bir veri setiyle ve 4. senaryoda yer alan sezgisel yaklaşımla problem tekrar çözülmüş ve 7,42 saatte çözüme ulaşılmıştır. Personel ve proje sayılarının 2'şer adet arttığı bu senaryoda bile bir önceki senaryonun çözüm süresi olan 1,92 dakikanın çok üstünde bir sürede çözüme ulaşılabilmektedir.

Problem NP-zor kategorisinde bir problem olduğu için dört indisli karar değişkenlerinin büyüklüğü %72,8 oranında artarken çözüm süresi %23.087,5 oranında artmıştır. Daha büyük veri setleriyle çalışılması gereken, daha çok personel çalışan bir bölümde ilgili sezgisel yaklaşımın da orijinal modele eklenmesi yeterli olmayacak, alternatif sezgisel yöntemler geliştirilmesi gerekecektir.

3.3.6. Personeller Arası İlişkinin Modele Dahil Edilmemesi Senaryosu

Literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmı gibi personeller arasındaki ilişkinin modele dahil edilmediği senaryo da çalışılmış ve hem amaç fonksiyonuna hem de çözüm süresine olan etkisi incelenmiştir. Bu senaryoda fayda matrisi olarak personellerin bireysel fayda matrisi olan Tablo 5'deki veriler kullanılmış ve X,W ve E karar değişkenleri 4 indis yerine n,t,p'den oluşan 3 indis kullanılarak oluşturulmuştur. Optimal çözümün bulunma süresi 80,36 dakikadan 2,6 saniyeye düşmüş ve amaç fonksiyonu orijinal modeldeki formülle manuel olarak hesaplanmıştır. Yeni amaç fonksiyonu orijinal değerlerin %54'ü olan 20.491,05 olarak bulunmuştur. Projelere mümkün olan en az sayıda personelin çizelgelendiği gözlenmiştir. Bu çalışma kapsamına dahil edilen personeller arası ilişki matrisi ile ekip çalışmasına teşvik sağlandığı ve toplam faydanın yaklaşık 2 katına çıkarıldığı kanıtlanmaktadır. Planlanan işçilik verileri Tablo 18'de yer almaktadır.

Tablo 18. Senaryo 6 İçin Planlanan İşçilik Verileri

Zaman	Proje	Personel	İşçilik Saati	Eğitim	
1-2-3-4-5		1	1	127,50	Evet
1-2-3-4-5		1	4	42,50	Hayır
1-2-3-4-5		2	1	42,50	Hayır
1-2-3-4-5-6		4	2	85,00	Evet
1-2-3-4-5-6		5	9	120,00	Evet
1-2-3-4-5		6	5	140,00	Evet
1-2-3-4-5		6	7	170,00	Evet
1-2-3-4-5		6	9	30,00	Hayır
1-2-3-4-5-6		7	3	170,00	Evet

1-2-3-4-5	8	2	70,00	Hayır
1-2-3-4-5	8	6	120,00	Evet
1-2-3-4-5	8	8	170,00	Evet
1-2-3-4-5	8	10	150,00	Evet
1-2-3-4-5-6	9	4	35,00	Hayır
1-2-3-4-5-6	10	4	65,00	Hayır
6	1	1	148,75	Evet
6	1	4	21,25	Hayır
6	2	1	21,25	Hayır
6	2	2	21,25	Hayır
6	6	5	170,00	Evet
6	6	7	148,75	Evet
6	6	9	21,25	Hayır
6	8	2	21,25	Hayır
6	8	6	170,00	Evet
6	8	8	170,00	Evet
6	8	10	148,75	Evet

3.3.7. Eğitimin Modele Dahil Edilmemesi Senaryosu

Literatürdeki çalışmalarda göz önünde bulundurulmayan bir diğer konu da personellerin aldıkları eğitimle projelere sağladıkları katkıların artması olmuştur. Bu çalışmadan eğitimle ilgili karar değişkenleri ($E_{n,m,t,p}$ ve $Z_{n,t,p}$), kısıtları (3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.21 ve 3.23 nolu kısıtlar) ve parametreleri (EU ve B_p) çıkardığımız senaryoda çözüm süresi 23,2 dakikaya inmiş ancak eğitimin sağladığı %25'lik ek katkıdan faydalanılamadığı için amaç fonksiyonu %14 oranında azalarak 32.414 olarak hesaplanmıştır. Bu senaryonun sonucunda da orijinal modelin sonucuyla aynı sonuçlar elde edilmiştir, aynı personeller aynı projelerde aynı saatlerde görev almışlardır ancak görev alan her personel eğitim almadığı için amaç fonksiyonu beklenildiği gibi %25'ten daha düşük bir oranda azalmıştır. Tablo 19'da orijinal modelde eğitim alan ancak bu senaryoda alamayan personeller ve çalışma süreleri yer almaktadır.

Tablo 19. Eğitim Alamayan Personeller

Zaman	Proje	Personel	İşçilik Saati	Eğitim
1-2-3-4-5-6		1	1	56,67 Evet

1-2-3-4-5-6	4	2	21,25	Evet
1-2-3-4-5	5	5	33,75	Evet
1-2-3-4-5-6	6	5	85,00	Evet
1-2-3-4-5-6	6	7	56,67	Evet
1-2-3-4-5-6	7	1	70,83	Evet
1-2-3-4-5-6	7	3	70,83	Evet
1-2-3-4-5-6	8	2	85,00	Evet
1-2-3-4-5-6	8	4	85,00	Evet
1-2-3-4-5-6	8	7	85,00	Evet
6	5	5	38,75	Evet

Modelde kullanılan veri setlerinde ve modelde yapılan değişikliklerin çözüm sürelerine ve amaç fonksiyonuna olan etkileri Tablo 20’de yer almaktadır. Problem NP-zor olduğu için senaryo 1,2 ve 3’teki gibi veri setlerinin boyutlarında yapılan değişiklikler çözüm süresinde ciddi değişikliklere neden olmuştur. Senaryo 4 ve 5’te veri setinin büyüdüğü durumlarda çözüme ulaşılabilmesi için modele sezgisel bir kısıt eklenmiş ancak yine de daha büyük veri setlerinde ilgili kısıtın da yeterli olmayacağı değerlendirilmiştir. Senaryo 6 ve 7’deki gibi literatürdeki diğer çalışmalara benzer kısıtlarla problem çözüldüğünde çözüm süreleri oldukça kısılmasına rağmen amaç fonksiyonlarının da azaldığı görülmüştür.

Tablo 20. Senaryoların Karşılaştırılması

Senaryo	Senaryo Adı	Çözüm Süresi	Amaç Fonksiyonu Değeri
Orijinal Model		80,36 Dakika	37.725,34
S1	Planlama Takviminin 12 Ay Olması Senaryosu	-*	-*
S2	Bölümde 6 Personelin Görev Alması Senaryosu	11,11 Saniye	19.740
S3	Proje Sayısının 6’ya Düşmesi Senaryosu	78,7 Dakika	21.130,02
S4	Orijinal Büyüklükteki Modelin Sezgisel Eklenmiş Bir Kısıtla Çözülmesi	1,92 Dakika	35.003,5

S5	Senaryosu 12 Personel Ve 12 Proje Olduğu Durumda Modelin Sezgisel Eklenmiş Bir Kısıtla Çözülmesi Senaryosu	7,42 Saat	53.959,19
S6	Personeller Arası İlişkinin Modele Dahil Edilmemesi Senaryosu	2,6 Saniye	20.491,05
S7	Eğitimin Modele Dahil Edilmemesi Senaryosu	23,2 Dakika	32.414

* Optimal çözüme ulaşamadı.

SONUÇ

Organizasyonlar, varlıklarını devam ettirebilmek ve pazardaki rekabet güçlerini kaybetmemek için kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak maliyetlerini belirli kısıtlar altında en küçükmeyi hedeflemektedirler. İnsan kaynağı için harcanan kaynak da organizasyonlar için en büyük maliyetlerden birini oluşturmaktadır. İstihdam edilen insan kaynağını en verimli şekilde kullanmanın en etkili yolu kaynakları doğru çizelgelemektir.

Personel çizelgeleme problemleri daha çok sağlık, perakende, güvenlik gibi 24 saat ya da belirli saat aralıklarında haftanın her günü kesintisiz hizmet gerektiren ve çoğunlukla vardiyalı çalışılan alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Proje bazlı çalışan organizasyonlarda ise personel çizelgeleme kararları kaynak yöneticisi tarafından verilmekte ve hem kaynak yöneticilerinin zamanını almakta hem de verimliliği düşürebilmektedir. Literatürde faydayı maksimize etmeyi amaçlayan, personel arasındaki uyumu ve personellerin bireysel faydalarını birlikte değerlendiren, çok projeli personel çizelgeleme problemine rastlanmamış olup bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacak yenilikçi bir çalışma olduğu düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında Ankara'da faaliyet gösteren bir savunma sanayi firmasındaki personellerin belirli zaman periyotlarında projelere çizelgenme problemi ele alınmıştır. Elbette bu firmada da maliyet etkin çalışmak kritiktir ancak çalışma mevcut personeller kapsamında yürütüldüğü için personeller için harcanan maaş, yemek, ulaşım vs. gibi giderler sabit giderler olarak değerlendirilmiş ve göz önünde bulundurulmamıştır. Personellerin her birinin farklı yetkinlikleri ve farklı çalışan profilleri mevcuttur. Ek olarak yüksek lisans/doktora gibi ek uzmanlık alanları ve almış oldukları ek eğitimler bulunmaktadır. Bu kapsamda her birinin her projeye sağlayacağı katkının farklı olacağı bilinmektedir. Personeller arasındaki uyumun da projenin toplam

faydasına olan etkisini de göz önünde bulunduran bu çalışmanın ana amacı personellerin projelere sağlayacakları toplam faydayı maksimize etmektir.

Mevcut durumda, firmadaki kaynak yöneticileri personellerin projelere çizelgelenmesi için oldukça fazla mesai harcamaktadırlar. Yeni personel alınması, işten ayrılan personel olması, projelerin planlanan takvime uygun ilerlememesi, planda olmamasına rağmen açılması gereken kritik projeler veya planlanandan erken veya geç zamanlarda kapanan projeler olması gibi nedenlerle kaynak yöneticilerinin yaptıkları planlarda değişiklik ihtiyacı olabilmektedir. Yukarıda bahsedilen değişiklik gerekçelerinden birinin gerçekleşmesi durumunda kaynak yöneticisinin yeniden planlama yapması gerekmekte; personellere kapasitelerinden az ya da çok işçilik planı yapıp yapılmadığını ve projelere talep edilen işçilikten daha az işçilik atanmadığını teyit etmek için birkaç rapor birden çalıştırarak çok yönlü bir doğrulama yapması gerekmektedir. Bu durum hem ilgili çizelgeleme problemini insan kaynaklı hatalara açık hale getirmekte, hem kaynak yöneticisinin oldukça fazla zamanını almakta hem de personellerin daha fazla fayda sağlayacakları projelerde görevlendirilmemiş olmaları ihtimaline neden olabilmektedir. Personel çizelgelemedeki olası hatalar, projelerin zamanında tamamlanamaması, beklenen kalitede ve maliyette olmaması gibi risklere de neden olabilmektedir. Bu kapsamda geliştirilen matematiksel modele hem verilerin temin edildiği firmada hem de personel çalıştırılan tüm organizasyonlarda ihtiyaç duyulabileceği değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında 10 personeli olan ve personellerine 2023 yılında 10 projede ihtiyaç duyulacağı bilinen bir kaynak yöneticisi gözünden 6 aylık planlama periyodunda personel çizelgeleme problemi çalışılmıştır. Toplam faydayı maksimize etmeyi amaçlayan çalışmada değerlendirilen farklı senaryolar ve sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir:

- Planlama periyodunun 6 ay yerine yıllık yapılması senaryosunda model çözüme ulaşamamıştır. NP-zor olan modelde daha uzun periyotlarda

planlama yapılabilmesi için sezgisel yöntemlerin modele dahil edilmesi gerekmektedir.

- Bölümde görev alan 10 personelin sayısının 6'ya düşmesi durumunda çözüm süresi 80,36 dakikadan 11,11 saniyeye düşmektedir. Toplam fayda matrisinin büyüklüğü personel sayısının karesine bağlı olduğu için buradaki her değişiklik çözüm süresinde ciddi farklara neden olmaktadır.
- 10 personelin 10 proje yerine 6 projede görevlendirilmesi planlandığında çözüm süresinde benzer bir oranda azalma gözlenmiş ve 52,9 dakikada çözüme ulaşılmıştır.
- Detayları sayısal analiz kısmında anlatılmış olan sezgisel bir yaklaşım modele dahil edilerek amaç fonksiyonu değerinin optimalden %7,2 oranında sapmasına izin verilmiş ve 1,92 dakikada çözüme ulaşılmıştır.
- 12 personel ve 12 proje olduğu durumda bir önceki senaryoda modele dahil edilen sezgisel yaklaşım modele yine dahil edilerek 7,42 saatte çözüme ulaşılmıştır. Daha büyük verilerle çalışılması gereken durumda sezgisel yaklaşımda değişiklikler yapılması gerekecektir.
- Personeller arasındaki ilişkinin modele dahil edilmediği senaryoda model oldukça küçülmüş ve çalışma literatürdeki proje bazlı çizelgeleme problemlerine benzer hale gelmiştir. 2,6 saniyede 6 aylık optimal planlama yapılan modelde amaç fonksiyonu orijinal modelin amaç fonksiyonunun %54'üne ulaşabilmiş ve zorunda kalmadıkça takım çalışmasına uygun planlama yapılmamıştır. Personellerin uyumunun modele dahil edilmesinin bu çalışmayı özgün kılan en önemli etkenlerden biri olduğu ve faydayı yaklaşık 2 katına çıkaracak şekilde arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Eğitiminden sağlanan faydanın modele dahil edilmemesi durumunda çözüm süresi orijinal sürenin %25 seviyelerine inmiş ancak beklenildiği gibi eğitimin sağladığı ek katkıdan faydalanılmadığı için amaç fonksiyonu 37.725,34'den 32.414'e düşmüştür. Eğitimle ilgili kısıt ve karar değişkenlerinin modele eklenmesi çözüm süresini arttırsa da bu çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan farklı kılan önemli bir kriter haline gelmiştir.

Çalışma, ilgili firmadaki tek bir bölümün kaynak yöneticisi gözünden yapılmıştır. Personellerin projeye uyumu ve kendi aralarındaki uyumları da göz önünde bulundurularak yapılan çalışma kapsamında geliştirilen model aynı zamanda bölümün yetkinliğine de karar vermektedir. Mevcut personelin tüm projeler için yeterli olmadığı durumlarda daha fazla fayda sağlanabilecek projelere ilgili personeller aktarılmakta ve bazı projelere işçilik atanmamasının daha faydalı olacağı ve bölüm yetkinliklerine daha uygun olacağı sonucu çıkabilmektedir.

Problem NP-zor bir problem olup çok sayıda personelin çalıştığı bölümlerde verimli kullanılabilmesi için sezgisel bir çalışmayla entegre edilmesi gerekecektir. Gelecek çalışmalarda entegre edilecek sezgisel çalışma ile birlikte çalışmanın kapsamı genişletilerek firmadaki tüm bölümlerdeki personellerin ilgili projelere otomatik çizelgelenmesinin sağlanabileceği bir yazılım geliştirilebileceği değerlendirilmektedir. Mevcut çalışmada tek bir bölümün personelleri arasındaki uyum değerlendirmeye dahil edilmiştir. Firmadaki tüm personelin dahil olacağı bir çalışmada bölümler arasındaki ilişkiler de belirleyici olabilecektir.

KAYNAKÇA

Albertsen, K., Rafnsdóttir, G. L., Grimsmo, A., Tómasson, K., & Kauppinen, K. (2008). Workhours and worklife balance. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 34(5), 14.

Alwadood, Z., Noor, N. M., & Mainor, N. A. (2021). An optimization model for hotel housekeeping personnel scheduling in pandemic outbreak. *Menemui Matematik (Discovering Mathematics)*, 43(2), 83-92.

Bailey, J., & Field, J. (1985). Personnel scheduling with flexshift models. *Journal of operations management*, 5(3), 327-338.

Brucker, P., Qu, R., & Burke, E. (2011). Personnel scheduling: Models and complexity. *European Journal of Operational Research*, 210(3), 467-473.

Brusco, M. J., & Johnss, T. R. (1995). Improving the dispersion of surplus labor in personnel scheduling solutions. *Computers & industrial engineering*, 28(4), 745-754.

"Certa, Antonella, Mario Enea, Giacomo Galante, and Concetta Manuela La Fata. 2009. "Multi-objective Human Resources Allocation in R&D Projects Planning." *International Journal of Production Research* 47 (13): 3503–3523."

Chen, J. C., Chen, Y. Y., Chen, T. L., & Lin, Y. H. (2022). Multi-Project Scheduling with Multi-Skilled Workforce Assignment Considering Uncertainty and Learning Effect for Large-Scale Equipment Manufacturer. *Computers & Industrial Engineering*, 108240.

Chen, R., Liang, C., Gu, D., & Leung, J. Y. (2017). A multi-objective model for multi-project scheduling and multi-skilled staff assignment for IT product

development considering competency evolution. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6207-6234.

De Causmaecker, P., Demeester, P., Berghe, G. V., & Verbeke, B. (2004, August). Analysis of real-world personnel scheduling problems. In *Proceedings of the 5th international conference on practice and theory of automated timetabling*, Pittsburgh (pp. 183-197).

Eitzen, G., Panton, D., & Mills, G. (2004). Multi-skilled workforce optimisation. *Annals of Operations Research*, 127(1), 359-372.

Elahipanah, M., Desaulniers, G., & Lacasse-Guay, È. (2013). A two-phase mathematical-programming heuristic for flexible assignment of activities and tasks to work shifts. *Journal of Scheduling*, 16(5), 443-460.

Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European journal of operational research*, 153(1), 3-27.

Farahani, A., Farahani, H., Farahani, G., & Mousavi, S. (2022, September). Flexible personnel scheduling in large multi-product unpaced asynchronous assembly lines. In *2022 27th International Conference on Automation and Computing (ICAC)* (pp. 1-6). IEEE.

Fargetta, G., & Scrimali, L. (2022). A Multi-stage Integer Linear Programming Problem for Personnel and Patient Scheduling for a Therapy Centre. In *ICORES* (pp. 354-361).

Felberbauer, T., Gutjahr, W. J., & Doerner, K. F. (2019). Stochastic project management: multiple projects with multi-skilled human resources. *Journal of Scheduling*, 22, 271-288.

Gutjahr, W. J., Katzensteiner, S., Reiter, P., Stummer, C., & Denk, M. (2008). Competence-driven project portfolio selection, scheduling and staff assignment. *Central European Journal of Operations Research*, 16(3), 281-306.

Hansen, Å. M., Nabe-Nielsen, K., Albertsen, K., Hogh, A., Lund, H., Hvid, H., & Garde, A. H. (2015). Self-rostering and psychosocial work factors—A mixed methods intervention study. *Applied Ergonomics*, 47, 203-210.

Hao, G., Lai, K. K., & Tan, M. (2004). A neural network application in personnel scheduling. *Annals of Operations Research*, 128(1), 65-90.

Harjunkoski, I., Maravelias, C. T., Bongers, P., Castro, P. M., Engell, S., Grossmann, I. E., ... & Wassick, J. (2014). Scope for industrial applications of production scheduling models and solution methods. *Computers & Chemical Engineering*, 62, 161-193.

Haroune, M., Dhib, C., Neron, E., Soukhal, A., Mohamed Babou, H., & Nanne, M. F. (2022). Multi-project scheduling problem under shared multi-skill resource constraints. *TOP*, 1-42.

Hassani, R., Desaulniers, G., & Elhallaoui, I. (2020). Real-time personnel re-scheduling after a minor disruption in the retail industry. *Computers & Operations Research*, 120, 104952.

Heimerl, C., & Kolisch, R. (2010). Work assignment to and qualification of multi-skilled human resources under knowledge depreciation and company skill level targets. *International Journal of Production Research*, 48(13), 3759-3781.

Jaumard, B., Semet, F., & Vovor, T. (1998). A generalized linear programming model for nurse scheduling. *European journal of operational research*, 107(1), 1-18.

Kaluzny, B. L., & Hill, A. (2011). Scheduling security personnel for the Vancouver 2010 winter Olympic games. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 49(3), 221-231.

Koning, C. (2014). Does self-scheduling increase nurses' job satisfaction? An integrative literature review.

Lei, L., Pinedo, M., Qi, L., Wang, S., & Yang, J. (2015). Personnel scheduling and supplies provisioning in emergency relief operations. *Annals of Operations Research*, 235(1), 487-515.

Mac-Vicar, M., Ferrer, J. C., Muñoz, J. C., & Henao, C. A. (2017). Real-time recovering strategies on personnel scheduling in the retail industry. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 589-601.

Maghsoudlou, H., Afshar-Nadjafi, B., & Niaki, S. T. A. (2019). Preemptive multi-skilled resource constrained project scheduling problem with hard/soft interval due dates. *RAIRO-Operations Research*, 53(5), 1877-1898.

Miller, H. E. (1976). Personnel scheduling in public systems: a survey. *Socio-economic planning sciences*, 10(6), 241-249.

Morris, J. G., & Showalter, M. J. (1983). Simple approaches to shift, days-off and tour scheduling problems. *Management Science*, 29(8), 942-950.

Orpen, C. (1971). The fakability of the Edwards Personal Preference schedule in personnel selection. *Personnel Psychology*.

Panton, D. M. (1991). On the creation of multiple shift continuous operation cyclic rosters under general workforce conditions. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 8(2), 189-201.

Pinedo, M. L. (2012). *Scheduling* (Vol. 29). New York: Springer.

Sabar, M., Montreuil, B., & Frayret, J. M. (2008). Competency and preference based personnel scheduling in large assembly lines. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(4), 468-479.

Snauwaert, J., & Vanhoucke, M. (2021). A new algorithm for resource-constrained project scheduling with breadth and depth of skills. *European Journal of Operational Research*, 292(1), 43-59.

Snauwaert, J., & Vanhoucke, M. (2022). Mathematical formulations for project scheduling problems with categorical and hierarchical skills. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108147.

Talarico, L., & Duque, P. A. M. (2015). An optimization algorithm for the workforce management in a retail chain. *Computers & Industrial Engineering*, 82, 65-77.

Thompson, G. M. (1995). Improved implicit optimal modeling of the labor shift scheduling problem. *Management Science*, 41(4), 595-607.

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2022, 25 Ekim). 2023 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı. Erişim adresi <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/11/2023-Yili-Cumhurbaskanligi-Yillik-Programi.pdf>

Van Den Berg, Y., & Panton, D. M. (1994). Personnel shift assignment: existence conditions and network models. *Networks*, 24(7), 385-394.

Van den Bergh, J., De Bruecker, P., Beliën, J., De Boeck, L., & Demeulemeester, E. (2013). A three-stage approach for aircraft line

maintenance personnel rostering using MIP, discrete event simulation and DEA. *Expert Systems with Applications*, 40(7), 2659-2668.

Van Den Eeckhout, M., Vanhoucke, M., & Maenhout, B. (2021). A column generation-based diving heuristic to solve the multi-project personnel staffing problem with calendar constraints and resource sharing. *Computers & Operations Research*, 128, 105163.

van Veldhoven, S., Post, G., van der Veen, E., & Curtois, T. (2016). An assessment of a days off decomposition approach to personnel shift scheduling. *Annals of operations research*, 239(1), 207-223.

Wang, M., Liu, G., & Lin, X. (2022). Dynamic Optimization of the Multi-Skilled Resource-Constrained Project Scheduling Problem with Uncertainty in Resource Availability. *Mathematics*, 10(17), 3070.

Wu, M. C., & Sun, S. H. (2006). A project scheduling and staff assignment model considering learning effect. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(11), 1190-1195.

Wynendaele, H., Gemmel, P., Pattyn, E., Myny, D., & Trybou, J. (2021). Systematic review: What is the impact of self-scheduling on the patient, nurse and organization?. *Journal of Advanced Nursing*, 77(1), 47-82.

EK 1. TEZ KAPSAMINDA ÖNERİLEN MODELİN KODU

```
from gurobipy import*
from SolverStudio import*
ozge = Model()

x={}
for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        x[n,m,t,p]=ozge.addVar(vtype="c")

w={}
for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        w[n,m,t,p]=ozge.addVar(vtype="b")

e={}
for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        e[n,m,t,p]=ozge.addVar(vtype="c")

z={}
for n,t in NT_tuple:
    for p in Proje:
        z[n,t,p]=ozge.addVar(vtype="b")

y={}
for p in Proje:
    y[p]=ozge.addVar(vtype="b")
ozge.update()
```

```

ozge.setObjective(quicksum(u_ccpu[n,m,p]*x[n,m,t,p] for n,m in NM_tuple for t,p in
TP_tuple)+
    quicksum(u_ccpu[n,m,p]*e[n,m,t,p]*EU_EkKatki for n,m in NM_tuple for t,p in
TP_tuple), GRB.MAXIMIZE)
for p in Proje:
    ozge.addConstr(y[p]*YK_bigm >= quicksum(w[n,m,t,p] for n,m in NM_tuple for t in
Time))
for p in Proje:
    ozge.addConstr(y[p] <= quicksum(w[n,m,t,p]*YK_bigm for n,m in NM_tuple for t in
Time))
for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        ozge.addConstr(x[n,m,t,p]<=w[n,m,t,p]*F_makssaat)
for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        ozge.addConstr(x[n,m,t,p]>=w[n,m,t,p])

for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        if n!=m:
            ozge.addConstr(x[n,m,t,p]<=x[m,m,t,p])

for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        if n!=m:
            ozge.addConstr(x[n,m,t,p]<=x[n,n,t,p])

for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        ozge.addConstr(x[n,m,t,p]<=x[n,n,t,p])
for t,p in TP_tuple:
    ozge.addConstr(quicksum(x[n,n,t,p] for n in Personel)==PA_gereklizaman[p,t]*y[p])

```

for n in Personel:

for t in Time:

ozge.addConstr(quicksum(w[n,n,t,p] for p in Proje) <= MP_maksc[n])

for n in Personel:

for t in Time:

ozge.addConstr(quicksum(x[n,n,t,p] for p in Proje) <= PZ_maksmesai[n,t])

for n in Personel:

for t,p in TP_tuple:

ozge.addConstr(x[n,n,t,p] >= (PA_gereklizaman[p,t]*PK_kritik[n,p])*TK_altlimit)

for n in Personel:

for t,p in TP_tuple:

ozge.addConstr(x[n,n,t,p] >= (PZ_maksmesai[n,t]*w[n,n,t,p])*D_altlimit)

for n in Personel:

for t,p in TP_tuple:

if t > 1:

ozge.addConstr(w[n,n,t,p] >= w[n,n,t-1,p]*(PA_gereklizaman[p,t]/BigM))

for n,m in NM_tuple:

for t,p in TP_tuple:

ozge.addConstr(e[n,m,t,p] <= x[n,m,t,p])

for n,m in NM_tuple:

for t,p in TP_tuple:

ozge.addConstr(e[n,m,t,p] <= z[n,t,p]*PA_gereklizaman[p,t]*BigM)

for n in Personel:

for t,p in TP_tuple:

```

ozge.addConstr(z[n,t,p]<=x[n,n,t,p])

for t,p in TP_tuple:
    ozge.addConstr(quicksum(z[n,t,p] for n in Personel) <= B_eb[p])
for n in Personel:
    for t,p in TP_tuple:
        if t>1:
            ozge.addConstr(z[n,t,p]>=z[n,t-1,p])

ozge.optimize()
for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        X_cont[n,m,t,p]=x[n,m,t,p].x
for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        W_bin[n,m,t,p]=w[n,m,t,p].x

for n,m in NM_tuple:
    for t,p in TP_tuple:
        E_cont[n,m,t,p]=e[n,m,t,p].x
for n,t in NT_tuple:
    for p in Proje:
        Z_bin[n,t,p]= z[n,t,p].x
for p in Proje:
    Y_bin[p]= y[p].x

total_fayda=ozge.objVal

```

EK 2. TOPLAM FAYDA TABLOSU

Personel	Personel/ Proje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1.78	1.76	1.13	1.69	0.78	1.25	1.68	0.72	1.65	0.98
1	2	1.70	2.82	1.84	2.95	1.80	1.47	2.14	1.61	3.20	1.53
1	3	3.11	2.42	1.52	2.34	1.66	1.96	3.08	1.22	2.44	1.28
1	4	1.59	1.70	1.41	1.09	1.01	1.17	1.41	0.85	1.80	1.46
1	5	1.46	1.45	0.92	1.36	1.22	1.56	1.15	0.77	1.02	1.02
1	6	0.76	0.75	0.59	1.09	0.81	0.84	0.74	0.71	1.17	0.83
1	7	1.46	2.01	1.58	2.00	0.94	1.87	1.73	1.34	1.60	1.39
1	8	1.51	1.67	1.41	1.44	1.21	1.25	1.74	1.36	1.40	1.32
1	9	1.18	1.40	1.04	1.59	0.97	1.02	1.28	0.77	1.27	1.21
1	10	1.95	1.88	1.43	1.66	1.03	1.38	1.76	1.28	1.93	1.50
2	1	1.70	2.82	1.84	2.95	1.80	1.47	2.14	1.61	3.20	1.53
2	2	0.53	1.46	0.97	1.66	1.35	0.56	0.88	1.17	2.00	0.78
2	3	1.08	1.41	0.90	1.47	1.39	0.84	1.42	0.99	1.71	0.73
2	4	1.86	3.32	2.80	2.32	2.85	1.67	2.19	2.31	4.25	2.79
2	5	0.94	1.56	1.02	1.59	1.90	1.23	0.99	1.16	1.32	1.08
2	6	0.09	0.15	0.12	0.24	0.24	0.12	0.12	0.20	0.29	0.16
2	7	0.47	1.09	0.88	1.18	0.73	0.74	0.74	1.02	1.05	0.74
2	8	0.39	0.72	0.62	0.68	0.76	0.40	0.60	0.82	0.73	0.56
2	9	0.75	1.49	1.13	1.84	1.50	0.80	1.08	1.15	1.64	1.27
2	10	0.45	0.73	0.57	0.70	0.58	0.39	0.54	0.70	0.90	0.57
3	1	3.11	2.42	1.52	2.34	1.66	1.96	3.08	1.22	2.44	1.28
3	2	1.08	1.41	0.90	1.47	1.39	0.84	1.42	0.99	1.71	0.73
3	3	1.76	1.08	0.66	1.04	1.14	0.99	1.83	0.67	1.17	0.55
3	4	1.22	1.02	0.83	0.66	0.94	0.80	1.13	0.63	1.16	0.84
3	5	1.06	0.82	0.51	0.77	1.08	1.01	0.88	0.54	0.62	0.56
3	6	0.40	0.31	0.24	0.45	0.52	0.39	0.41	0.36	0.52	0.33
3	7	1.52	1.63	1.26	1.63	1.18	1.73	1.88	1.35	1.41	1.08
3	8	0.45	0.40	0.33	0.34	0.44	0.34	0.55	0.40	0.36	0.30
3	9	0.26	0.24	0.17	0.28	0.26	0.20	0.29	0.16	0.24	0.20
3	10	2.42	1.84	1.37	1.63	1.57	1.54	2.30	1.55	2.03	1.40
4	1	1.59	1.70	1.41	1.09	1.01	1.17	1.41	0.85	1.80	1.46
4	2	1.86	3.32	2.80	2.32	2.85	1.67	2.19	2.31	4.25	2.79
4	3	1.22	1.02	0.83	0.66	0.94	0.80	1.13	0.63	1.16	0.84
4	4	1.14	1.31	1.40	0.56	1.05	0.86	0.95	0.80	1.57	1.74
4	5	1.13	1.20	0.99	0.75	1.37	1.25	0.84	0.78	0.96	1.32
4	6	0.50	0.54	0.55	0.52	0.78	0.58	0.46	0.62	0.95	0.92
4	7	1.05	1.54	1.57	1.03	0.97	1.39	1.16	1.26	1.39	1.65
4	8	1.43	1.71	1.86	0.98	1.67	1.23	1.55	1.69	1.61	2.09
4	9	0.83	1.06	1.02	0.81	1.00	0.75	0.85	0.72	1.09	1.43
4	10	0.99	1.04	1.02	0.61	0.77	0.73	0.84	0.86	1.20	1.27
5	1	1.46	1.45	0.92	1.36	1.22	1.56	1.15	0.77	1.02	1.02
5	2	0.94	1.56	1.02	1.59	1.90	1.23	0.99	1.16	1.32	1.08
5	3	1.06	0.82	0.51	0.77	1.08	1.01	0.88	0.54	0.62	0.56
5	4	1.13	1.20	0.99	0.75	1.37	1.25	0.84	0.78	0.96	1.32
5	5	0.99	0.98	0.63	0.90	1.59	1.60	0.66	0.68	0.52	0.89
5	6	2.04	2.03	1.60	2.87	4.16	3.42	1.67	2.50	2.37	2.84
5	7	0.71	0.97	0.77	0.94	0.87	1.37	0.70	0.85	0.58	0.86
5	8	0.47	0.53	0.44	0.44	0.73	0.59	0.46	0.56	0.33	0.53
5	9	0.67	0.79	0.59	0.88	1.06	0.88	0.61	0.57	0.55	0.88
5	10	0.80	0.77	0.59	0.67	0.81	0.86	0.61	0.69	0.60	0.78

6	1	0.76	0.75	0.59	1.09	0.81	0.84	0.74	0.71	1.17	0.83
6	2	0.09	0.15	0.12	0.24	0.24	0.12	0.12	0.20	0.29	0.16
6	3	0.40	0.31	0.24	0.45	0.52	0.39	0.41	0.36	0.52	0.33
6	4	0.50	0.54	0.55	0.52	0.78	0.58	0.46	0.62	0.95	0.92
6	5	2.04	2.03	1.60	2.87	4.16	3.42	1.67	2.50	2.37	2.84
6	6	0.62	0.62	0.61	1.36	1.62	1.08	0.63	1.35	1.60	1.35
6	7	0.39	0.53	0.52	0.80	0.60	0.77	0.47	0.82	0.70	0.73
6	8	0.57	0.64	0.67	0.83	1.13	0.75	0.69	1.20	0.89	1.00
6	9	0.05	0.06	0.05	0.10	0.10	0.06	0.05	0.07	0.09	0.10
6	10	0.72	0.70	0.66	0.93	0.93	0.80	0.67	1.10	1.19	1.10
7	1	1.46	2.01	1.58	2.00	0.94	1.87	1.73	1.34	1.60	1.39
7	2	0.47	1.09	0.88	1.18	0.73	0.74	0.74	1.02	1.05	0.74
7	3	1.52	1.63	1.26	1.63	1.18	1.73	1.88	1.35	1.41	1.08
7	4	1.05	1.54	1.57	1.03	0.97	1.39	1.16	1.26	1.39	1.65
7	5	0.71	0.97	0.77	0.94	0.87	1.37	0.70	0.85	0.58	0.86
7	6	0.39	0.53	0.52	0.80	0.60	0.77	0.47	0.82	0.70	0.73
7	7	0.55	1.05	1.02	1.07	0.51	1.27	0.81	1.15	0.71	0.90
7	8	0.89	1.37	1.43	1.22	1.05	1.34	1.29	1.83	0.98	1.35
7	9	0.70	1.15	1.05	1.35	0.84	1.10	0.95	1.04	0.89	1.24
7	10	0.98	1.31	1.23	1.19	0.76	1.25	1.10	1.46	1.14	1.29
8	1	1.51	1.67	1.41	1.44	1.21	1.25	1.74	1.36	1.40	1.32
8	2	0.39	0.72	0.62	0.68	0.76	0.40	0.60	0.82	0.73	0.56
8	3	0.45	0.40	0.33	0.34	0.44	0.34	0.55	0.40	0.36	0.30
8	4	1.43	1.71	1.86	0.98	1.67	1.23	1.55	1.69	1.61	2.09
8	5	0.47	0.53	0.44	0.44	0.73	0.59	0.46	0.56	0.33	0.53
8	6	0.57	0.64	0.67	0.83	1.13	0.75	0.69	1.20	0.89	1.00
8	7	0.89	1.37	1.43	1.22	1.05	1.34	1.29	1.83	0.98	1.35
8	8	0.55	0.69	0.77	0.53	0.82	0.54	0.78	1.11	0.51	0.77
8	9	1.56	2.07	2.03	2.11	2.37	1.59	2.07	2.28	1.68	2.56
8	10	0.14	0.15	0.15	0.12	0.13	0.11	0.15	0.20	0.13	0.17
9	1	1.18	1.40	1.04	1.59	0.97	1.02	1.28	0.77	1.27	1.21
9	2	0.75	1.49	1.13	1.84	1.50	0.80	1.08	1.15	1.64	1.27
9	3	0.26	0.24	0.17	0.28	0.26	0.20	0.29	0.16	0.24	0.20
9	4	0.83	1.06	1.02	0.81	1.00	0.75	0.85	0.72	1.09	1.43
9	5	0.67	0.79	0.59	0.88	1.06	0.88	0.61	0.57	0.55	0.88
9	6	0.05	0.06	0.05	0.10	0.10	0.06	0.05	0.07	0.09	0.10
9	7	0.70	1.15	1.05	1.35	0.84	1.10	0.95	1.04	0.89	1.24
9	8	1.56	2.07	2.03	2.11	2.37	1.59	2.07	2.28	1.68	2.56
9	9	0.56	0.80	0.69	1.08	0.87	0.60	0.70	0.60	0.71	1.08
9	10	0.96	1.11	0.98	1.16	0.96	0.83	1.00	1.02	1.11	1.38
10	1	1.95	1.88	1.43	1.66	1.03	1.38	1.76	1.28	1.93	1.50
10	2	0.45	0.73	0.57	0.70	0.58	0.39	0.54	0.70	0.90	0.57
10	3	2.42	1.84	1.37	1.63	1.57	1.54	2.30	1.55	2.03	1.40
10	4	0.99	1.04	1.02	0.61	0.77	0.73	0.84	0.86	1.20	1.27
10	5	0.80	0.77	0.59	0.67	0.81	0.86	0.61	0.69	0.60	0.78
10	6	0.72	0.70	0.66	0.93	0.93	0.80	0.67	1.10	1.19	1.10
10	7	0.98	1.31	1.23	1.19	0.76	1.25	1.10	1.46	1.14	1.29
10	8	0.14	0.15	0.15	0.12	0.13	0.11	0.15	0.20	0.13	0.17
10	9	0.96	1.11	0.98	1.16	0.96	0.83	1.00	1.02	1.11	1.38
10	10	0.83	0.79	0.71	0.64	0.54	0.59	0.72	0.90	0.88	0.90



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 10/02/2023

Tez Başlığı : Proje Bazlı Personel Çizelgeleme İçin Matematiksel Model Önerisi: Savunma Sanayi Uygulaması

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 73 sayfalık kısmına ilişkin, 10/02/2023 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç
- Kaynakça hariç
- Alıntılar hariç
- Alıntılar dâhil
- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Özge ELCAN AĞARTAN

Öğrenci No: 19135913

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Doç. Dr. Kazım Barış ATICI



**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
MASTER'S THESIS ORIGINALITY REPORT**

**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
BUSINESS ADMINISTRATION DEPARTMENT**

Date: 10/02/2023

Thesis Title : Mathematical Model Suggestion for Project Based Personnel Scheduling: Defense Industry Application

According to the originality report obtained by myself/my thesis advisor by using the Turnitin plagiarism detection software and by applying the filtering options checked below on 10/02/2023 for the total of 73 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, and d) Conclusion sections of my thesis entitled as above, the similarity index of my thesis is 4 %.

Filtering options applied:

- Approval and Declaration sections excluded
- Bibliography/Works Cited excluded
- Quotes excluded
- Quotes included
- Match size up to 5 words excluded

I declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Social Sciences Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports; that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

I respectfully submit this for approval.

Date and Signature

Name Surname: Özge ELCAN AĞARTAN

Student No: 19135913

Department: Business Administration

Program: Production Management and Quantitative Methods

ADVISOR APPROVAL

APPROVED.

Assoc. Prof. Dr. Kazım Barış ATICI



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: .../.../.....

Tez Başlığı: Proje Bazlı Personel Çizelgeleme İçin Matematiksel Model Önerisi: Savunma Sanayi Uygulaması

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:

1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır,
2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir.
3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir.
4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, mülakat, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir.

Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullar ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kurul/Komisyon'dan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Özge ELCAN AĞARTAN

Öğrenci No: 19135913

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

Statüsü: Yüksek Lisans Doktora Bütünleşik Doktora

DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI

Doç. Dr. Kazım Barış ATICI

Detaylı Bilgi: <http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr>

Telefon: 0-312-2976860

Faks: 0-3122992147

E-posta: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr



**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
ETHICS COMMISSION FORM FOR THESIS**

**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
BUSINESS ADMINISTRATION DEPARTMENT**

Date: .../.../.....

Thesis Title: Mathematical Model Suggestion for Project Based Personnel Scheduling: Defense Industry Application

My thesis work related to the title above:

6. Does not perform experimentation on animals or people.
7. Does not necessitate the use of biological material (blood, urine, biological fluids and samples, etc.).
8. Does not involve any interference of the body's integrity.
9. Is not based on observational and descriptive research (survey, interview, measures/scales, data scanning, system-model development).

I declare, I have carefully read Hacettepe University's Ethics Regulations and the Commission's Guidelines, and in order to proceed with my thesis according to these regulations I do not have to get permission from the Ethics Board/Commission for anything; in any infringement of the regulations I accept all legal responsibility and I declare that all the information I have provided is true.

I respectfully submit this for approval.

Date and Signature

Name Surname: Özge ELCAN AĞARTAN

Student No: 19135913

Department: Business Administration

Program: Production Management and Quantitative Methods

Status: MA Ph.D. Combined MA/ Ph.D.

ADVISER COMMENTS AND APPROVAL

Assoc. Prof. Dr. Kazım Barış ATICI