



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



EŞİT BÖLÜMLEME (EP) PROBLEMİ
YAKLAŞIMI İLE PROJE BAZLI ÇALIŞMA
KAPSAMINDA GÖREV VE BİREYLERİN
GRUPLANDIRILMASI

Hakan ERDEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hakan ERDEŞ

Tarih: 08/07/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EŞİT BÖLÜMLEME (EP) PROBLEMİ YAKLAŞIMI İLE PROJE BAZLI ÇALIŞMA KAPSAMINDA GÖREV VE BİREYLERİN GRUPLANDIRILMASI

Hakan ERDEŞ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ahmet PEKER

2021, 75 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Ahmet PEKER
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN
Dr. Öğr. Üyesi Alper DÖYEN**

Öğrenci ya da çalışanlar için çalışma gruplarının oluşturulması problemi günümüzde sıklıkla üzerinde çalışılan bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu gruplandırma aşaması, öğrencilerde proje ödevi, ders içerikleri ve belirli özelliklere göre şekillenebilirken, çalışanlarda ise belirli görevler, iş tanımı, uzmanlık ve proje çalışması gibi kavramlara göre şekillenebilmektedir. Bu tez çalışması ise, proje bazlı çalışma gerçekleştirecek herhangi bir firma için bireylerin ve proje kapsamındaki görevlerin ilgili takımlara atanmasını konu almaktadır. Çıkış noktası Eşit Bölümleme Problemi olan yöntem kapsamında, bireylerin takımlara atanmasında takımların belli başlı özellikler açısından birbiri ile olabildiğince eşit ya da yakın olması hedeflenirken, görevlerin takımlara atanmasında ise iş yükü dengesi kurulması ve insan kaynağının olabilecek en iyi şekilde kullanılması hedeflenmiştir. Takımların birbirine eşit ya da olabildiğince yakın olması ile takımların performanslarının artışı, rekabet ortamının oluşması ve bireylerin birbirlerine değer katabilecekleri alanların olabildiğince artırılması amaçlanırken, iş yükü dengesi ve insan kaynağının göz önünde bulundurulması ile de çalışan memnuniyetinin olabildiğince yüksek tutulması amaçlanmıştır. Bu nedenle 3 farklı hedef göz önüne alınarak farklı Hedef Programlama modelleri önerilmiştir. Önerilen modeller, hedeflerin bir veya birden fazla amaç fonksiyonu şeklinde formüle edilmesiyle birbirlerinden farklılaşmaktadır. Bu modellerin etkinliği ve kullanım alanları farklı büyüklükteki örnek problemlerin çözümüyle ortaya konulmuştur. Modellerin çözüm süreleri ve çözüm kaliteleri analiz edildiğinde, taktiksel kararlar için çoğunlukla tek amaç fonksiyonlu, operasyonel kararlar için ise çoğunlukla birden fazla amaç fonksiyonlu modellerin daha başarılı oldukları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Eşit Bölümleme, Proje Bazlı Çalışma, Takım Performansı

ABSTRACT

MS THESIS

GROUPING TASKS AND INDIVIDUALS IN THE SCOPE OF PROJECT-BASED WORK WITH THE EQUITABLE PARTITIONING (EP) PROBLEM APPROACH

Hakan ERDEŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Industrial Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ahmet PEKER

2021, 75 Pages

Jury

Prof. Dr. Ahmet PEKER

Asst. Prof. Dr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

Asst. Prof. Dr. Üyesi Alper DÖYEN

The problem of creating working groups for students or employees is a problem that is frequently studied nowadays. While this grouping phase can be shaped according to the project assignment, course contents and certain characteristics for the students, it can be shaped according to concepts such as specific tasks, job description, expertise of the employee and project work for the employees. This thesis study focuses on assigning individuals and tasks to the relevant teams within the scope of the project for any company that will perform project-based work. Within the scope of the method of which the starting point is the Equitable Partitioning Problem, it is aimed to create the groups as equal or close to each other in terms of certain characteristics in the process of assigning individuals to teams, while it is aimed to create the workload balance and to use the human resource in the best possible way in the process of assigning tasks to teams. Also, while it is aimed to increase the performance of the teams, to create a competitive environment and to increase the areas where individuals can add value to each other by forming the teams as equal or as close as possible, it is aimed to keep employee satisfaction as high as possible by considering the balance of workload and human resources. For this reason, different goal programming models have been proposed considering 3 different goals. The proposed models differ from each other in the way that the goals are formulated in a single or in more than one objective function. The effectiveness and usage areas of these models have been demonstrated by solving sample problems of different sizes. Analysis of the models in terms of running time and solution quality show that, the models with a single objective function are mostly successful for tactical decisions while the models with more than one objective function are successful for operational decisions in general.

Keywords: Equitable Partitioning, Project Based Work, Team Performance

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, literatürde “Equitable Partitioning Problem” olarak bilinen ve bu tez çalışmasında EP Problemi yaklaşımı olarak adlandırılan problem ve bireyler ile görevlerin takımlara atanması konusu üzerinde çalışılmıştır. Hem bireylerin hem de görevlerin bu yaklaşım kapsamında gruplandırılması bu çalışmanın özgün noktasını oluşturmaktadır.

Tez çalışmamda deneyim ve bilgilerimi benimle paylaşarak zamanını ayıran danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet PEKER’e, çalışmamın çıkış noktasındaki katkılarının yanı sıra çalışmam boyunca ilgisini eksik etmeyen, materyal ve yöntem noktasında bilgisi ile büyük destek veren Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN’a, çalışmamın deneysel kısımlarında tecrübesi ile önemli bir katkı veren Sayın Dr. Öğr. Üyesi Alper DÖYEN’e ve desteklerini asla esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hakan ERDEŞ
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Etkili Çalışma Grupları.....	5
2.2. Homojen, Dengeli ve Rekabetçi Gruplar.....	6
2.3. İşbirlikçi Öğrenme	7
2.4. Görevlerin Takımlara Atanması	8
2.5. Takım Oluşturma Problemi	9
2.6. Çeşitlilik.....	10
2.7. Proje Bazlı Çalışma	11
2.8. İş Yükü Dengeleme	11
2.9. Hedef Programlama	12
2.10. Sosyal Etkileşim	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Hedef Programlama	16
3.2. Eşit Bölümleme (EP) Problemi.....	16
3.3. EP Problemi Yaklaşımı ile Kişilerin Takımlara Atanması.....	18
3.4. EP Problemi Yaklaşımı ile Görevlerin Takımlara Atanması.....	20
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
4.1. Küçük Veri Seti ile Örnek Uygulama.....	26
4.2. Operasyonel Kararlar Dahilinde Örnek Uygulamalar	34
4.2.1. Toplam sapmanın minimize edilmesi	36
4.2.2. En büyük sapmanın minimize edilmesi	44
4.3. Taktiksel Kararlar Dahilinde Örnek Uygulamalar.....	51
4.4. Gerçek Dünya Verileri ile Uygulama	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
5.1 Sonuçlar	60
5.2 Öneriler	61
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

b	: Birey
n	: Birey sayısı
L	: Bir takımdaki erkek sayısı için alt limit
U	: Bir takımdaki erkek sayısı için üst limit
D_g	: g görevinin tamamlanma süresi
g	: Görev
d	: Görev sayısı
s	: Her bir takımda bulunacak birey sayısı
d2	: Her bir takıma atanan görev sayısı
P_{ij}	: i bireyinin j özelliği puanı
o	: Özellik
k	: Özellik sayısı
t	: Takım
m	: Takım sayısı
A	: Takımlara atanan görevlerin ortalama süresi
dp_{tj}	: t takımına ait j özelliğinin amaçtan pozitif sapma değeri
dn_{tj}	: t takımına ait j özelliğinin amaçtan negatif sapma değeri
$dp2_{tj}$: t takımına ait toplam görev süresinin amaçtan pozitif sapma değeri
$dn2_{tj}$: t takımına ait toplam görev süresinin amaçtan negatif sapma değeri
$dp3_{tj}$: t takımının j özelliği için ortalama puandan pozitif sapma değeri
$dn3_{tj}$: t takımının j özelliği için ortalama puandan negatif sapma değeri
S	: Süre

1. GİRİŞ

Proje bazlı çalışma ya da firma bünyesinde belirli işlere bağlı olarak belirli projeler üzerinde çalışma ve beraberinde getirdiği grup çalışması ve proje takımı oluşturma gibi alanlar, birçok çalışmanın ve yazarın ilgi odağı olmuştur. Proje bazlı çalışma, bir firmanın dönemselsel olarak gerçekleştirdiği ve dönemselsel olarak çalışanları bünyesinde bulundurduğu bir kavram olarak nitelendirilebilir. Belirli bir proje üzerinde çalışmak ise hemen hemen her firmanın bünyesinde bulundurabileceği bir kavram olarak görülmektedir. Her ikisindeki ortak nokta ise, belirli görevlere ve belirli bir iş yüküne sahip projelerin gerçekleştirilmesi adına çalışanları takımlar haline getirmeleri ile bunu etkili ve verimli bir şekilde yapmaları gerekliliğidir. Bu noktada ise ekip çalışmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Ekip çalışmasının bu denli önemli olması Water ve ark. (2007) tarafından da belirtildiği üzere, ekip halinde çalışmanın, küçük ve büyük operasyonlarda daha fazla yaratıcılığa, üretkenliğe, bağlılığa ve katılıma katkıda bulunması ve bu yüzden, bu açıdan bakıldığında takım performansının idari açıdan bir ilgi alanı olarak ele alınmasıdır.

Bu bağlamda ise proje bazlı ya da belirli projeler üzerinde çalışma yapılacak bir işletmede problem olabildiğince iyi tanımlanmalı, uygun kişiler uygun bir şekilde bir araya getirilerek olabildiğince yüksek performanslı takımlar oluşturulmalı, ilgili görevler uygun takımlara atanmalı ve bu esnada çalışanlar arası dengelerin korunması adına iş yükü de dengelenmelidir.

Bu tez çalışmasının çıkış noktası, tez çalışması kapsamındaki problemin tanımlanması ve çözüm önerilerinin geliştirilmesi ise Eşit Bölümleme Problemi olarak adlandırılan EP Problemi yaklaşımı temelinde ortaya çıkmıştır. Bu yüzden, ilerleyen kısımlarda EP Problemi yaklaşımı, iş yükünün dengelenmesi ve performansı yüksek takımların oluşturulması ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bu noktada belirtilmesi gerekir ki bu tez çalışmasının amacı, proje bazlı bir çalışma kapsamında performansı yüksek ve rekabetçi takımların oluşturulması ve iş yükü dengesi de göz önünde bulundurularak görevlerin takımlara atanmasıdır. Proje bazlı çalışma gruplarının oluşturulması ve görevlerin bu gruplara atanması gibi bir işlemin rastgele ya da deneme yanılma yolları ile değil, bilimsel bir metot ve yaklaşım doğrultusunda gerçekleştirilmesi ise bu tez çalışmasının önemini gösteren bir unsur olarak görülmektedir. Ayrıca, proje takımı oluşturmada bu yaklaşımın kullanılması, görevlerin takımlara atanması noktasında

iş yükü dengesinin sağlanması ve yine görevlerin takımlara atanması noktasında görevler için gerekli özelliklerin dikkate alınması ise çalışmanın özgün yanını oluşturmaktadır.

EP Problemi belirli bir dizi özellik grubu ile tanımlanan bir grup bireyin, bu özellikler açısından birbirine eşit ya da olabildiğince yakın bir şekilde birden fazla takıma ya da gruba ayrılması problemidir. Bu özelliği ile sınıflandırma probleminin tam tersi olduğu da söylenebilir (O'Brien ve Mingers, 1997). Standart sınıflandırma işlemlerinde takımların kendi bünyesinde barındırdığı bireyler birbirine özellikler açısından benzer iken bu durum EP problemi yaklaşımında takımların benzer olması şeklindedir. Bu da problemin çözümünde kullanılan verilere de bağlı olarak grup içerisinde belirli ölçüde çeşitliliği de sağlayabilmektedir.

Örneğin, bir grup bireyin a, b, c ve d özelliklerine sahip oldukları düşünülürse, standart sınıflandırma problemine göre bu bireyler takımlara atandığında bu takımlardan biri a özelliği, diğeri b özelliği, bir diğeri c özelliği ve sonuncusu da d özelliği açısından diğer takımlara göre üstünlük gösterir. EP problemindeki yaklaşımda ise bireyler takımlara öyle atanır ki tüm takımlar a, b, c ve d özellikleri açısından birbirine tam olarak eşit ya da olabildiğince yakın olurlar.

EP problemi yaklaşımında bireylerin takımlara atandığı gibi görevler de takımlara atanabilir. Örneğin, a, b, c ve d gibi özellikler açısından yeteneklerin gerekli olduğu görevler, tıpkı bireylerde olduğu gibi her bir takım için eşit zorlukta görevleri içerecek şekilde takımlara atanabilirler. Görevlerin belirli takımlara atanması noktasında ise görevlerin eşit ya da olabildiğince yakın zorlukta olmaları ve ayrıca iş yükünün dengelenmesi açısından görevlerin tamamlanabilme sürelerinin de dengeli olması önem arz etmektedir. Glaser ve ark. (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya göre ise iş yükü ile stres arasında ve stres ile de performans ve işten ayrılma arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Bu bağlamda iş yükünün olabildiğince eşit olarak dağılması çalışan motivasyonu ve performansı üzerinde önem arz etmektedir.

EP problemi yaklaşımı, bireylerin ve görevlerin takımlara atanması gibi sorunlara çözüm getirirken aynı zamanda öğrenci ve çalışanlar için daha etkili, performansı daha yüksek ve daha rekabetçi takımların oluşturulmasını da sağlayabilir. EP problemi yaklaşımı ile tüm özelliklerin tüm takımlarda eşit ya da olabildiğince yakın olması sağlanarak, rekabet ve takım içerisinde tüm özelliklerin de birbirini tamamlaması ile yüksek performans sağlanabilir ki Krass ve Ovchinnikov (2010) tarafından belirtildiği üzere dengeli olmayan takımlar diğer takımlara göre haksız avantaj ya da dezavantajlara

sahip olabilmektedirler. Dengeli takımların oluşturulması ile bu ekstra dezavantajlar ya da avantajlar ortadan kaldırılabilir.

Adams (2003) tarafından hazırlanan çalışmada anlatıldığı üzere, etkili bir şekilde kurulduğunda ve kullanıldığında takım çalışmasının üretkenlikte artışa, maliyetlerde düşüşe, çalışan katılımında artışa ve organizasyon yapısının iyileşmesine yol açtığı görülmüştür. Takım kavramının biraz daha genişletilmesi gerekirse, Hoegl (2005), takımları bir organizasyona bağlı, ortak bir görevde iş birliği yapan (ekip çalışması) iki veya daha fazla kişinin yer aldığı sosyal sistemler ve ortak bir göreve yönelik ortak çalışma sürecine sahip kişiler olarak tanımlamaktadır.

Bu tür bir çalışma esnasında üretkenlik, maliyet ve organizasyon yapısı gibi alanlar kapsamında bazı problemler ile karşılaşılmasının yanı sıra, farklı alanlar kapsamında farklı problemler ile de karşılaşılabilir. Örneğin, farklı disiplinlerden çalışanların bir proje ya da görevde yer alması yeni bir problem olarak karşımıza çıkabilir. Bu gibi durumlar için de uygulanabilecek yöntemler bulunmaktadır. Örneğin, Cohen ve Bailey (1997) 1990-1996 yılları arasında organizasyonlardaki takım ve grup rollerini ele alan çalışmaları irdemiş ve takımları 4 ana grupta toplamışlardır. Bunlar, çalışma takımları, paralel takımlar, proje takımları ve yönetim takımları olarak ayrılırken, proje takımlarını farklı disiplinlerden ve fonksiyonel birimlerden çekildiğini ifade etmişler ve bu sayede özel uzmanlığın projeye yansıtılabileceğini vurgulamışlardır. Dolayısıyla, bu durum takımların her bir farklı özellik açısından yeterli olmalarını sağlamıştır.

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında tekrar üzerinden durulacağı üzere, bu tür bir çalışmanın yapılması ve uygulanması sadece çalışanlar üzerinde olacak şekilde iş hayatında değil, aynı zamanda öğrenciler için de uygulanabilir. Örneğin, Saber ve Ghosh (2001) tarafından öğrencilerin akademik ana dallara, öğrenci tercihleri ve notları dikkate alınarak atamaları yapılmıştır. Buna bağlı olarak, performansı yüksek takımların oluşturulması, iş birliğinin sağlanması ve yükün dengelenmesi, öğrenci kapsamındaki grupların için de uygulanabilmektedir. Örneğin, Borges ve ark. (2009), yeni bir takım oluşturma metodu önermişler ve bu metot ile multidisipliner öğrencileri teknik bilgileri kapsamında takım içerisinde maksimum çeşitlilikte ve takımlar arasında ise maksimum homojenlikte atamayı amaçlamışlardır ve proje notlarından yola çıkarak daha fazla sayıda öğrenci ile daha iyi bir ekip çalışması deneyimine ulaşıldığını vurgulamışlardır.

Takımların genel performansı ile ilişkili bir diğer çalışma ise, Bergey ve King (2014) tarafından ele alınan ve “Takım Makinesi” adında karar destek aracı ile ilgili olan çalışmadır. Takım Makinesi, öğrencileri maksimum çeşitlilikte takımlar haline getirmeyi

sağlamakla beraber, kullanılması neticesinde öğrenci takımlarının dengeli olarak biçimlendirilmesi ve birbirine yakın sunum performanslarına sahip olması dikkat çekerken, aynı zamanda önemli ölçüde performans artışı da kaydedilmiştir.

Bu gibi yaklaşımların yanı sıra, proje çalışmalarında dengeli ve rekabetçi takımların oluşturulması bir diğer alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alandaki çalışmalardan biri ise Rubin ve Bai (2015) tarafından ele alınmış ve “Rekabet açısından dengeli takımlar oluşturmak” başlığı altında takımların birbirleri ile mümkün olduğunca benzer olabileceği şekilde bireylerin takımlara atanmasını amaçlamışlardır. Takımlar arasındaki benzerlik çeşitli nicel ve nitel özellik kullanılarak ölçülürken, karma tamsayılı programlama ve genetik algoritma kullanılmıştır.

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında ise ilk olarak literatür araştırmasına yer verilecek, sonrasında çalışma kapsamında materyal ve yöntemler sunularak düşük sayıda verilerden oluşan betimleyici bir örnek verilecektir. Sonrasında ise hem daha büyük veriler hem de gerçek dünya problemlerine daha uygun veriler ile gerçekleştirilen uygulama kısmı verilerek sonuçlar tartışılacaktır. Son olarak ise çalışmanın sonuçları ve ilerleyen aşamalarda nasıl geliştirilebileceği üzerinde durulacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırması kısmı, çalışmanın amaçlarını irdeleyecek doğrultuda başlık başlık ele alınmaktadır. Bunlardan ilki, etkili çalışma grupları olurken, ikincisi homojen, dengeli ve rekabetçi grupların oluşturulmasına yönelik literatür araştırmasını ele almaktadır. Takım çalışması neticesinde meydana gelen ve işbirlikçi öğrenme ile alakalı olan kısım, bir sonraki başlık olarak verilmiştir. Görevlerin takımlara ataması konusu ile devam eden literatür araştırmasına, literatürde Takım Oluşturma problemi olarak adlandırılan ve benzer amaçları içeren çalışmalar da eklenmiştir. Sonrasında, giriş kısmında belirtilen ve kullanılan veri doğrultusunda meydana gelen çeşitlilik kavramından bahsedilmiştir. Literatür araştırmasının sonlarına doğru çalışmanın ana unsurlarından olan proje bazlı çalışmaya yönelik çalışmalar irdelenirken, akabinde iş yükünün dengelenmesine de değinilmiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılacak olan matematiksel modelin temelini oluşturan Hedef Programlama ile literatür araştırması devam ederken, takımların oluşturulması ile yakından ilgili olan iletişim konusu kapsamında sosyal etkileşim başlığı ile literatür araştırması başlığı sonlandırılacaktır.

2.1. Etkili Çalışma Grupları

Bu tez çalışmasının ana unsurlarından biri olan etkili çalışma gruplarının oluşturulması kapsamında literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. İlk olarak belirtilmesi gerekir ki etkili çalışma gruplarının oluşturulmasında birçok faktör yer almaktadır. Bunlardan bazıları, takımdaki bireylerin birbirleri ile uyumu olurken, bir diğeri bireylerin atandıkları takımda gerekli görevleri yerine getirebiliyor olmalarıdır.

Askin ve Huang (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, karma tamsayılı hedef programlama modeli oluşturulmuş ve takım sinerjisi ile beraber bireysel iş uyumu gözetilmiş ve çalışanların hücrelere ataması gerçekleştirilmiştir. Tüm bunların yanı sıra, eğitim masraflarının da minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Castka ve ark. (2001) tarafından ele alınan ve yüksek performanslı takımların başarılı bir şekilde uygulanmasını etkileyen faktörleri ele alan çalışmada, faktörler sistem ve insan faktörleri olarak iki ana gruba ayrılmış ve bilgi ve yetenekler, bireysel ihtiyaçlar ve grup kültürü insan faktörleri olarak belirtilmiştir.

Fitzpatrick ve Askin (2005) tarafında hazırlanan çalışmada ise etkili takım oluşturma hususunda yalnızca teknik yeterliliklerin değil, aynı zamanda kişilerarası becerilerin de çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Proje takımı seçimine ve takımın oluşumuna yönelik bir diğer çalışma ise, Baykasoglu ve ark. (2007) tarafından ele alınmış, bu çalışmada projelere ait zaman ve bütçe kısıtları dikkate alınırken, takım üyeleri arasındaki insan ilişkileri de hesaba katılmıştır. Projeler için en uygun üyelerin en uygun gruplar dahilinde seçilmesinde bulanık optimizasyon modeli ve tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır.

Organizasyonlar dahilinde ele alınan etkili takım ve grupların oluşturulması konusu aynı zamanda öğrenciler için de sıkça ele alınmıştır. Örneğin, Fitzpatrick ve ark. (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, etkili öğrenci takımları geliştirecek matematiksel programlama modelleri üzerinde durulmuştur. Geliştirdikleri yöntemin ise endüstriyel bir ortama da kolayca taşınabileceğini belirtmişlerdir. Agrawal ve ark. (2014) ise, bu konuyla ilgili olarak öğrencilerin kazanımlarını ve ilerlemelerini maksimize edecek bir sistem ve formülasyon önermişlerdir.

2.2. Homojen, Dengeli ve Rekabetçi Gruplar

Bu çalışma kapsamındaki bir diğer kategori olarak ise homojen, dengeli ve birbiri ile rekabet edebilen grupların oluşturulması ele alınabilir. Örneğin, Desrosiers ve ark. (2005), değişken komşu arama algoritması kullanarak dengeli takım dizaynını sağlamışlardır. Bu noktada kullandıkları 2 yöntemden biri, takım ağırlık merkezleri ile niteliklerin hedef vektörü arasındaki ağırlıklı mesafelerin toplamını en aza indirmek iken, bir diğeri takım ağırlık merkezleri ile niteliklerin hedef vektörü arasındaki ağırlıklı mesafelerin maksimumunun minimize edilmesi olmuştur.

Van de Water ve Bukman (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, dengeli takımların oluşturulması için öncelikle belirli sayıda takım rolleri belirlenmekte ve bu doğrultuda takımlar oluşturulmaktadır. Ortaya koydukları model takımların ne kadar dengeli olduğunu gösterirken, bu sonuç yönetimin sonrası için nasıl bir düzenleme yapması gerektiği hakkında fikir de vermektedir.

Solow ve ark. (2020) tarafından ise dengeli takımların oluşturulması konusunda gelişmiş sezgisellerin sunulduğu bir çalışma ortaya koyulmuş ve Takım Dengeleme Problemi olarak adlandırılmıştır. Çalışmanın ana katkısı, önceki çalışmalardaki tam sayılı

değişkenlerin ve kısıtların sayılarının önemli ölçüde azaltılması olmuştur ve sonuç olarak önemli derecede dengeli takımlar oluşturulmuştur.

Bir diğer dengeli takım oluşturma çalışması, Cutshall ve ark. (2007) tarafından öğrenciler için ele alınmıştır. Öğrenciler ile oluşturulan takımların eşit derecede performans gösterebilecek bir fırsata sahip olmaları amaçlanmıştır. Bu yüzden takımların akademik ortalamasının ve fonksiyonel çeşitliliğin olabildiğince eşit ya da yakın olmasını sağlayacak tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir.

Öğrenciler için ele alınan bir diğer çalışma ise Yannibelli ve Amandi (2011) tarafından ele alınmıştır. Öğrenciler, akranları ile etkileşim yoluyla yeni beceri ve bilgiler kazanmalarını sağlayacak işbirlikçi görevler kapsamında takımlara ayrılmış ve bireysel öğrenmeleri desteklenmiştir. Çalışmalarında evrimsel algoritmayı kullanmışlardır.

Džamić ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, bu kez ağırlıkları bulunan özelliklere sahip öğrenciler gruplara atanmış ve tüm özelliklerin gruplar arasında eşit bir şekilde dağıtılması amaçlanmış ki buradaki asıl amaç grupların buldukları sınıfları iyi bir şekilde temsil edebilmesi olmuştur. Çalışmalarında modeli, modelde barındırdıkları karma tamsayılı doğrusal programlama formülasyonunu ve Değişken Komşu Arama Algoritmalarını paylaşmışlar ve aynı şekilde çözüm sonuçlarının değerlendirmelerini de vermişlerdir.

Öğrencilerin performanslarına yönelik takımların oluşturulması ile ilgili olarak Beheshtian-Ardekani ve Mahmood (1986) tarafından, Weitz ve Jelassi (1992) tarafından, Huxham ve Land (2000) tarafından, Meyer (2009) tarafından ve Hübscher (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar da incelenebilir.

2.3. İşbirlikçi Öğrenme

İkinci kategori olarak ele alınan homojen grupların oluşturulmasının önemli bir kazanımı ise işbirlikçi öğrenmeye katkı sağlamasıdır. Moreno ve ark. (2012)'nin çalışmalarında yer verdiği üzere, işbirlikçi öğrenme kısaca ortak bilgi çatısı altında bir grup içerisindeki bireysel çalışmaların sinerjisi olarak tanımlanabilir. Moreno ve ark. (2012) çalışmalarında grup içi heterojenliği ve gruplar arası homojenliği sağlayacak bir genetik algoritma yaklaşımını önermişler ve bu noktada bireylerin karakteristik özelliklerini kullanmışlardır.

Martin ve Paredes (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada bahsedildiği üzere, homojen grupların bazı spesifik görevlerde daha başarılı oldukları görülürken, geniş

yelpazeye sahip görevlerde ise heterojen grupların daha başarılı oldukları görülmektedir. Buna bağlı olarak ise Gogoulou ve ark. (2007) ise çalışmalarında işbirlikçi öğrenme sorunu için genetik algoritma geliştirerek hem homojen hem heterojen gruplar oluşturmayı sağlarken aynı zamanda kişilerin özelliklerinin bazıları homojen bazıları ise heterojen olacak şekilde karma gruplar da oluşturmuşlardır.

Fellers (1996) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise öğrenci bazlı olarak ele alınan işbirlikçi öğrenme yaklaşımında iletişim, karar verme ve liderlik gibi becerilere ihtiyaç duyulduğu, aynı zamanda bu becerilerin öğretildiği ve bunun yanı sıra bu becerilerin geliştirilebildiği de vurgulanmıştır.

Graf ve Bekele (2006) ise, işbirlikçi öğrenmeyi heterojen gruplar bazında ele alırken, karınca kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Gruplamalar öğrenciler arasında yapılırken, öğrencilerin kişisel davranışları ve performansları ele alınarak kurulan grupların heterojenliğinin maksimuma çıkarılması hedeflenmiştir.

İşbirlikçi takım oluşturma konusunun farklı yöntemler ile ele alındığı örnekleri incelemek için Cheatham ve Cleereman (2006), Wi ve ark. (2009), Abnar ve ark. (2012), Gajewar ve Sarma (2012) ile Pinninghoff ve ark. (2017) tarafından ortaya konan çalışmalar incelenebilir.

2.4. Görevlerin Takımlara Atanması

Literatür araştırmasının bir diğer kategorisi olan görevlerin takımlara atanması ise bu çalışmanın en önemli yapı taşlarından bir tanesidir. Birçok farklı çalışmada birçok çeşitte görevlerin çalışma gruplarına atanması ele alınmaktadır.

Bunlardan biri olan personel ya da çalışan yerleştirme problemi, bir nevi görevlerin uygun personellere ya da çalışanlara atanması olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alanın önemli örneklerinden olan ve Liang ve Wang (1992) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, belirli kriterler altında bir iş için en uygun personelin seçilmesi bulanık mantık ortamında gerçekleştirilmiş ve bu sayede çalışanlardan alınan verimin maksimize edilmesi amaçlanmıştır.

Yine benzer bir çalışma ise Yaakop ve Kawata (1999) tarafından ele alınmış ve ek bir değerlendirme olarak çalışanlar arasındaki ilişkilerin etkisi de dahil edilmiştir. Bulanık mantık ortamında gerçekleştirilen çalışmada herhangi bir iş için çalışanların belirli kriterler altında değerlendirmeleri yapılarak o işlere olan uyumlulukları hesaplanmış, daha sonrasında iş için gerekli kişi sayısını karşılayacak derecede kişiler

gruplandırılarak aralarındaki ilişkilere göre uyum puanları belirlemiş ve son olarak bu 2 puan toplanarak o iş için en uygun kişilere ilgili görev atanmıştır.

Bir diğer çalışma da Shen ve ark. (2002) tarafından ele alınan ve görevlerin gruplara atanmasında 3 kriterin değerlendirilmesini içeren çalışmadır. Bu çalışmada çalışanların kapasiteleri, çalışanların sosyal ilişkileri ve görevlerin ilişkileri değerlendirilmiş, bulanık mantıktan da yararlanılarak görevlerin çalışma gruplarına atanması sağlanmıştır.

Görevlerin takımlara ya da çalışanlara atanmasının yanı sıra farklı bir yaklaşım olarak çalışanların belli görevlere atanması da literatürde geniş bir yer kaplamaktadır ve bu tür bir tez çalışmasına da katkı sağlayabilmektedir. Huang ve ark. (2009) tarafından verilen tanıma göre, personel atama yaklaşımının amacı iş birliğine dayalı bir ekip oluşturmak ve pozisyonlar ile en iyi eşleşen adayları seçmektir.

2.5. Takım Oluşturma Problemi

Bir diğer kategori olarak ise, literatürde takım oluşturmaya yönelik olarak “Takım Oluşturma Problemi” ele alınmaktadır ve bu problem Li ve Shan (2010) tarafından kısaca, sadece verilen görevlerdeki gereksinimlerin yerine getirilmesi değil aynı zamanda birbirleri ile iyi iletişim de kurabilen çalışanların bir araya getirilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Takım Oluşturma Problemine farklı bir bakış açısı, Gutiérrez ve ark. (2016) tarafından getirilmiştir. Çalışmalarında takım oluşturma problemi olarak bilinen problemi çoklu takım oluşturma problemi adıyla ele almışlar ve birkaç beceri doğrultusunda kategorize edilmiş personelleri takıma ve projelere atayarak multidisipliner çalışan personellerin verimliliğini maksimize etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında değişken komşu arama ve yerel arama gibi algoritmalar kullanmışlardır.

Fathian ve ark. (2017) ise çalışmalarında belirli becerilere ve birbirleri ile iyi iş birliğine sahip uzmanlar ile takımların oluşturulması üzerine çalışmış ve uzmanların gerçekleştirilecek proje için oluşturulan takımlardan ayrılma olasılığını minimize eden yeni bir optimizasyon modeli sunmuşlardır.

Holmberg (2019), çalışmasında takım oluşturma problemi kapsamında öğrencileri gruplara ayıracak bir yaklaşım ele almış ve oluşturulan takımların özellikler açısından olabildiğince eşit ve önceki oluşturulan gruplardan da olabildiğince farklı olmasını

sağlamıştır. Karma tamsayı bir matematiksel model sunan yazar, gerçek dünya örneği boyutundaki örneklerin çözülememesine karşın meta sezgisel bir algoritma sunmuştur.

Rahmanniyay ve ark. (2019) ise, çalışmalarında daha öncesinde literatürde proje takımı oluşturma kapsamında bir arada çalışılmayan takım üyelerinin yetkinliğinin ve maliyetin ortak değerlendirilmeye alınması kavramlarını ele almışlardır. Maliyetin ve yetkinliğin optimal duruma getirilmesi adına genel ve çok amaçlı stokastik bir model önermişlerdir.

Takım oluşturma problemi ile ilgili olarak farklı yaklaşımların ve algoritmaların ele alındığı Kargar ve ark. (2012) tarafından, Bhowmik ve ark. (2014) tarafından, Wang ve Zhang (2015) tarafından ve Huang ve ark. (2017) tarafından ele alınan çalışmalar incelenebilir.

2.6. Çeşitlilik

Bir diğer alan olarak grup içerisindeki çeşitliliğin artırılmasının ise yine grup performansını olumlu yönde etkilediğini gösteren çalışmalar yer almaktadır ve literatürde geniş bir yer kaplamaktadır. Literatürdeki bu tür çalışmalardan biri “Maksimum Çeşitlilikte Gruplama Problemi (MDGP)” olarak adlandırılmaktadır ve grup içerisindeki çeşitliliğin temel amaç olduğu problemlerden bir tanesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Palubeckis ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, bu problem element ya da bireylerin belli sayıda gruplara eşit olacak şekilde atanması ve grupların olabildiğince çeşitli olmasının sağlanmasıdır. Bu çalışmalarında Tavlama Benzetimi, Melez Genetik Algoritma ve Değişken Komşu Arama Algoritması kullanılmıştır.

Maksimum Çeşitlilikte Gruplama Probleminin ele alındığı bir başka çalışmada ise Gallego ve ark. (2013) tarafından Tabu Araması kullanılmış ve bir diğer benzer çalışmada da Rodriguez ve ark. (2013) Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanılmıştır.

Bir diğer çalışmada ise Tabu Arama Algoritması kullanılmış ve Palubeckis ve ark. (2015) tarafından ortaya konmuştur.

Dias ve Borges (2017) bu problemi ele aldıkları çalışmalarında bu yaklaşıma ek olarak, tıpkı bu çalışmada olduğu gibi takımlar arasındaki benzerliğin de maksimum seviye çıkarılabileceği yeni bir formülasyon önermişlerdir.

MDGP ile ilgili farklı algoritmaların ve yaklaşımların kullanıldığı (Weitz ve Lakshminarayanan (1997) tarafından, Weitz ve Lakshminarayanan (1998) tarafından ve Baker ve Powell (2002) tarafından ele alınan çalışmalar da incelenebilir.

Bu alandaki çalışmaların da öğrenciler üzerine kurulu olan örnekleri vardır. Örneğin Wang ve ark. (2007) tarafından ele alınan çalışmada, başarılı küçük öğrenci takımları oluşturmak için heterojen gruplama sistemi kullanılmıştır. Çoklu ve sürekli değişkenler göz önünde bulundurulurken, aynı zamanda grupların aynı beceride olduğu gösterilmiştir.

Öğrenci temelli olarak ortaya konan diğer bir çalışma ise, Yeoh ve Nor (2009) tarafından gerçekleştirilen ve öğrencilerin genel not ortalamaları dikkate alınarak gruplandırıldığı, bu grupların not ortalamaları bakımından mümkün olduğunca yakın olmalarının sağlandığı, çeşitliliğin ise cinsiyet ile soy özelliklerinin ele alınması ile maksimize edilmesinin amaçlandığı çalışmadır. Bir diğer öğrenci bazlı çalışma ise Forrester ve Hutson (2014) tarafından ele alınmış ve bir önceki çalışmadan farklı olarak bu kez öğrencilerin tercihleri de dikkate alınırken yaş, cinsiyet ve not ortalaması gibi özellikler esas alınmıştır.

2.7. Proje Bazlı Çalışma

Proje bazlı çalışmanın literatürdeki yerine kısaca göz atmak gerekirse, ilk olarak uluslararası çalışan ve bünyesinde farklı kültürlerden insanlar bulunduran firmaların proje bazlı çalışma yapmalarının ya da belirli projeler kapsamında çalışmalarının muhtemel olduğunu söyleyebiliriz. Bu gibi bir duruma dair gerçekleştirilen ve 17 haftalık bir süreci inceleyen çalışmada, Watson ve ark. (1993), kültürel açıdan heterojen olan grupların başlangıçta daha az etkili olduğu, performans ve süreç açısından daha düşük puan aldığını belirtilirken, zamanla hem heterojen hem de homojen grubun gelişme sağlayarak süreç ve performans açısından eşit dereceye geldiği, hatta iki görev kapsamında heterojen grupların daha yüksek puan aldığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, bu tez çalışmasındaki yaklaşımın uluslararası bir firmada da başarıyla uygulanabileceği söylenebilir.

Hovmark ve Nordqvist (1996) tarafından belirtildiği ve çalışmanın ilerleyen kısımlarında tekrar değinileceği üzere, mühendisler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, proje bazlı işlerin dayanışma, destek ve dinamizmi artırdığı görülmüştür.

2.8. İş Yükü Dengeleme

Qureshi ve ark. (2013) tarafından hazırlanan çalışmada, iş yükü kavramı bir çalışana atanan iş miktarı olarak tanımlanırken, Glaser ve ark. (1999) ise iş yükü, stres,

performans ve işten ayrılmalar arasında önemli bir ilişki olduğundan bahsetmiştir. Materyal ve metot kısmında daha da ayrıntılı ele alınacağı üzere bu denge EP problemi yaklaşımı ile sağlanacaktır.

2.9. Hedef Programlama

Hedef Programlama yaklaşımının temelleri ilk olarak Charnes ve ark. (1955) tarafından gerçekleştirilen çalışmada atılmıştır. Daha sonrasında Charnes ve Cooper (1961) tarafından meydana getirilen çalışmada ilk kez Hedef Programlama terimi kullanılmıştır.

İlerleyen yıllarda Lee (1972) ve Ignizio (1976) tarafından ortaya konan kitaplar sayesinde Hedef Programlamanın kullanımını oldukça yaygınlaştırmış ve hakkında daha fazla çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Romero (1986) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 1970 ila 1982 yılları arasında hedef programlama yaklaşımının temel alındığı yaklaşık 300 çalışma incelenmiştir. Bu 300 çalışmanın yapıldığı alanlar arasında Muhasebe, Tarımsal Planlama, Enerji Planlaması ve Finans gibi birçok alan bulunmaktadır. Tamiz ve Jones (1995) tarafından ortaya konan çalışmada ise yine Hedef Programlamanın uygulama alanlarının yanı sıra Hedef Programlama yaklaşımına en uygun uygulama alanlarından da bahsedilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamındaki takım oluşturma yaklaşımına benzer olarak ise, Bafail ve Moreb (1993) mühendislik öğrencilerinin ana dallara atanması problemini hedef programlama yaklaşımı ile ele almışlar ve tercihleri kabul edilen öğrenci sayısını maksimize etmeyi hedefleyen matematiksel bir model sunmuşlardır.

Hedef programlama ile ilgili daha ayrıntılı bilgi vermek gerekirse, çok amaçlı bir programlama tekniği olduğu söylenebilir. Temel olarak 2 alt kümede incelenebilir. Birinci tip hedef programlamada amaç fonksiyonundaki sapmalar için karar vericiye göre ağırlıklar atanır ve toplam sapmanın minimize edilmesi hedeflenir. Bu tip, ağırlıklı hedef programlama olarak isimlendirilmektedir İkinci tipte ise sapma değişkenleri bir dizi öncelik seviyesine atanır, bu önceliklere göre kategorize edilir ve öncelik sırasına göre amaçlar optimize edilir. Bu tip, öncelikli hedef programlama olarak isimlendirilmektedir. (Tamiz ve ark., 1998)

Romero (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, bir tip Hedef Programlamadan daha bahsedilmektedir. Chebyshev olarak da bilinen bu Hedef

Programlama modeli, herhangi bir tek hedeften maksimum sapmanın en aza indirilmesini ifade etmektedir.

Hedef programlamanın uygulandığı farklı alanlar için örnek vermek gerekirse, ulaşım problemi için ise El-Wahed ve Lee (2006) tarafından hazırlanan çalışma, bir diğer önemli alan olan üretim planlama için Leung ve NG (2007) tarafından hazırlanan çalışma ve tedarikçi seçimi için Jadidi ve ark. (2015) tarafından hazırlanan çalışmalar incelenebilir.

2.10. Sosyal Etkileşim

Kişilerin birbirleri ile etkileşimi ve birbirlerinden yararlanması ise bu çalışmanın bir diğer önemli noktasıdır. Bu yaklaşımın farklı alanlarda da uygulanabildiği söylenebilir. Örneğin, García ve ark. (2014) tarafından gerçekleştirilen ve bireylerin kendi arasında olabildiğince iyi ve kaliteli iletişim kurmaları ile elde edebilecekleri sosyal faydanın artırılmasını amaçlayan bir çalışmadır. Bir yemek davetine gelen insanlar, ortamda bulunan masalara ve sandalyelere belirli kurallar doğrultusunda atanır ve bireyler arasındaki sosyal açıdan fayda maksimum düzeye çıkarmak amaçlanır. Bunun için 4 farklı yaklaşım sunularak, her biri gerçek dünya problemi üzerinde uygulanıp karşılaştırılmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması dahilinde bir firmanın gerçekleştireceği proje bazlı bir çalışma ele alınmaktadır. Bu noktada çalışmanın kapsadığı popülasyon, proje bazlı çalışmanın gerçekleştirilebileceği tüm firmalar olarak düşünülebilir. Önceki kısımlarda belirtildiği üzere, bu uygulamanın gerçekleştirilmesinde EP Problemi yaklaşımı kullanılacak ve EP Problemi yaklaşımında da Hedef Programlamadan yararlanılacaktır. Bu başlık altında ilk olarak, proje bazlı çalışmaya ve literatürdeki yerine değinilecek, sonrasındaki ilk alt başlık altında ise Hedef Programlama yaklaşımı ile ilgili literatüre atıf yapılarak bu yaklaşım ana hatları ile belirtilecektir. İkinci alt başlık altında, EP Problemi yaklaşımı tanıtarak matematiksel modeli verilecek, üçüncü alt başlık altında ise EP Problemi yaklaşımı ile bireylerin takımlara atanmasının nasıl sağlanacağı ve matematiksel model üzerindeki değişiklikler ile beraber eklemeler verilecektir. Dördüncü alt başlık olan son alt başlık altında da görevlerin EP Problemi yaklaşımı ile takımlara nasıl atanacağı anlatılarak, matematiksel model üzerindeki değişiklikler ve eklemeler sunulacaktır.

Proje bazlı bir çalışma bilindiği üzere iş hayatının önemli yapı taşlarından bir tanesidir. Hovmark ve Nordqvist (1996) tarafından, 45 mühendis üzerinde gerçekleştirilen çalışmada ise mühendisler proje bazlı çalışmalar esnasında bağlılık, dinamizm, destek, dayanışma ve iletişim gibi olguların arttığını belirtirken, olumlu olarak etkilendiklerini de eklemiştirler. Buna bağlı olarak, Bredin (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da bahsedildiği üzere, proje bazlı çalışmalar genel olarak motive edicidir ve çalışanların motivasyonunu ve bağlılığını artırıcı etkiye sahiptir.

Wei ve ark. (2013) tarafından ortaya konan çalışmada, proje ekibi dahilindeki dengesizliği henüz proje başlamadan değerlendirebilen ve proje yöneticisinin, projenin başarısını artırırken, proje ekibi üyelerini dikkatlice seçmesine olanak sağlayan bir model önermişlerdir.

Bu bağlamda, proje takımı üyesi seçimi problemi meydana çıkmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak, Hsu ve ark. (2016), Ajan Tabanlı Modelleme ile ekip içerisindeki üyelerin dayanışmasının performansı nasıl etkilediğini incelemiş ve bunun için 2009 ile 2011 yılları arasındaki 116 adet projeden yararlanmışlardır. Hosseini ve Akhavan (2017) ise çalışmalarında proje ekip üyelerini seçmek için bir model geliştirmeyi amaçlarken, aynı zamanda bu model ile bireyler arasındaki bilgi paylaşımının maksimize, proje maliyetlerinin minimize ve çalışanlar arası iş yükü dengesinin de optimize edilmesini amaçlayan model için genetik algoritmayı kullanmışlardır.

Proje bazlı çalışma genel anlamda ele alındığında, bu çalışmanın, firmanın halihazırda bünyesinde bulundurduğu çalışanlarını kapsayacak şekilde gerçekleştirilebileceği gibi dönemsel olarak projeye uygun çalışanların da dahil edilebileceği söylenebilir. Dönemsel olarak dahil edilen bu kişiler, proje sonunda uygun görülmesi durumunda da firma ile çalışmaya devam edebilirler.

Dönemsel bazlı çalışmalar da proje bazlı çalışmaların bir alt başlığı olarak değerlendirilebilir. Bu çalışma tipinde de çalışanlar özelliklerine göre dönemsel işlere girebilirken, işverenlerin de aynı şekilde belirli özelliklere göre dönemsel olarak çalışanları bünyesine kattığı söylenebilir. Bu durumda, kişiler kariyerlerini istedikleri gibi yönlendirebilirken, işverenler de ihtiyaçları dahilinde kişiler ile çalışarak maliyetlerini azaltabilmektedirler.

Yukarıda sunulan bilgilerin yanı sıra, dönemsel ya da proje bazlı çalışmaların hem çalışanlar hem de işverenler açısından daha da fazla yararı bulunmaktadır. Ancak bunun için bu süreçlerin en iyi şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasının da konusu olan proje bazlı çalışma kapsamında ilerleyecek olursak, sürecin iyi yürütülmesi açısından öncelikle projenin ve proje kapsamında çalışacak kişilerin iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Kişilerin ve proje kapsamındaki görevlerin özelliklerine göre tanımlanmalı ve tecrübe, yeterlilik, iş yükü vb. özellikler göz önünde bulundurularak, kişiler takımlara ayrılmalı ve görevler ise bu takımlara atanmalıdır.

Bu bağlamda ise kişilerin takımlara atanmalarının yanı sıra, bu takımların görevleri yerine getirebilecek durumda olmaları, rekabetçi ve performans artışına açık bir ortamın bulunması ve iş yükünün de dengeli olması gibi unsurlar göze çarpmaktadır ve önem arz etmektedir.

Glaser ve ark. (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya göre, iş yükü ile stres arasında ve stres ile de performans ve işten ayrılma arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır.

Qureshi ve ark. (2013) tarafından sunulan çalışmada, iş yükü kavramı, bir çalışana yapması için tahsis edilen iş miktarı olarak ifade edilmektedir.

Hosseini ve Akhavan (2017), proje takımı seçimi için ortaya koydukları modelde, hem kişiler arası bilgi paylaşımının maksimize edilmesini hem de iş yükü dengesinin optimize edilmesini amaçlamışlardır.

Inegbedion ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise eğitim durumu ya da pozisyon gibi durumlardan ötürü iş yükü dengelerinde tutarsızlıklar olabileceği ancak aynı departmanda ve eğitim durumunda olunmasına rağmen de iş yükünde

tutarsızlıklar olabileceği belirtilmiştir. Yine aynı çalışmaya göre, eşitlik teorisi kapsamında, bir çalışanın iş arkadaşının kendisine göre daha az efor ile aynı geliri elde etmesi ya da aynı efor ile daha fazla gelir elde etmesinin adil olmayacağını düşüneceği belirtilmektedir.

Bu gibi unsurların en iyi şekilde dengelenmesi ve yerine getirilebilmesi için de EP Problemi kapsamındaki yaklaşım, bu tez çalışmasının temel unsuru olarak kullanılacaktır.

3.1. Hedef Programlama

Literatür araştırması kısmında da bahsedildiği üzere, Hedef Programlama yaklaşımının temelleri Charnes ve ark. (1955) tarafından atılmış, sonrasında Charnes ve Cooper (1961) tarafından ilk olarak Hedef Programlama terimi kullanılmış ve ilerleyen yıllarda ise Lee (1972) ve Ignizio (1976) tarafından ortaya konan çalışmalar ile Hedef Programlama terimi oldukça yaygınlaşmıştır.

Lee (1973) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise genel amaçlı hedef programlamanın matematiksel modeli 3.1, 3.2 ve 3.3 numaralı eşitliklerde görüleceği üzere aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Öyle ki bu model m sayıda hedef, m sayıda sütun vektörü ile ifade edilmektedir. A $m \times n$ boyutunda bir matristir ve hedefler ile alt hedefler arasındaki ilişkiyi temsil eder. x ifadesi, alt hedeflere dahil edilen değişkenleri temsil ederken d^+ ve d^- ise hedeften sapmaları ifade eden m sayıdaki vektörlerdir. I ise m boyutlu birim matrisi ifade etmektedir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m (d_i^+ + d_i^-) \quad (3.1)$$

Kısıtlar:

$$Ax - Id^+ + Id^- = b \quad (3.2)$$

$$x, d^+, d^- \geq 0 \quad (3.3)$$

3.2. Eşit Bölümleme (EP) Problemi

O'Brien ve Mingers (1997) tarafından yapılan tanıma göre, EP probleminin bir grup bireyin belirli özellikler doğrultusunda birbirine denk takımlara atanması problemi

olduğu ve bu özelliği ile standart sınıflandırma probleminin tam tersi olduğu belirtilmişti.

Bu problemdeki yaklaşım kapsamında, bireyler yaşları, cinsiyetleri, becerileri, tecrübeleri gibi özelliklerine göre takımlara ayrılabilir ve bu takımların oluşturulması, takımlar birbirine her özellik açısından eşit ya da benzer olacak şekilde gerçekleştirilmesiyle sağlanabilir. Bu bireyler, öğrenciler ya da bir iş yerinde çalışanlar olabilir.

Bu uygulamalara örnek verilmesi gerekirse, bir grup görevin, bir grup bireye ya da makineye eşit ya da olabildiğince yakın derecede atanması şeklinde ele alınabilir. Örneğin, her biri belli özellikler açısından değerlendirilen görevlerin, bir grup çalışan arasında adil olacak biçimde dağıtılması gerekebilir ki bu grup satış elemanları ya da üretim/montaj hatları ele alındığında makineler olabilir (Mingers ve O'Brien, 1995).

EP problemi, matematiksel modeller ile çözülebiliyorken aynı zamanda sezgisel ve meta sezgisel modeller ile de çözümlenerek kıyaslanabilir. Matematiksel model ele alındığında, oluşturulan takımların özellik puanları ile o özelliğe ait genel ortalama puan arasındaki farktan gelen sapmaların minimize edilmesi amaçlanır. Bir başka deyişle sapma, her bir takım başına ortalama olarak düşen özellik değeri ile atamaların yapılmasının ardından oluşan takımların özellikleri arasındaki farkı ifade etmektedir. Problemin orijinal versiyonunda 2 kısıt yer almaktadır. İlki olan 3.5 numaralı eşitlik, takımlar arasındaki özelliklerin eşit bir şekilde bölünmesini sağlarken, ikincisi olan 3.6 numaralı eşitlik ise her bireyin yalnız 1 takımda yer alabileceğini göstermektedir. Problemin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir; (Mingers ve O'Brien, 1995)

Karar Değişkenleri ve Parametreler:

X_{it} , i bireyi takım t 'de ise 1, değilse 0

a_{ij} , i bireyi j özelliğine sahip ise 1, değilse 0

dp_{tj}, dn_{tj} , t takımına ait j özelliğinin amaçtan pozitif ve negatif sapma değerleri

m , takım sayısı

n , birey sayısı

k , özellik sayısı

$dp_{tj}, dn_{tj} \geq 0$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_{t=1}^m \sum_{j=1}^k (dp_{tj} + dn_{tj}) \quad (3.4)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n (X_{it} a_{ij}) - dp_{tj} + dn_{tj} = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{m} \quad (j = 1, \dots, k) \text{ ve } (t = 1, \dots, m) \quad (3.5)$$

$$\sum_{t=1}^m X_{it} = 1 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (3.6)$$

3.3. EP Problemi Yaklaşımı ile Kişilerin Takımlara Atanması

Bir önceki başlıkta EP Problemi yaklaşımının orijinal versiyonu verilmiştir. Bu bölümde ise bu çalışma kapsamında gerçekleştirilecek olan takım oluşturma problemi için eklenecek kısıtlar verilecektir. Bunlar, özelliklerin puanları, bireylerin tecrübeleri ve bireylerin cinsiyetleri gibi kısıtları içermektedir.

Bir önceki başlıktaki verilen modelde geçen adı geçen a_{ij} değişkeni, i bireyinin j özelliğine sahip olup olmadığını göstermektedir ve bu yüzden sadece 0 ya da 1 değerlerini alabilmektedir. Buna karşın, bu çalışmada, bireylerin özelliğe sahip olup olmaması değil, bireyin özelliğine ait puanın kaç olduğu değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, a_{ij} değişkeni yerine P_{ij} değişkeni kullanılacak ve i bireyinin j özelliğine ait puanını temsil edecektir. Bu yüzden 3.5 numaralı eşitlikteki kısıtın güncel hali 3.7 numaralı eşitlikteki gibi olacaktır;

$$\sum_{i=1}^n (X_{it} P_{ij}) - dp_{tj} + dn_{tj} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij}}{m} \quad (j = 1, \dots, k) \text{ ve } (t = 1, \dots, m) \quad (3.7)$$

Bu değişikliğin yanı sıra, takımların eşit sayıda bireyleri içerecek şekilde kurgulanması için ise örneğin, 50 kişilik çalışan ya da öğrenci topluluğunun 10'ar kişiden 5 takıma ayrılması gibi, aşağıdaki 3.8 numaralı eşitlikteki kısıt modele dahil edilir;

s , her bir takımda bulunacak birey sayısı

$$\sum_{i=1}^n X_{it} = s \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.8)$$

Çalışma kapsamında getirilen bir diğer kısıt ise, en tecrübeli çalışanların farklı takımlara atanmasını sağlayacak kısıttır. Örneğin 50 kişilik bir çalışan grubunun, 10

kişilik takımlara ayrılması işleminde, 50 kişi içerisindeki en tecrübeli 5 kişi belirlenir ve her biri bir takıma atacak şekilde dizayn edilir. Bu sayede, tüm takımların tecrübeli kişilerden istifade etmesi sağlanır. Bu kısıtın matematiksel modele eklenmesi, 3.9 numaralı eşitlik ile sağlanmaktadır;

E_i , i bireyi en tecrübeliler arasında ise 1, değilse 0

$$\sum_{i=1}^n X_{it} E_i = 1 \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.9)$$

Bir diğer kısıt ise, problem kapsamındaki topluluğa ait kadın/erkek yüzdelerinin, oluşturulacak olan takımlara da olabildiğince yansıtılmasıdır. Bu sayede, takımlar topluluğu temsil edebiliyor ve cinsiyet açısından aynı oranı sağlayabiliyor olacaktır. Örneğin, 50 kişilik bir topluluğu ele aldığımızda, 30 kişinin erkek ve 20 kişinin kadın olduğunu varsayalım. Bu durumda, 5 takım oluşturulması neticesinde, topluluktaki aynı yüzdeyi takımlara da yansıtmak adına her bir takımda 6 erkek ve 4 kadın yer alacaktır. Bu noktada, erkek ve kadın sayısı takım sayısına tam olarak bölünebilmektedir ancak durum böyle olmayabilir. Bu gibi bir durumda ise eklenecek kısıtta toplam erkek sayısı üzerinden işlem yapılmaktadır. Toplam erkek sayısının, takım sayısına bölünmesi neticesinde elde edilen sayıdan küçük en büyük tam sayı, her bir takımda olabilecek erkek sayısı için alt sınır olarak ve elde edilen sayıdan büyük en küçük tam sayı da her bir takımda olabilecek erkek sayısı için üst sınır olarak kabul edilmektedir. Örneğin, 50 kişilik toplulukta 32 kişinin erkek ve 18 kişinin kadın olduğu düşünülürse, bu durumda erkek sayısı/takım sayısı, yani $32/5$ işleminden 6,4 sayısı elde edilirken, alt sınır 6 ve üst sınır da 7 olarak belirlenmiş olur. Bu bağlamda, 2 takımın 7 erkek, 3 kadın ve kalan 3 takımın ise 6 erkek ve 4 kadından oluşacağı söylenebilir. Bu sayede, topluluğa ait kadın/erkek oranından olabildiğince az sapmaya izin verilmiş olur. Bunun için matematiksel modele eklenecek olan kısıtlar 3.10 ve 3.11 numaralı eşitlikler olup aşağıdaki gibidir;

G_i , i bireyi erkek ise 1, kadın ise 0

$$\sum_{i=1}^n X_{it} G_i \geq L \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.10)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{it} G_i \leq U \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.11)$$

Bunlara ek olarak, çalışmanın ilerleyen kısımlarında hesaplama ve karşılaştırma kolaylığı için bireylerin takımlara atanmasından gelen sapmaların toplamı “C1” değeri

olarak adlandırılacak ve bunun için yeni bir kısıt eklenerek amaç fonksiyonu da güncellenecektir. Bu doğrultuda eklenecek olan yeni kısıt, 3.12 numaralı eşitlikte olup aşağıdaki gibidir;

$$\sum_{t=1}^m \sum_{j=1}^k (dp_{tj} + dn_{tj}) \leq C1 \quad (3.12)$$

3.4. EP Problemi Yaklaşımı ile Görevlerin Takımlara Atanması

Bu başlığa kadar EP Problemi yaklaşımının orijinal versiyonu ve bu çalışma kapsamında oluşturulacak takımlar için yeni kısıtların eklenmesi işlemleri yapılmıştır. Bu başlıkta ise bu tez çalışmasının diğer bir ana unsuru olan görevlerin takımlara atanması konu işlenecektir. Görevlerin takımlara atanmasındaki ana unsur ise iş yükünün dengeli olarak atanmasını sağlamak amacıyla, görevleri görev sürelerine ve takım başına düşen sayıya (40 adet görev ve toplam 5 takım var ise takım başına 8 görev atanması gibi) göre atamak olacaktır. Tıpkı kişileri takımlara atarken takımların ortalama özellik puanlarının özelliklerin takım başına düşen ortalama puanlarından negatif ve pozitif sapmasının minimize edilmesi amaçlandığı gibi, görevler takımlara atanırken de benzer bir yol izlenecektir. Örneğin, takımlara atanacak toplam 40 adet görevin olduğu, bu görevlerin toplam tamamlanma sürelerinin 100 saat olduğu ve bireylerin de 5 takıma ayrılacağı düşünülürse, bu durumda her bir takıma 8 görevin atanacağı ve eşit bir iş yükü olacak şekilde atandığında ise takım başına 20 saat sürecek görevin atanacağı söylenebilir. Ancak atanan bu 8 görevin toplam süresi her zaman 20 saate eşit olmayabilir ve negatif ya da pozitif yönlü sapabilir. Bu kısımda ise sapmaların minimize edilmesi amaçlanacaktır. Öyle ki her bir takıma 8 görev atandığında bu görevlerin toplam tamamlanma sürelerinin 20 saate eşit ya da olabildiğince yakın olması matematiksel modele dahil edilecektir. Tüm bunların yanı sıra, herhangi bir görevin yalnız 1 takıma atanması da sağlanacaktır. Bu noktada görev sürelerinin takımlara eşit bir şekilde dağıtılması yalnız iş yükünün dengelenmesini değil aynı zamanda görevlerin olabilecek en kısa sürede tamamlanması da sağlayacaktır.

Herhangi bir görevin yalnız 1 takıma atanması için modele dahil edilecek kısıt 3.13 numaralı eşitlikte aşağıdaki gibidir;

$$Y_{gt}, g \text{ görevi } t \text{ takımına atanmışsa } 1, \text{ atanmamışsa } 0$$

$$\sum_{t=1}^m Y_{gt} = 1 \quad (g = 1, \dots, d) \quad (3.13)$$

Her bir takıma atanacak görev sayısının eşit olmasını sağlayacak kısıt ise 3.14 numaralı eşitlikteki gibidir;

$d2$, her bir takıma atanan görev sayısı

$$\sum_{g=1}^d Y_{gt} = d2 \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.14)$$

Bunun yanı sıra, atanan görevlerin tamamlanma sürelerinin iş yükünü dengelemek amacıyla ortalamadan sapmalarının minimize edilmesini sağlayacak kısıt ise 3.15 numaralı eşitlikteki gibidir;

D_g , g görevinin tamamlanma süresi

$dp2_t, dn2_t$, t takımına ait toplam görev süresinin amaçtan pozitif ve negatif sapma değerleri
 A , takımlara atanan görevlerin ortalama süresi

$$\sum_{g=1}^d (Y_{gt} D_g) - dp2_t + dn2_t = A \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.15)$$

Bireylerin takımlara atanmasından gelen sapmaların toplamı için C1 değerinin kullanılması gibi takımların görevlerinin toplam tamamlanma sürelerinin ortalama sürelerinden sapmalarının toplam değerini göstermek amacıyla C2 değeri kullanılacaktır. Bu doğrultuda eklenecek olan yeni kısıt ise 3.16 numaralı eşitlikteki gibidir;

$$\sum_{t=1}^m (dp2_t + dn2_t) \leq C2 \quad (3.16)$$

Görevlerin takımlara atanmasında görevlerin sürelerinin kullanılacağı gibi aynı zamanda görevlerin en iyi şekilde tamamlanması için gerekli en düşük puanlardan da yararlanılacaktır. Bu amaçla, her bir görevin her bir özellik açısından belirli bir puanı olacak ve puan o görevin en iyi şekilde yerine getirilebilmesi için o özellik açısından sahip olunması gereken puanı belirtecektir. Bu puanların karşılanması ihtiyacı ise her veri seti açısından mümkün olmayacağından ötürü, yine Hedef Programlama kapsamında pozitif ve negatif yönlü sapmalardan yararlanılacaktır. Buradaki sapma ise her bir grup bireyin belirli bir özellik bakımından ortalama puanı ile o takıma atanan görevlerin yine o özellik açısından görevin iyi bir şekilde tamamlanabilmesi adına gerekli ortalama puan

ile arasındaki fark olarak hesaplanacaktır. Örneğin 1. takıma atanan 5 bireyin A özelliği ortalama puanlarının 7,5 olduğu ve bu takıma atanan görevlerin ise A özelliği açısından gerektirdiği puanların ortalamasının 7,2 olduğu düşünülürse, bu durumda 7,5-7,2 işleminden pozitif yönlü 0,3'lük bir sapma olacaktır. Buradan gelecek olan toplam sapmanın minimize edilmesi hedeflenerek, amaç fonksiyonunda yerini alacaktır ve matematiksel modele eklenecek kısıt ise 3.17 numaralı eşitlikteki gibidir;

Tll_{gj} , g görevinin j özelliği açısından gerektirdiği minimum puan

$dp3_{tj}, dn3_{tj}$, t takımının j özelliği için ortalama puandan pozitif ve negatif sapma değerleri

$$\frac{\sum_{i=1}^n (X_{it} P_{ij})}{s} - \frac{\sum_{g=1}^d (Y_{gt} Tll_{gj})}{d2} - dp3_{tj} + dn3_{tj} = 0 \quad (j = 1, \dots, k) \text{ ve } (t = 1, \dots, m) \quad (3.17)$$

Bireylerin takımlara atanmasından gelen sapmalar için C1 değeri, görevlerin sürelerinden gelen sapmalar için de C2 değerinin kullanıldığı gibi, bu kısımdan gelen sapmalar için de C3 değeri kullanılacaktır ve bu işlem için modele eklenecek kısıt ise 3.18 numaralı eşitlikteki gibidir;

$$\sum_{t=1}^m \sum_{j=1}^k (dp3_{tj} + dn3_{tj}) \leq C3 \quad (3.18)$$

Görevlerin atanması ile ilgili bu tüm yeni kısıtların ardından, bu tez çalışmasındaki problemin matematiksel modelinin son hali aşağıdaki gibi olacaktır;

Karar Değişkenleri ve Parametreler:

X_{it} , i bireyi takım t' de ise 1, değilse 0

P_{ij} , i bireyinin j özelliği puanı

dp_{tj}, dn_{tj} , t takımına ait j özelliğinin amaçtan pozitif ve negatif sapma değerleri

E_i , i bireyi en tecrübeliler arasında ise 1, değilse 0

G_i , i bireyi erkek ise 1, kadın ise 0

m , takım sayısı

n , birey sayısı

k , özellik sayısı

s , her bir takımda bulunacak birey sayısı

L , bir takımdaki erkek sayısı için alt limit

U , bir takımdaki erkek sayısı için üst limit

$$dp_{tj}, dn_{tj} \geq 0$$

Y_{gt} , g görevi t takımına atanmışsa 1, atanmamışsa 0

Tll_{gj} , g görevinin j özelliği açısından gerektirdiği minimum puan

$dp2_t, dn2_t$, t takımına ait toplam görev süresinin amaçtan pozitif ve negatif sapma değerleri

$dp3_{tj}, dn3_{tj}$, t takımının j özelliği için ortalama puandan pozitif ve negatif sapma değerleri

D_g , g görevinin tamamlanma süresi

d , görev sayısı

$d2$, her bir takıma atanan görev sayısı

A , takımlara atanan görevlerin ortalama süresi

$$dp2_t, dn2_t \geq 0$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = C1 + C2 + C3 \quad (3.19)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m X_{it} = 1 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (3.20)$$

$$\sum_{i=1}^n (X_{it} P_{ij}) - dp_{tj} + dn_{tj} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij}}{m} \quad (j = 1, \dots, k) \text{ ve } (t = 1, \dots, m) \quad (3.21)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{it} = s \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.22)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{it} E_i = 1 \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.23)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{it} G_i \geq L \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.24)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{it} G_i \leq U \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.25)$$

$$\sum_{t=1}^m \sum_{j=1}^k (dp_{tj} + dn_{tj}) \leq C1 \quad (3.26)$$

$$\sum_{t=1}^m Y_{gt} = 1 \quad (g = 1, \dots, d) \quad (3.27)$$

$$\sum_{g=1}^d Y_{gt} = d2 \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.28)$$

$$\sum_{g=1}^d (Y_{gt} D_g) - dp2_t + dn2_t = A \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.29)$$

$$\sum_{t=1}^m (dp2_t + dn2_t) \leq C2 \quad (3.30)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n (X_{it} P_{ij})}{s} - \frac{\sum_{g=1}^d (Y_{gt} Tll_{gj})}{d2} - dp3_{tj} + dn3_{tj} = 0 \quad (j = 1, \dots, k) \text{ ve } (t = 1, \dots, m) \quad (3.31)$$

$$\sum_{t=1}^m \sum_{j=1}^k (dp3_{tj} + dn3_{tj}) \leq C3 \quad (3.32)$$

Tüm bunlara ek olarak, matematiksel model veri setleri için sadece 1 amaç fonksiyonu ile değil, 2 ve 3 amaç fonksiyonu içerecek şekilde de çalıştırılacaktır. İlk olarak, 2 amaç fonksiyonlu matematiksel model ele alınacak olursa, bu modelde bireyler ile ilgili

olan sapma değerlerinin toplamı olan C1 değeri ile görevler ile ilgili olan C2 ve C3 değerleri 2 ayrı amaç fonksiyonu altında ele alınacaktır. Modelde ilk olarak 1. amaç fonksiyonu olan C1 değeri, yani bireylerin takımlara ayrılmasından gelen sapmaların toplamının minimize edilmesi yer alırken, 1. amaç fonksiyonu ile beraber sadece 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25 ve 3.26 numaralı eşitliklerde bulunan kısıtlar işleme alınacaktır. Daha sonrasında, 3.34 numaralı eşitlikte yer alan 1. amaç fonksiyonu ile elde edilen C1 değeri, 2. amaç fonksiyonundan önce modele kısıt olarak eklenecek ve C2 ile C3 değerlerinin toplamını içeren ve 3.35 numaralı eşitlikte yer alan 2. amaç fonksiyonu işleme alındığında, beraberinde geriye kalan tüm kısıtlar ile 3.33 numaralı eşitlikte bulunan kısıt da işleme alınacaktır. 3.33 numaralı eşitlikteki kısıt ise ilk aşamada bulunan C1 değerinin büyümemesini sağlarken aşağıdaki gibi olacaktır;

$$\sum_{t=1}^m \sum_{j=1}^k (dp_{tj} + dn_{tj}) \leq Z \quad (3.33)$$

Bu modelde ele alınacak olan 2 amaç fonksiyonu ise aşağıdaki gibi olacaktır;

$$\text{Min } Z = C1 \quad (3.34)$$

$$\text{Min } Z2 = C2 + C3 \quad (3.35)$$

Buna ek olarak, 3 amaç fonksiyonlu model de ele alınacaktır. Bu modelde ise artık C1, C2 ve C3 değerlerinin tamamının minimizasyonu birer amaç fonksiyonu olacaktır. 3.37 numaralı eşitlikte bulunan 1. amaç fonksiyonu C1 değerinin, 3.38 numaralı eşitlikte bulunan 2. amaç fonksiyonu C2 değerinin ve 3.39 numaralı eşitlikte bulunan 3. amaç fonksiyonu ise C3 değerinin minimizasyonu olarak modelde yer alacaktır. Buradaki farklılık ise her bir amaç fonksiyonu işleme alındığında hangi kısıtlar ile beraber alınacağıdır. 1. amaç fonksiyonu ile 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25 ve 3.26 numaralı eşitliklerde bulunan kısıtlar dahil edilirken, 2. Amaç fonksiyonu ile beraber 1. amaç fonksiyonundan elde edilerek modele eklenen Z değerinin büyümemesini sağlayan 3.33 numaralı eşitlikte bulunan kısıt ile beraber, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29 ve 3.30 numaralı eşitliklerde bulunan kısıtlar işleme alınacaktır. 3. amaç fonksiyonuna gelindiğinde ise tıpkı 2. amaç fonksiyonunda olduğu gibi bu kez 2. amaç fonksiyonundan elde edilen değer büyümemesini sağlayan ve 3.36 numaralı eşitlikte yer alan kısıt modele eklenecek ve 3. amaç fonksiyonu ile beraber işleme alınırken aynı

zamanda 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31 ve 3.32 numaralı eşitliklerde yer alan kısıtlar da işleme alınacaktır. Bu noktada kullanılacak olan 3.36 numaralı eşitlikteki kısıt ise aşağıdaki gibidir;

$$\sum_{t=1}^m (dp_{2t} + dn_{2t}) \leq Z2 \quad (3.36)$$

Bu modelde ele alınacak olan 3 amaç fonksiyonu ise aşağıdaki gibi olacaktır;

$$\text{Min } Z = C1 \quad (3.37)$$

$$\text{Min } Z2 = C2 \quad (3.38)$$

$$\text{Min } Z3 = C3 \quad (3.39)$$

Şu ana kadar anlatımı yapılan 3 modelin tamamı sapmalarının toplamının minimize edilmesine yönelik idi. Bu 3 modelin yanı sıra, en büyük sapmanın minimize edilmesini amaçlayan modeller de çalışmaya eklenecektir. Toplam sapmaların minimize edilmesi için 3 modelin ele alındığı gibi en büyük sapmanın minimize edilmesini amaçlayan kısımda da yine 3 model ele alınacaktır ve izlenen yol aynı olacaktır. Ancak bu noktada değişiklik gösteren kısıtlar da olacaktır. Bunlar, 1 amaç fonksiyonlu model için sadece 3.26, 3.30 ve 3.32 numaralı eşitliklerde yer alan kısıtlar olurken, 2 amaç fonksiyonlu model için 3.26, 3.30, 3.33 ve 3.32 numaralı eşitliklerde yer alan kısıtlar ve 3 amaç fonksiyonlu model için ise 3.26, 3.30, 3.33, 3.32 ve 3.36 numaralı eşitliklerde yer alan kısıtlar olacaktır. Amaç fonksiyonları ise değişiklik göstermeyecektir. Buradaki asıl amaç ise meydana gelebilecek en büyük sapmanın olabildiğince en küçük olmasını sağlamak olacaktır. Bu bağlamda toplam sapmaların daha büyük çıkma olasılığı meydana gelecektir. En büyük sapmanın minimizasyonunu hedefleyen modellerde geçerli olacak 3.26, 3.30, 3.32, 3.33 ve 3.36 numaralı eşitliklerde yer alan kısıtlar ise sırasıyla 3.40, 3.41, 3.42, 3.43 ve 3.44 numaralı eşitliklerde yer alan kısıtlar olarak güncellenecektir;

$$dp_{tj} + dn_{tj} \leq C1 \quad (j = 1, \dots, k) \text{ ve } (t = 1, \dots, m) \quad (3.40)$$

$$dp_{2t} + dn_{2t} \leq C2 \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.41)$$

$$dp_{3tj} + dn_{3tj} \leq C3 \quad (j = 1, \dots, k) \text{ ve } (t = 1, \dots, m) \quad (3.42)$$

$$dp_{tj} + dn_{tj} \leq Z \quad (j = 1, \dots, k) \text{ ve } (t = 1, \dots, m) \quad (3.43)$$

$$dp_{2t} + dn_{2t} \leq Z2 \quad (t = 1, \dots, m) \quad (3.44)$$

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamındaki uygulama, proje bazlı çalışma yapan herhangi bir firmanın, bu çalışma için çalışanları nasıl gruplandıracağı ve görevleri bu çalışanlara nasıl atayacağına dair işlemleri içermektedir. Başlangıç olarak küçük veriler ile uygulamanın bir örneği verilecek, sonrasında ise daha geniş çaplı veriler ve sonuçlar paylaşılacaktır. Daha büyük boyuttaki verilerin ele alınması aşamasında hem operasyonel hem de taktiksel kararların alınması durumları göz önünde bulundurulacaktır. Son olarak ise, Water ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da bahsedildiği üzere, Belbin (1981, 1993) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda sunulan gerçek dünya verileri ile uygulama kısmı sonlandırılacaktır.

Deneyler, Intel(R) Core(TM) i5-5200U 2.20GHz özelliklerine ve 8 GB ram kapasitesine sahip bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir.

4.1. Küçük Veri Seti ile Örnek Uygulama

Örnek uygulama kısmında, yukarıda bahsedildiği üzere küçük veriler ile çalışmanın küçük bir örnek uygulaması gerçekleştirilecektir. Bu kısımda personeller ve görevler ikiye ayrılmaya ayrılacak ve görevlerin takımlara atanması sağlanacaktır.

Bu amaç doğrultusunda ilk olarak 8 personeli ve bu personellerin bilgilerini içeren kısım Çizelge 4.1. kapsamında verilmiştir.

Çizelge 4.1. Personel bilgileri

	Analitik Zeka	Problem Çözme Becerisi	Etkili İletişim Kurabilme	Tecrübe	Cinsiyet
Personel-1	8	5	9	7	Erkek
Personel-2	8	10	10	13	Kadın
Personel-3	10	9	10	2	Kadın
Personel-4	5	7	9	12	Erkek
Personel-5	6	5	10	10	Kadın
Personel-6	10	8	6	8	Kadın
Personel-7	10	9	8	18	Erkek
Personel-8	8	7	5	5	Erkek

Bu bilgiler arasında 3 adet özellik bulunmaktadır ve bunlar Analitik Zeka, Problem Çözme Becerisi ve Etkili İletişim Kurabilme şeklindedir. Bunların yanı sıra personellerin cinsiyet ve tecrübe bilgileri de verilmiştir.

Ayrıca, çizelgedeki cinsiyetlere yönelik olarak erkekler 1 kadınlar ise 0 değerini alacaklardır. Son olarak da personeller 2 takıma ayrılacağından, tecrübe kısmında en tecrübeli 2 personel 1 ve diğer personeller de 0 değerini alacaklardır.

Yapılan işlemler neticesinde elde edilen yeni veriler ise Çizelge 4.2. olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tecrübe ve cinsiyet özelliklerinin ikili değer olarak verildiği personel bilgileri

	Analitik Zeka	Problem Çözme Becerisi	Etkili İletişim Kurabilme	Tecrübe	Cinsiyet
Personel-1	8	5	9	0	1
Personel-2	8	10	10	1	0
Personel-3	10	9	10	0	0
Personel-4	5	7	9	0	1
Personel-5	6	5	10	0	0
Personel-6	10	8	6	0	0
Personel-7	10	9	8	1	1
Personel-8	8	7	5	0	1
Toplam =	65	60	67		
Toplam / Takım Sayısı =	32,5	30	33,5		

Çizelgeden görüldüğü üzere, cinsiyet değerleri ikili değer olarak verilmiş ve en tecrübeli personeller olan Personel-2 ve Personel-7 tecrübe kısmında 1 değerlerini almışlardır. Bunun yanı sıra, personellerin toplam puanları ile beraber takım başına düşen toplam puan da çizelgenin altında verilmiştir. Takım başına düşen toplam puan, toplam puanın takım sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir.

Personellere ait bilgilerin verilmesinin ardından, 10 göreve ilişkin bilgiler için ilk olarak Çizelge 4.3.'te görevlere ait görev süreleri saat cinsinden verilmiştir. Bu veriler görevlerin tamamlanabileceği toplam süreyi göstermektedir.

Son olarak ise, Çizelge 4.4. kapsamında görevlerin minimum özellik gereksinimleri verilmiştir. Minimum özellik gereksinimlerini içeren özellikler, kişilerin değerlendirildiği özellikler olmakla beraber, kişilerin özellik değerlerinde olduğu gibi yine 5 ila 10 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.3. Görev bilgileri

	Tamamlanma Süresi (Saat)
Görev-1	6
Görev-2	8
Görev-3	10
Görev-4	9
Görev-5	9
Görev-6	10
Görev-7	10
Görev-8	6
Görev-9	9
Görev-10	6
Toplam Süre = 83 / Takım Başına Düşen Süre = 83 / 2 = 41,5	

Çizelge 4.4. Görev minimum özellik gereksinimleri

	Analitik Zeka	Problem Çözme Becerisi	Etkili İletişim Kurabilme
Görev-1	7	5	10
Görev-2	10	8	9
Görev-3	8	5	5
Görev-4	8	6	10
Görev-5	5	8	5
Görev-6	5	8	6
Görev-7	10	9	6
Görev-8	5	5	9
Görev-9	5	5	7
Görev-10	8	9	9

Probleme ait gerekli veriler bu noktada elde edilmiştir. Bir sonraki işlem, verilerin karma tamsayı programlama modeline dahil edilmesi ve GAMS paket programı ile CPLEX çözücüsü eşliğinde sonucun elde edilmesidir. Verilerin modele dahil edilmesi noktasında, Excel paket programından ve VBA programlama dilinden yararlanılmıştır. Verilerin Excel paket programına girilmesinin ardından, VBA programlama dili yardımı ile problemin matematiksel modeli oluşturulmakta ve “.gms” uzantılı dosya haline getirilmektedir. Sonrasında ise GAMS paket programı çalıştırılmakta ve sonuçlar alınmaktadır.

Yukarıdaki örnek uygulamada verilen verilerin kullanılması ile oluşturulan matematiksel modelin ilk olarak sapmaların toplamını minimize etmeyi amaçlayan ve 1 amaç fonksiyonunu içeren model ile çalıştırılması neticesinde elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6. kapsamında verilmiştir.

Çizelge 4.5. Takım 1'e atanan personeller

	Analitik Zeka	Problem Çözme Becerisi	Etkili İletişim Kurabilme	Tecrübe	Cinsiyet
Personel-1	8	5	9	0	1
Personel-2	8	10	10	1	0
Personel-4	5	7	9	0	0
Personel-6	10	8	6	0	1
Toplam =	31	30	34		
Ortalama =	7,75	7,5	8,5		

Çizelge 4.6. Takım 2'ye atanan personeller

	Analitik Zeka	Problem Çözme Becerisi	Etkili İletişim Kurabilme	Tecrübe	Cinsiyet
Personel-3	10	9	10	0	1
Personel-5	6	5	10	0	0
Personel-7	10	9	8	0	0
Personel-8	8	7	5	1	1
Toplam =	34	30	33		
Ortalama =	8,5	7,5	8,25		

İlk olarak, Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6. ele alınacak olursa, bu çizelgelerden ilki 1. takıma ikincisi ise 2. takıma atanan personelleri ve bilgilerini içermektedir. Özellikler sütunu için ise takımların toplam ve ortalama değerleri verilmiştir. Görüldüğü üzere, genel popülasyondaki %50 kadın ve %50 erkek oranı takımlarda da korunmuştur. Ayrıca popülasyondaki en tecrübeli 2 kişi farklı takımlara atanmıştır. Her bir takım için her bir özelliğin toplamı ile özelliklerin genel ortalama değeri arasındaki fark, birinci kısım sapma değerlerini vermektedir.

Örneğin, 1. takım için 3. özelliğin sapma değeri hesaplanacak olursa ortaya aşağıdaki eşitlik çıkar;

$$34 - dp_{13} + dn_{13} = 33,5 \quad (4.1)$$

Burada, 34 sayısı Çizelge 4.5.'te de görüleceği üzere 1. takımdaki personellerin 3. özellik yani Etkili İletişim Kurabilme özelliği bakımından toplam puanını gösterirken, 33,5 sayısı ise Çizelge 4.2.'de görüleceği üzere tüm personellerin 3. özellik bakımından toplam puanlarının takım sayısına bölünmesinden elde edilmiştir. Burada ortaya çıkan eşitlik ise, minimizasyonu hedefleyen model ile dp_{13} değişkeninin 0,5 değerini ve dn_{13}

değişkeninin 0 değerini alması ile sonuçlanacaktır. Tüm dp ve dn değişkenlerinin değerleri ve toplamları ise Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Toplam sapma değerleri, dn & dp

dn		dp	
dn_{11}	1,5	dp_{11}	0
dn_{12}	0	dp_{12}	0
dn_{13}	0	dp_{13}	0,5
dn_{21}	0	dp_{21}	1,5
dn_{22}	0	dp_{22}	0
dn_{23}	0,5	dp_{23}	0
Toplam =	2	Toplam =	2
Genel Toplam = 4			

Çizelge 4.7.'deki genel toplamda da görüleceği üzere, $C1$ 'in değeri 4 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. ve Çizelge 4.9. kapsamında ise sırasıyla 1. ve 2. takımlara atanan görevler bu görevlerin toplam süreleri yer almaktadır. Her bir takım için görevlerin toplam sürelerinin genel ortalama süreden farkı ise ikinci kısım sapma değerlerini vermektedir.

Çizelge 4.8. Takım 1'e atanan görevler ve süreleri

	Tamamlanma Süresi (Saat)
Görev-1	6
Görev-3	10
Görev-6	10
Görev-7	10
Görev-10	6
Toplam =	42

Çizelge 4.9. Takım 2'ye atanan görevler ve süreleri

	Tamamlanma Süresi (Saat)
Görev-2	8
Görev-4	9
Görev-5	9
Görev-8	6
Görev-9	9
Toplam =	41

Örneğin, 1. takım için süreden elde edilen sapma değeri hesaplanacak olursa, ortaya aşağıdaki eşitlik çıkmaktadır;

$$42 - dp2_1 + dn2_1 = 41,5 \quad (4.2)$$

Buradaki 42 sayısı, Çizelge 4.8.'de görüleceği üzere 1. takıma atanan görevlerin toplam süresini ifade ederken, 41,5 sayısı ise Çizelge 4.3.'te de görüleceği üzere takım başına düşen süreyi temsil etmektedir. Takım başına düşen süre ise tüm görevlerin toplam sürelerinin takım sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir.

Burada ortaya çıkan eşitlik ise toplam sapmanın minimizasyonunu hedefleyen model ile $dp2_1$ değişkeninin 0,5 değerini ve $dn2_1$ değişkeninin 0 değerini alması ile sonuçlanacaktır. Tüm $dp2$ ve $dn2$ değişkenlerinin değerleri ve toplamaları ise Çizelge 4.10.'daki gibidir.

Çizelge 4.10. Toplam sapma değerleri, $dn2$ & $dp2$

dn2		dp2	
$dn2_1$	0	$dp2_1$	0,5
$dn2_2$	0,5	$dp2_2$	0
Toplam =	0,5	Toplam =	0,5
Genel Toplam = 1			

Çizelge 4.10.'daki genel toplamda da görüleceği üzere, $C2$ 'nin değeri 1 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.11. ve Çizelge 4.12. kapsamında ise sırasıyla 1. takıma ve 2. takıma atanan görevlerin özellik bilgileri verilmektedir. Bir önceki kısımda olduğu gibi, görevlere ait özelliklerin de ortalama değerleri verilmiştir. Üçüncü kısım sapma değerleri ise her bir özellik ve her bir takım için personellerin ortalama özellik puanı ile görevlerin ortalama özellik puanı arasındaki farklardır.

Çizelge 4.11. Takım 1'e atanan görevler ve özellikleri

	Analistik Zeka	Problem Çözme Becerisi	Etkili İletişim Kurabilme
Görev-1	7	5	10
Görev-3	8	5	5
Görev-6	5	8	6
Görev-7	10	9	6
Görev-10	8	9	9
Ortalama =	7,6	7,2	7,2

Çizelge 4.12. Takım 2'ye atanan görevler ve özellikleri

	Analistik Zeka	Problem Çözme Becerisi	Etkili İletişim Kurabilme
Görev-2	10	8	9
Görev-4	8	6	10
Görev-5	5	8	5
Görev-8	5	5	9
Görev-9	5	5	7
Ortalama =	6,6	6,4	8

Örneğin, 2. takım için 1. özelliğin sapma değeri hesaplanacak olursa ortaya şu eşitlik çıkar;

$$8,5 - dp_{3_{21}} + dn_{3_{21}} = 6,6 \quad (4.3)$$

Buradaki 8,5 sayısı, Çizelge 4.6.'da da görüleceği üzere 2. takımdaki personellerin 1. özellik puanlarının ortalama değerini temsil ederken, 6,6 sayısı ise Çizelge 4.12.'de görüleceği üzere 2. takıma atanan görevlerin 1. özelliklerinin puanlarının ortalamasını temsil etmektedir. Burada karşımıza çıkan eşitlik ise minimizasyonu hedefleyen model ile $dp_{3_{21}}$ değişkenininin 1,9 değerini ve $dn_{3_{21}}$ değişkenininin 0 değerini alması ile sonuçlanacaktır. Tüm dp_3 ve dn_3 değişkenlerinin değerleri ve toplamları ise Çizelge 4.13.'teki gibidir.

Çizelge 4.13. Toplam sapma değerleri, dn_3 & dp_3

dn_3		dp_3	
$dn_{3_{11}}$	0	$dp_{3_{11}}$	0,15
$dn_{3_{12}}$	0	$dp_{3_{12}}$	0,30
$dn_{3_{13}}$	0	$dp_{3_{13}}$	1,30
$dn_{3_{21}}$	0	$dp_{3_{21}}$	1,90
$dn_{3_{22}}$	0	$dp_{3_{22}}$	1,10
$dn_{3_{23}}$	0	$dp_{3_{23}}$	0,25
Toplam =	0	Toplam =	5
Genel Toplam = 5			

Çizelge 4.13.'teki genel toplamda da görüleceği üzere C_3 'ün değeri 5 olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, amaç fonksiyonunun C1, C2 ve C3 değerlerinin toplamı olduğu göz önünde bulundurulursa, Z değerinin $4 + 1 + 5$ işleminden 10 olduğu açıkça görülmektedir.

Sapmaların toplamının minimize edilmesini amaçlayan diğer modeller ile problemin çözümünden elde edilecek sonuçlara göz atmak gerekirse, 2 ve 3 amaç fonksiyonlu modellerde de 1 amaçlı fonksiyonlu modelde olduğu gibi, C1, C2 ve C3 değerleri sırasıyla 4, 1 ve 5 şeklinde sonuçlanmıştır. Ayrıca 2 amaç fonksiyonlu modeldeki Z değerinin 4 ve Z2 değerinin 6 olduğu ve aynı zamanda 3 amaç fonksiyonlu modelde Z değerlerinin sırasıyla C değerleri, yani 4, 1 ve 5 olduğunu söylemekte yarar bulunmaktadır. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında ise modellerin çalışma süreleri ile ilgili ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirilecektir. Ancak ilk olarak, örnek uygulamanın, en büyük sapmanın minimize edilmesine yönelik kullanılan modeller ile çalıştırılması neticesinde elde edilen sonuçlarına değinilecektir.

Bu küçük veri seti ile yapılan uygulamanın ikinci kısmı için ise en büyük sapmanın minimize edilmesini amaçlayan ve 1 amaç fonksiyonuna sahip modelin çalıştırılması neticesinde elde edilen dn , dp , dn_2 , dp_2 , dn_3 ve dp_3 değerleri Çizelge 4.14., Çizelge 4.15. ve Çizelge 4.16.'daki gibidir.

Çizelge 4.14. En büyük sapma değerleri, dn & dp

dn		dp	
dn_{11}	0	dp_{11}	1,5
dn_{12}	0	dp_{12}	0
dn_{13}	0,5	dp_{13}	0
dn_{21}	1,5	dp_{21}	0
dn_{22}	0	dp_{22}	0
dn_{23}	0	dp_{23}	0,5
En büyük =	1,5	En büyük =	1,5
Genel en büyük = 1,5			

1 amaç fonksiyonlu modelin çalıştırıldığı aynı veriler ile 2 ve 3 amaç fonksiyonlu modeller de çalıştırılmıştır. Bireyler ve görevlerin takımlara atamalarının ve sapma değerlerinin farklı olmalarına karşın her iki modelde de tıpkı ilk modelde olduğu gibi C1 değeri 1,5 olarak, C2 değeri 0,5 olarak ve C3 değeri de 1,1 olarak hesaplanmıştır. Ancak önceki aşamada olduğu gibi bu kısımda da 2 amaç fonksiyonlu modelin Z değerlerinin sırasıyla 1,5 ve 1,6 olduğu ve ayrıca 3 amaç fonksiyonlu modelin Z değerlerinin sırasıyla C değerleri yani 1,5, 0,5 ve 1,1 olduğunu söylemek gerekmektedir.

Çizelge 4.15. En büyük sapma değerleri, dn2 & dp2

dn2		dp2	
$dn2_1$	0	$dp2_1$	0,5
$dn2_2$	0,5	$dp2_2$	0
En büyük =	0,5	En büyük =	0,5
Genel en büyük = 0,5			

Çizelge 4.16. En büyük sapma değerleri, dn3 & dp3

dn3		dp3	
$dn3_{11}$	0	$dp3_{11}$	1,1
$dn3_{12}$	0	$dp3_{12}$	0,5
$dn3_{13}$	0	$dp3_{13}$	0,85
$dn3_{21}$	0	$dp3_{21}$	0,95
$dn3_{22}$	0	$dp3_{22}$	0,9
$dn3_{23}$	0	$dp3_{23}$	0,7
En büyük =	0	En büyük =	1,1
Genel en büyük = 1,1			

Çalışmanın bir sonraki kısmında ise toplam sapmanın minimize edilmesi ve en büyük sapmanın minimize edilmesini kapsayan iki ayrı model, 1, 2 ve 3 amaç fonksiyonlu modeller ile çalıştırılacak ve kendi aralarında performans karşılaştırmaları yapılacaktır. Bu performans karşılaştırmaları, amaç fonksiyonu sayısına göre elde edilen performans karşılaştırmaları ve verilerdeki değişiklikler sonucunda meydana gelen performans değişikliklerini içerecektir.

4.2. Operasyonel Kararlar Dahilinde Örnek Uygulamalar

Bilindiği üzere, operasyonel kararlar, işletmenin günlük ya da haftalık olmak üzere kısa vade için alması gereken kararlardır. Proje bazlı bir çalışma ve beraberinde getirebileceği günlük değişimler göz önünde bulundurulduğunda, operasyonel kararlara ihtiyaç duyulabilir. Bu başlık altında ise, 24 ve 36 dolaylarında çalışması olan işletmelerin operasyonel kararlarına ilişkin örnekler yer alacaktır. Uygulama kapsamında çeşitli boyutlardaki verileri içeren farklı modeller GAMS paket programı ve CPLEX çözücüsü aracılığıyla karma tamsayılı programlama ile çalıştırılacaktır. Matematiksel modeller arasındaki karşılaştırmalar 2 temel model altında, iki farklı uygulama olarak ele alınacaktır. Bunlardan ilki, bireylerin takımlara atanması sonucu her bir takımın her bir özelliği için ortalama değer ile takım başına o özellik için düşen ortalama değer arasındaki

farklardan meydana gelen sapmaların toplamı olan “C1”, ikincisi, görevlerin takımlara atanması sonucu meydana gelen görev dağılımındaki her bir takıma düşen toplam görev süresi ile takım başına düşen ortalama görev süreleri arasındaki farklardan meydana gelen sapmalarının toplamı olan “C2” ve üçüncü olarak da görevlerin takımlara atanması sonucu meydana gelen görev dağılımında, her bir takıma ait her bir özellik için minimum görev puanı gereksinimleri ile takımlardaki bireylerin her bir özellik için ortalama puanları arasındaki farklardan meydana gelen sapmaların toplamı olan “C3” değerlerinin toplamı olacak şekilde gerçekleştirilecektir.

İkinci uygulama ise, ilk uygulamanın aksine C1, C2 ve C3 değerlerinin en büyüklerinin minimize edilmesi şeklinde olacaktır. Kısacası, ilk uygulamada tüm değerler için sapmalarının toplamının minimize edilmesi hedeflenirken, ikinci uygulamada bu değerler için en büyük sapmanın minimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu iki uygulama ise kendi içerisinde de farklı modeller ile değerlendirilecektir. Her iki uygulama için de geçerli olmak üzere, uygulamaların kendi bünyelerinde toplam 3 model ele alınacaktır. Bunlardan ilki 1 amaç fonksiyonu olacak şekilde C1, C2 ve C3 değerlerinin toplamının minimize edilmesi olacaktır. İkincisi, iki amaç fonksiyonu olacak şekilde, ilk amaç fonksiyonu C1 değerinin minimize edilmesi ve ikinci amaç fonksiyonu da C2 ve C3 değerlerinin toplamının minimize edilmesi şeklinde gerçekleştirilecektir. Üçüncü ve son model ise, 3 amaç fonksiyonlu olacak şekilde gerçekleştirilirken, ilk amaç fonksiyonu C1, ikinci amaç fonksiyonu C2 ve üçüncü amaç fonksiyonu da C3 değerinin minimize edilmesi olacaktır. Yukarıda da bahsedildiği üzere bu 3 model her iki uygulama için de kullanılacaktır.

Uygulama kısmına geçmeden önce belirtilmesi gerekir ki, bu uygulama kapsamında farklı boyutlardaki problemler için belirli bir gösterim kullanılacaktır. Bu gösterim, modeldeki toplam birey sayısını, toplam görev sayısını, toplam takım sayısını ve toplam özellik sayısını gösterecek şekilde oluşturulacaktır. Birey sayısı için “b” harfi, görev sayısı için “g” harfi, takım sayısı için “t” harfi ve özellik sayısı için ise “o” harfi kullanılacaktır. Örneğin, 24 birey, 24 görev, 4 takım ve 4 özelliğten oluşan bir örnek problem için “b24-g24-t4-o4” ismi kullanılacaktır. Aynı veri sayısına sahip farklı modeller için ise başında kaçınıcı veri seti olduğunu belirtecek şekilde numarası yazılacaktır. Örneğin 24 birey, 24 görev, 4 takım ve 4 özellik içeren ilk veri seti için “1-b24-g24-t4-o4” ismi, ikinci veri seti için “2-b24-g24-t4-o4” ismi kullanılacak ve bu düzen içerisinde isimlendirmeler yapılmaya devam edecektir.

Bu başlık ve bir sonraki başlıktaki taktiksel kararları içeren uygulamalar kapsamında kullanılacak problemler ise sırasıyla b24-g24-t4-o4, b36-g24-t4-o4, b24-g36-t4-o4, b24-g24-t6-o4, b24-g24-t4-o6, b60-g60-t15-o10 ve b100-g75-t25-o15 problemleri olacaktır. Van de Water ve Bukman (2010) çalışmalarında bir takımdaki optimal birey sayının 5 ila 9 arasında değiştiğini savunmaktadır. Yannibelli ve Amandi (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise literatürdeki taramalar sonucunda takım içerisinde etkili öğrenmenin sağlanabilmesi adına, bir takımda 6 bireyin bulunmasının ideal olduğu savunulmaktadır. b24-g24-t4-o4, b36-g24-t4-o4, b24-g36-t4-o4 ve b24-g24-t4-o6 problemleri bu sayıları karşılamaktadır.

Diğer problemler incelediğinde ise bu sayıda farklılık gösteren problemlerin b24-g24-t6-o4, b60-g60-t15-o10 ve b100-g75-t25-o15 problemleri olduğu görülmektedir ki bu da bu problemler kapsamında takımların 4 bireyden oluşarak, literatürdeki diğer birçok çalışmalarla oldukça paralel olduğu görülmektedir.

Ek olarak, her bir problem için en tecrübeli kişiler, takım sayıları ile sınırlı tutulmuştur ki bu da her bir en tecrübeli kişinin 1 takıma atanacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca, cinsiyet sayıları da her bir problem için eşit tutulmuştur. Bireylerin özellik puan değerleri, görevlerin süre değerleri ve görevlerin yerine getirilmesi için gerekli özellik puan değerleri ise b24-g24-t4-o4 problemi için 1 ila 20 arasında rassal olarak atanırken diğer problemler için bu değerler 1 ila 100 arasında rassal olarak atanmıştır.

4.2.1. Toplam sapmanın minimize edilmesi

Bir önceki başlıkta da belirtildiği üzere, uygulamaya ilk olarak sapmaların toplamalarının minimize edildiği model ile başlanacaktır. Bu ilk uygulamada ise ilk olarak 24 birey, 24 görev, 4 takım ve 4 özelliği içeren 24b-24g-4t-4o problemi 1, 2 ve 3 amaç fonksiyonlu modeller için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Her bir model için ise toplam 10 veri seti kullanılmıştır. Bu veri setleri ise 1'den 10'a kadar numaralandırılmıştır. Bu modellere ve veri setlerine ait sonuçlar, Çizelge 4.17., Çizelge 4.18. ve Çizelge 4.19. olarak verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde, O'Brien ve Mingers (1997) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan farklı sonuçların olduğu göze çarpmaktadır. O'Brien ve Mingers, çalışmalarında bireylerin özellik puanı değerlerini değil, bireylerin özelliklere sahip olup olmadıklarına göre 0 ya da 1 değerini kullanmaktaydı. Bu yüzden herhangi bir özellik açısından takımın puanı en fazla üye sayısı kadar olabilmekteydi. Bu ise ortaya çıkan sapma değerlerinin daha küçük olmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada ise sapma

Çizelge 4.17. 24b-24g-4t-4o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	20,50	0,00	16,33	19,02	36,83	19,02
2	18,00	2,00	13,83	11,24	33,83	11,24
3	20,50	2,00	13,50	26,92	36,00	26,92
4	21,00	2,00	14,67	48,00	37,67	48,00
5	21,00	1,50	20,00	9,33	42,50	9,33
6	24,00	0,00	13,33	52,03	37,33	52,03
7	21,50	2,00	29,00	9,30	52,50	9,30
8	21,50	1,50	25,50	6,78	48,50	6,78
9	18,00	0,00	26,33	9,41	44,33	9,41
10	19,00	2,00	25,67	4,53	46,67	4,53
Toplam =					416,16	196,56
Ortalama =					41,62	19,66

Çizelge 4.18. 24b-24g-4t-4o problemi, 2 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	20,50	0,00	16,33	3,44	18,20	36,83	21,64
2	18,00	2,00	13,83	4,53	3600,00	33,83	3604,53
3	20,50	2,00	13,50	6,33	13,50	36,00	19,83
4	21,00	2,00	14,67	4,64	308,03	37,67	312,67
5	21,00	1,50	20,00	3,22	3,16	42,50	6,38
6	24,00	0,00	13,33	7,06	18,33	37,33	25,39
7	21,50	2,00	29,00	6,39	3600,00	52,50	3606,39
8	21,50	1,50	25,50	6,70	4,97	48,50	11,67
9	18,00	0,00	26,33	5,00	4,52	44,33	9,52
10	19,00	2,00	25,67	2,00	3600,00	46,67	3602,00
Toplam =						416,16	11220,02
Ortalama =						41,62	1122,00

Çizelge 4.19. 24b-24g-4t-4o problemi, 3 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	S3 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	20,50	0,00	16,33	3,36	2,70	13,27	36,83	19,33
2	18,00	2,00	13,83	4,61	1,42	7,05	33,83	13,08
3	20,50	2,00	13,50	6,31	1,95	29,92	36,00	38,18
4	21,00	2,00	14,67	4,64	2400,00	8,64	37,67	2413,28
5	21,00	1,50	20,00	3,33	58,00	5,09	42,50	66,42
6	24,00	0,00	13,33	7,08	3,80	13,80	37,33	24,68
7	21,50	2,00	29,00	6,27	3,50	8,59	52,50	18,36
8	21,50	1,50	25,50	6,58	7,59	6,23	48,50	20,40
9	18,00	0,00	26,33	4,97	0,48	5,41	44,33	10,86
10	19,00	2,00	25,67	2,08	636,50	3,81	46,67	642,39
Toplam =							416,16	3266,98
Ortalama =							41,62	326,70

değerleri çok daha büyük olarak hesaplanabilmektedir.

Mingers ve O'Brien (1995) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sonuçların aynı türden verildiği gibi, bu çalışmada da çizelgeler dahilinde her ne kadar 1 amaç fonksiyonlu model C1, C2 ve C3 değerlerinin toplamı, 2 amaç fonksiyonlu modelin bir amacı C1 ve diğer amacı C2 ve C3 değerleri toplamı ve 3 amaç fonksiyonlu modelin amaç fonksiyonları sırasıyla C1, C2 ve C3 değerleri olsa da tüm modeller için C1, C2 ve C3 değerleri ayrıntılı incelenebilmesi adına ayrı ayrı verilmiştir. Bunun yanı sıra, hangi modelde hangi amaç fonksiyonunun sonuca ulaşmasının ne kadar sürdüğü de saniye cinsinden verilmiştir. Çizelgelerdeki "S1", "S2" ve "S3" sütunları modelin çalışma süresini saniye cinsinden göstermektedir. 1 amaç fonksiyonlu model için sadece S1 mevcut iken, 2 amaç fonksiyonlu model için S1 ve S2 ve 3 amaç fonksiyonlu model için de S1, S2 ve S3'ün tamamı mevcuttur. Her bir model için toplam 2 saat, yani 7200 saniye sınırı modellere dahil edilmiştir. Bu değer, 1 amaç fonksiyonlu model için direk olarak 7200 saniye iken, 2 amaç fonksiyonlu modelde her bir amaç fonksiyonu için 3600 saniye olmak üzere toplam 7200 saniye ve 3 amaç fonksiyonlu modelde ise her bir amaç fonksiyonu için 2400 saniye olmak üzere yine toplam 7200 saniye şeklindedir. Toplam süre ise çizelgeler dahilinde yer almaktadır. Çizelgelerin son 2 sütunu sırasıyla C1, C2 ve C3 değerlerinin toplamı ve toplam süre olarak verilmiştir. Bu iki sütunun en alt kısmında ise 10 veri seti için sırasıyla toplam sonuç ve toplam çalışma süresi ile beraber ortalama sonuç ve ortalama çalışma süreleri de eklenmiştir.

Bu üç çizelge dahilinde verilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, bu veri seti için tüm modeller toplam 416,16 ve ortalama 41,62 değerleri ile aynı sonuca ulaşmışlardır. Ancak modellerin sonuca ulaşmak için harcadıkları zamanlar göz önünde bulundurulduğunda ise ortalama 19,66 saniye ile 1 amaç fonksiyonlu modelin diğerlerine göre çok daha hızlı bir şekilde sonuca ulaştığı görülmektedir. Hemen akabinde, ortalama 326,7 saniye ile 3 amaç fonksiyonlu model gelirken, ortalama 1122 saniye ile 2 amaç fonksiyonlu model aynı sonuca ulaşmak için çok daha fazla zaman harcamıştır. Yapılan bu değerlendirmeler, özellikle operasyonel anlamda bu çalışmanın en önemli çıkış noktalarından biri olup, Mingers ve O'Brien (1995) tarafından ele alınan çalışmada olduğu gibi, modellerin çözülme süreleri ve atamaların kalitesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu ilk uygulamanın ilerleyen kısımlarında ise sonuçlara daha kısa sürede ulaşan ilk 2 model üzerinden devam edilecektir. Önceki paragraftan da hatırlanacağı üzere, 1 ve 3 amaç fonksiyonlu modeller sonuçlara ortalama süre ile daha hızlı bir şekilde ulaşmıştı.

Şimdiki uygulamada yapılacak değişiklik ise veri setlerinin büyüklüklerin artırılması olacaktır. Bu artış hem 1 hem de 3 amaç fonksiyonlu modeller için gerçekleştirilecek ve bu sayede hem verilerin değişimleri sonucunda modelin nasıl tepki verdiği hem de daha büyük veri setlerinde hangi model ile daha iyi sonuçlara ulaşıldığı analiz edilecektir. Bu veri artırma işlemleri hem birey hem görev hem takım hem de özellik sayıları için ayrı ayrı yapılacaktır. Her defasında diğer veriler sabit iken, verilerden biri 1,5 katına çıkarılacaktır ki bu sayede oran farkı olmayacaktır. Örneğin, önceki uygulamada ele alınan 24b-24g-4t-4o probleminde ilk olarak birey sayısı 1,5 katına çıkarılacak ve 36b-24g-4t-4o problemi ele alınacaktır. İkinci olarak görev, üçüncü olarak takım ve dördüncü olarak da özellik sayısı 1,5 katına çıkarılarak ve sırasıyla 24b-36g-4t-4o, 24b-24g-6t-4o ve 24b-24g-4t-6o problemleri ele alınacaktır. Önceki kısımda anlatıldığı üzere, bu işlem hem 1 hem de 3 amaç fonksiyonlu modeller için ayrı ayrı gerçekleştirilecektir. 1 amaç fonksiyonlu modelden başlamak gerekirse, bu anlatılan problemlerin sonuçlarının bulunduğu çizelgeler sırasıyla Çizelge 4.20., Çizelge 4.21., Çizelge 4.22. ve Çizelge 4.23. şeklindedir.

1 amaç fonksiyonlu modeli çözüm süresi açısından kendi içerisinde değerlendirmek gerekirse, verilerdeki değişiklikler arasında süreyi en çok etkileyen ortalama 3666,75 saniye çözüm süresi ile görev sayısı olmuştur. Bu süreyi ortalama 3177,11 saniye çözüm süresi ile birey sayısı takip ederken, bu iki verideki değişiklik birbirine yakın ölçüde çözüm sürelerini etkilemiştir. 24b-24g-4t-4o probleminin ortalama çözüm süresinin 19,66 saniye olduğu göz önünde bulundurulursa büyük bir fark olduğu söylenebilir. Bu ortalama sürelerin ardından ise ortalama 1904,04 saniye çözüm süresi ile

Çizelge 4.20. 36b-24g-4t-4o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	22,00	2,00	64,78	962,55	88,78	962,55
2	30,50	1,50	61,72	3289,24	93,72	3289,24
3	32,00	1,50	146,89	2249,72	180,39	2249,72
4	25,50	2,00	150,61	7200,00	178,11	7200,00
5	28,50	2,00	106,56	1411,39	137,06	1411,39
6	29,50	3,00	57,89	2917,69	90,39	2917,69
7	34,00	1,50	137,17	2785,06	172,67	2785,06
8	28,50	7,00	41,89	5755,72	77,39	5755,72
9	37,00	2,00	100,89	3448,13	139,89	3448,13
10	30,00	2,00	82,11	1751,58	114,11	1751,58
				Toplam =	1272,51	31771,08
				Ortalama =	127,25	3177,11

Çizelge 4.21. 24b-36g-4t-4o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	95,00	0,00	79,94	33,72	174,94	33,72
2	115,00	1,50	65,78	7200,00	182,28	7200,00
3	114,50	1,50	148,94	7200,00	264,94	7200,00
4	107,00	0,00	126,94	390,39	233,94	390,39
5	118,50	1,50	71,39	7200,00	191,39	7200,00
6	102,00	2,00	64,56	7200,00	168,56	7200,00
7	93,50	0,00	59,72	14,95	153,22	14,95
8	89,00	0,00	132,28	26,80	221,28	26,80
9	112,00	1,50	94,33	7200,00	207,83	7200,00
10	97,50	0,00	66,94	201,61	164,44	201,61
Toplam =					1962,82	36667,47
Ortalama =					196,28	3666,75

Çizelge 4.22. 24b-24g-6t-4o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	231,67	3,33	156,25	4082,53	391,25	4082,53
2	287,00	3,67	203,25	711,13	493,92	711,13
3	259,67	1,66	233,00	3667,92	494,33	3667,92
4	233,33	9,00	114,50	1949,91	356,83	1949,91
5	266,33	6,00	123,75	2330,08	396,08	2330,08
6	218,33	4,00	242,00	1237,06	464,33	1237,06
7	250,67	2,67	210,00	964,42	463,34	964,42
8	235,67	4,00	149,25	556,28	388,92	556,28
9	274,00	5,33	171,50	337,13	450,83	337,13
10	223,00	2,67	181,75	3203,94	407,42	3203,94
Toplam =					4307,25	19040,40
Ortalama =					430,73	1904,04

Çizelge 4.23. 24b-24g-4t-6o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	244,00	1,50	190,00	122,09	435,50	122,09
2	260,50	2,00	129,33	1074,92	391,83	1074,92
3	229,00	3,00	118,00	154,88	350,00	154,88
4	248,00	2,00	170,33	105,34	420,33	105,34
5	292,50	3,00	169,83	117,50	465,33	117,50
6	274,00	0,00	218,17	14,42	492,17	14,42
7	293,00	5,00	120,67	792,05	418,67	792,05
8	269,00	5,00	171,67	416,86	445,67	416,86
9	282,50	1,50	186,33	141,52	470,33	141,52
10	262,00	0,00	164,50	26,11	426,50	26,11
Toplam =					4316,33	2965,69
Ortalama =					431,63	296,57

takım sayısındaki değişiklik gelirken, en az değişim ortalama 296,57 saniye ile özellik sayısındaki değişiklik ile gerçekleşmiştir. Bir sonraki adım ise aynı işlemlerin 3 amaç fonksiyonlu model için gerçekleştirilmesi olacaktır.

Aynı işlemleri 3 amaç fonksiyonlu model ile gerçekleştirdiğimizde ise elde edilen sonuçlar Çizelge 4.24., Çizelge 4.25., Çizelge 4.26. ve Çizelge 4.27. olarak verilmiştir.

3 amaç fonksiyonlu model dahilinde çalıştırılan problemler kendi içerisinde karşılaştırılacak olursa, 1 amaçlı modelin aksine ortalama çözüm süresi en uzun olan problem, 3518,04 saniye ile 36b-24g-4t-4o problemi olmuştur. Bu süreyi ortalama 1886,65 saniye ile 24b-24g-4t-6o problemi, 1232,63 saniye ile 24b-36g-4t-4o problemi ve 1152,65 saniye ile 24b-24g-6t-4o problemi takip etmektedir.

Çizelge 4.24. 36b-24g-4t-4o problemi, 3 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	S3 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	22,00	2,00	65,00	94,52	433,63	2400,00	89,00	2928,15
2	30,50	1,50	61,72	531,36	2400,00	2400,00	93,72	5331,36
3	32,00	1,50	146,89	1078,00	2400,00	412,70	180,39	3890,70
4	25,50	2,00	150,61	139,81	2400,00	257,84	178,11	2797,65
5	28,50	2,00	106,56	591,00	540,12	2400,00	137,06	3531,12
6	29,50	1,50	60,44	488,28	2400,00	2400,00	91,44	5288,28
7	34,00	1,50	137,17	468,02	429,97	457,98	172,67	1355,97
8	28,00	1,50	55,33	376,98	544,03	2400,00	84,83	3321,01
9	37,00	2,00	100,89	615,53	2400,00	874,88	139,89	3890,41
10	30,00	2,00	82,11	335,59	2400,00	110,16	114,11	2845,75
Toplam =							1281,22	35180,40
Ortalama =							128,12	3518,04

Çizelge 4.25. 24b-36g-4t-4o problemi, 3 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	S3 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	95,00	0,00	79,94	3,94	1,00	5,75	174,94	10,69
2	115,00	1,50	65,78	1,92	2400,00	14,14	182,28	2416,06
3	114,50	1,50	148,94	2,14	2400,00	4,30	264,94	2406,44
4	107,00	0,00	126,94	4,03	1,53	43,53	233,94	49,09
5	118,50	1,50	71,39	3,34	2400,00	17,20	191,39	2420,54
6	102,00	2,00	64,56	2,66	2400,00	15,77	168,56	2418,43
7	93,50	0,00	59,72	2,73	2,14	31,58	153,22	36,45
8	89,00	0,00	132,28	2,78	2,48	5,73	221,28	10,99
9	112,00	1,50	94,33	5,91	2400,00	44,55	207,83	2450,46
10	97,50	0,00	66,94	5,05	2,06	100,02	164,44	107,13
Toplam =							1962,82	12326,28
Ortalama =							196,28	1232,63

Çizelge 4.26. 24b-24g-6t-4o problemi, 3 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	S3 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	231,67	1,67	198,75	2,03	35,14	2297,61	432,09	2334,78
2	287,00	1,67	210,25	6,83	59,44	1606,56	498,92	1672,83
3	258,67	1,66	235,00	2,22	13,22	359,61	495,33	375,05
4	233,33	1,67	160,00	9,31	31,74	1316,72	395,00	1357,77
5	266,33	0,00	209,75	6,64	6,80	513,92	476,08	527,36
6	218,33	2,67	255,00	2,08	13,64	1069,78	476,00	1085,50
7	250,67	2,67	210,00	13,83	53,45	249,88	463,34	317,16
8	235,67	0,00	172,75	2,02	1,33	384,22	408,42	387,57
9	274,00	2,67	199,50	12,36	81,66	2400,00	476,17	2494,02
10	223,00	2,67	181,75	3,63	73,97	896,88	407,42	974,48
Toplam =							4528,77	11526,52
Ortalama =							452,88	1152,65

Çizelge 4.27. 24b-24g-4t-6o problemi, 3 amaç fonksiyonlu model için toplam sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	S3 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	244,00	1,50	190,00	4,78	713,06	237,89	435,50	955,73
2	260,50	2,00	129,33	2,97	2400,00	52,52	391,83	2455,49
3	229,00	2,00	119,67	4,27	1001,25	165,55	350,67	1171,07
4	248,00	2,00	170,33	13,11	2400,00	237,53	420,33	2650,64
5	292,50	1,50	171,83	3,55	2400,00	95,72	465,83	2499,27
6	274,00	0,00	218,17	2,78	1,33	22,05	492,17	26,16
7	293,00	1,50	129,00	3,41	2400,00	143,92	423,50	2547,33
8	269,00	1,50	177,33	2,45	2135,80	1930,72	447,83	4068,97
9	282,50	1,50	186,33	7,97	2400,00	26,13	470,33	2434,10
10	262,00	0,00	164,50	2,33	2,70	52,66	426,50	57,69
Toplam =							4324,49	18866,45
Ortalama =							432,45	1886,65

Problemleri 1 ve 3 amaç fonksiyonlu modeller açısından değerlendirmek gerekirse, ilk olarak 36b-24g-4t-4o problemi için, Çizelge 4.20. ve Çizelge 4.24 incelenebilir. Çizelgeler incelendiğinde, 1 amaç fonksiyonlu modelin 3177,11 saniyelik ortalama çözüm süresi ile 3518,04 saniyelik ortalama çözüm süresine sahip 3 amaç fonksiyonlu modelden daha hızlı çözüme ulaştığı görülmektedir. Bulunan sonuçları karşılaştırmak gerekirse de 1, 6 ve 8 numaraları verilerde 1 amaç fonksiyonlu modelin daha iyi sonuçlara ulaştığı görülmektedir. Sonuç olarak hem çözüm süresi hem de sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, 36b-24g-4t-4o problemi kapsamında birey sayısının daha yüksek olduğu problemler için 1 amaç fonksiyonlu modelin tercih edilmesinin daha iyi olduğu söylenebilir.

İkinci olarak 24b-36g-4t-4o problemi için Çizelge 4.21. ve Çizelge 4.25'ü inceleyebiliriz. Ortalama çözüm süresi 1232,63 saniye olan 3 amaç fonksiyonlu modelin, ortalama çözüm süresi 3666,75 saniye olan 1 amaç fonksiyonlu modelden çok daha hızlı sonuca ulaştığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, amaç fonksiyonu sonuçlarının karşılaştırılması gerekirse de her iki modelde de problemin sonuçlarının 10 veri için de aynı geldiği görülmektedir. Bu noktada ise 24b-36g-4t-4o problemi kapsamında görev sayısının daha yüksek olduğu problemler için 3 amaç fonksiyonlu modelin tercih edilmesinin daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Üçüncü olarak, 24b-24g-6t-4o problemi için ise Çizelge 4.22. ve Çizelge 4.26 incelenebilir. Ortalama çözüm süreleri incelendiğinde, 3 amaç fonksiyonlu modelin 1152,65 saniyelik ortalama çözüm süresi ile ortalama çözüm süresi 1904,04 saniyelik olan 1 amaç fonksiyonlu modelden daha hızlı çözüme kavuştuğu söylenebilir. Amaç fonksiyonlarının sonuçları değerlendirildiğinde ise 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 numaralı olmak üzere toplam 8 veri için 1 amaç fonksiyonlu modelin daha iyi bir sonuç bulduğu ve diğer 2 veri için ise aynı sonuca ulaşıldığı görülmektedir. Ortalama değerlere bakıldığında ise 430,73'lük ortalamaya sahip 1 amaç fonksiyonlu modelin ortalama 452,88'lik değere sahip 3 amaç fonksiyonlu modele göre daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Dolayısıyla, 24b-24g-6t-4o problemi kapsamında, takım sayısının daha yüksek olduğu problemlerde sürenin önemli olmaması ya da yeteri kadar süre olması durumunda kesinlikle 1 amaç fonksiyonlu modelin tercih edilmesi gerektiği söylenebilir.

Dördüncü ve son olarak 24b-24g-4t-6o problemi için ise Çizelge 4.23. ve Çizelge 4.27 incelenebilir. Ortalama 296,57 saniyelik çözüm süresi ile 1 amaç fonksiyonlu modelin ortalama 1886,65 saniyelik ortalama çözüm süresine sahip 3 amaçlı fonksiyona kıyasla çok daha hızlı çözüme kavuştuğu, yine ortalama 431,63'lük amaç fonksiyonu değerine sahip 1 amaç fonksiyonlu modelin 432,45'lik amaç fonksiyonu değerine sahip 3 amaç fonksiyonlu modele kıyasla daha iyi amaç fonksiyonu sonucuna ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla 24b-24g-4t-6o problemi kapsamında da özellik sayısının daha yüksek olduğu problemler için yine 1 amaç fonksiyonlu modelin tercih edilmesinin daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Bu dört veride yapılan değişiklikler ile oluşturulan problemlerin sonuçlarının topluca değerlendirilmesi gerekirse birey, takım ve özellik sayılarının daha yüksek olduğu problemler için 1, görev sayısının daha yüksek olduğu problemler için ise 3 amaç fonksiyonlu modelin kullanılmasının daha avantajlı olduğu söylenebilir.

4.2.2. En büyük sapmanın minimize edilmesi

Uygulamada ikinci adım olarak ise, sapmaların en büyüğünün minimize edildiği model ile devam edilecektir. Tıpkı ilk uygulamada olduğu gibi, bu uygulamada da ilk olarak 24 birey, 24 görev, 4 takım ve 4 özelliği içeren 24b-24g-4t-4o problemi 1, 2 ve 3 amaç fonksiyonlu modeller için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Her bir model için ise toplam 10 veri seti kullanılmıştır. Bu veri setleri ise 1'den 10'a kadar numaralandırılmıştır. Bu modellere ve veri setlerine ait sonuçlar Çizelge 4.28, Çizelge 4.29. ve Çizelge 4.30. olarak verilmiştir.

Bu uygulamada da çizelgelerde her bir model için C1, C2 ve C3 değerleri ayrı ayrı verilmiştir. Ayrıca bu uygulamada da 2 saatlik sınır korunmuştur. Geriye kalan tüm düzen ilk uygulamadaki gibidir. Bu noktada, bu ilk üç çizelgede verilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, ilk uygulamanın aksine tüm modellerde aynı toplam C sonucu elde edilmemiştir. C değerlerinin toplamı 59,41'lik değer ile 1 ve 3 amaç fonksiyonlu modellerde aynı olurken, 59,25'lik değer ile 2 amaç fonksiyonlu modelde daha düşük olarak hesaplanmıştır. Bu noktada, uygulamanın ilerleyen kısmında deney için kullanılacak ilk modelin 2 amaç fonksiyonlu model olduğu söylenebilir. Diğer iki model arasında seçim yapılması için ortalama çözüm süreleri dikkate alınır, 1 amaç fonksiyonlu modelin ortalama 1008,78 saniyelik çözüm süresi ile 2077,93 saniyelik çözüm süresine sahip 3 amaç fonksiyonlu modelden daha hızlı sonuca ulaştığı görülmektedir ve bu yüzden ilerleyen deneylerde kullanılacak ikinci model 1 amaç fonksiyonlu modeldir. Önceki uygulamada olduğu gibi, 3 model arasından seçilen 2

Çizelge 4.28. 24b-24g-4t-4o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	2,50	0,00	2,33	75,64	4,83	75,64
2	2,50	0,50	1,33	22,63	4,33	22,63
3	3,25	0,50	1,50	33,41	5,25	33,41
4	2,75	0,50	2,17	8,47	5,42	8,47
5	3,50	0,75	1,83	7200,00	6,08	7200,00
6	3,00	0,00	1,83	24,16	4,83	24,16
7	3,00	0,50	3,83	629,34	7,33	629,34
8	2,75	0,75	3,67	1998,16	7,17	1998,16
9	3,00	0,00	4,67	88,95	7,67	88,95
10	2,50	0,50	3,50	7,00	6,50	7,00
Toplam =					59,41	10087,76
Ortalama =					5,94	1008,78

Çizelge 4.29. 24b-24g-4t-4o problemi, 2 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	2,50	0,00	2,33	0,58	384,38	4,83	384,96
2	2,50	0,50	1,33	0,47	3600,00	4,33	3600,47
3	3,25	0,50	1,50	1,16	308,64	5,25	309,80
4	2,75	0,50	2,17	2,34	245,59	5,42	247,93
5	3,50	0,75	1,67	0,61	1143,97	5,92	1144,58
6	3,00	0,00	1,83	0,64	102,38	4,83	103,02
7	3,00	0,50	3,83	0,56	3600,00	7,33	3600,56
8	2,75	0,75	3,67	0,64	3600,00	7,17	3600,64
9	3,00	0,00	4,67	1,91	3600,00	7,67	3601,91
10	2,50	0,50	3,50	0,38	72,08	6,50	72,46
Toplam =						59,25	16666,33
Ortalama =						5,93	1666,63

Çizelge 4.30. 24b-24g-4t-4o problemi, 3 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	S3 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	2,50	0,00	2,33	0,61	0,75	2400,00	4,83	2401,36
2	2,50	0,50	1,33	0,39	1,22	2400,00	4,33	2401,61
3	3,25	0,50	1,50	1,16	1,77	2400,00	5,25	2402,93
4	2,75	0,50	2,17	2,34	1,34	1677,86	5,42	1681,54
5	3,50	0,75	1,83	0,59	678,36	2400,00	6,08	3078,95
6	3,00	0,00	1,83	0,70	0,45	2400,00	4,83	2401,15
7	3,00	0,50	3,83	0,64	1,97	2400,00	7,33	2402,61
8	2,75	0,75	3,67	0,63	1212,06	2400,00	7,17	3612,69
9	3,00	0,00	4,67	1,97	0,75	118,31	7,67	121,03
10	2,50	0,50	3,50	0,50	1,19	273,70	6,50	275,39
Toplam =							59,41	20779,26
Ortalama =							5,94	2077,93

model ile ekstra deneyler gerçekleştirilecektir. Bu bağlamda, boyutların arttığı yeni veri setleri ilk olarak 2 amaç fonksiyonlu model kapsamında çalıştırılmıştır.

Bir önceki uygulamada olduğu gibi bu kısımda yine 24b-24g-4t-4o probleminde ilk olarak birey sayısı 1,5 katına çıkarılacak ve 36b-24g-4t-4o problemi ele alınacaktır. İkinci olarak görev, üçüncü olarak takım ve dördüncü olarak da özellik sayısı 1,5 katına çıkarılarak sırasıyla 24b-36g-4t-4o, 24b-24g-6t-4o ve 24b-24g-4t-6o problemleri ele alınacaktır.

Birey sayısının 1,5 katına çıkarılarak oluşturulan 36b-24g-4t-4o problemine ait sonuçlar Çizelge 4.31. dahilinde verilmiştir.

Çizelge 4.31. 36b-24g-4t-4o problemi, 2 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	3,75	0,50	9,83	99,53	3600,00	14,08	3699,53
2	5,25	0,75	8,78	365,88	3600,00	14,78	3965,88
3	4,75	1,25	14,78	127,24	3600,00	20,78	3727,24
4	3,75	0,50	17,33	81,80	3600,00	21,58	3681,80
5	4,25	0,50	13,22	50,08	3600,00	17,97	3650,08
6	5,50	0,75	8,83	175,66	3600,00	15,08	3775,66
7	5,25	0,75	16,83	120,75	3600,00	22,83	3720,75
8	3,25	0,75	7,61	63,97	3600,00	11,61	3663,97
9	4,75	0,50	13,11	93,83	3600,00	18,36	3693,83
10	4,25	0,50	10,67	93,69	832,33	15,42	926,02
Toplam =						172,49	34504,76
Ortalama =						17,25	3450,48

Görev sayısının 1,5 katına çıkarılarak oluşturulan 24b-36g-4t-4o problemine ait sonuçlar Çizelge 4.32. dahilinde verilmiştir.

Çizelge 4.32. 24b-36g-4t-4o problemi, 2 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	13,00	0,00	9,50	1,58	3600,00	22,50	3601,58
2	16,75	0,75	7,39	0,81	3600,00	24,89	3600,81
3	14,25	0,75	14,56	0,74	3600,00	29,56	3600,74
4	16,75	0,00	14,94	2,34	3600,00	31,69	3602,34
5	15,00	0,75	10,78	1,69	3600,00	26,53	3601,69
6	16,50	0,50	7,61	0,66	3600,00	24,61	3600,66
7	15,25	0,00	5,17	0,64	3600,00	20,42	3600,64
8	14,00	0,00	13,67	0,55	3600,00	27,67	3600,55
9	17,25	0,75	15,44	0,78	3600,00	33,44	3600,78
10	10,25	0,00	13,28	1,88	3600,00	23,53	3601,88
Toplam =						264,84	36011,67
Ortalama =						26,48	3601,17

Takım sayısının 1,5 katına çıkarılması ile oluşturulan 24b-24g-6t-4o problemine ait sonuçlar Çizelge 4.33. dahilinde verilirken, özellik sayısının 1,5 katına çıkarılması ile oluşturulan 24b-24g-4t-6o problemine ait sonuçlar ise Çizelge 4.34. dahilinde verilmiştir.

2 amaç fonksiyonlu modeli kendi içerisinde değerlendirmek gerekirse, verilerdeki değişiklikler arasında süreyi en çok etkileyen ortalama 3601,17 saniyelik çözüm süresi ile görev sayısı olmuştur. Dolayısıyla ortalama çözüm süresi en uzun olan problem 24b-36g-4t-4o problemi olurken bu problemi sırasıyla 3450,48 saniyelik ortalama çözüm süresi ile 36b-24g-4t-4o problemi, 2272,23 saniyelik ortalama çözüm süresi ile 24b-24g-4t-6o

Çizelge 4.33. 24b-24g-6t-4o problemi, 2 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	26,83	1,17	13,00	0,88	294,50	41,00	295,38
2	28,17	1,17	18,00	0,44	144,13	47,34	144,57
3	25,83	2,17	17,50	0,45	492,59	45,50	493,04
4	23,67	1,83	11,25	1,00	263,67	36,75	264,67
5	25,00	1,00	13,75	1,02	134,20	39,75	135,22
6	27,50	1,67	23,50	0,39	993,39	52,67	993,78
7	25,50	2,67	13,50	1,30	3600,00	41,67	3601,30
8	24,50	1,00	14,50	0,52	444,22	40,00	444,74
9	25,67	1,67	16,25	0,88	308,97	43,59	309,85
10	26,00	1,67	14,25	0,78	203,39	41,92	204,17
Toplam =						430,19	6886,72
Ortalama =						43,02	688,67

Çizelge 4.34. 24b-24g-4t-6o problemi, 2 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	S2 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	26,25	0,75	17,17	0,83	1643,53	44,17	1644,36
2	33,00	0,50	12,33	1,97	3099,81	45,83	3101,78
3	24,75	0,50	13,33	1,02	3600,00	38,58	3601,02
4	24,25	0,50	16,17	0,88	3600,00	40,92	3600,88
5	27,50	0,75	17,50	0,52	489,92	45,75	490,44
6	26,75	0,00	17,00	1,42	59,17	43,75	60,59
7	31,50	0,75	12,50	0,66	3600,00	44,75	3600,66
8	27,00	0,75	23,50	0,81	2971,58	51,25	2972,39
9	24,50	1,25	13,67	1,67	47,38	39,42	49,05
10	30,00	0,00	19,33	1,16	3600,00	49,33	3601,16
Toplam =						443,75	22722,33
Ortalama =						44,38	2272,23

problemi ve 688,67 saniyelik ortalama çözüm süresi ile 24b-24g-6t-4o problemi takip etmektedir. Burada dikkat çeken nokta ise diğer 3 problemin ortalama çözüm süresi 24b-24g-4t-4o problemine göre daha uzun olurken, takım sayısının artırıldığı 24b-24g-6t-4o probleminin ortalama çözüm süresi daha kısa olmuştur.

Aynı işlemler 1 amaç fonksiyonlu model ile gerçekleştirildiğinde, birey sayısının 1,5 katına çıkarılarak oluşturulan 36b-24g-4t-4o problemine ait sonuçlar Çizelge 4.35. dahilinde, görev sayısının 1,5 katına çıkarılması ile oluşturulan 24b-36g-4t-4o problemine ait sonuçlar Çizelge 4.36. dahilinde ve takım sayısının 1,5 katına çıkarılması ile oluşturulan 24b-24g-6t-4o problemine ait sonuçlar ise Çizelge 4.37. dahilinde verilmiştir.

Çizelge 4.35. 36b-24g-4t-4o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	3,75	0,50	9,83	617,13	14,08	617,13
2	5,25	1,25	8,72	7200,00	15,22	7200,00
3	4,75	1,25	14,33	4673,31	20,33	4673,31
4	3,75	0,50	17,00	744,41	21,25	744,41
5	4,25	0,50	12,44	1881,91	17,19	1881,91
6	5,50	0,75	7,22	3371,88	13,47	3371,88
7	5,25	0,75	16,78	2862,84	22,78	2862,84
8	3,25	0,75	7,39	6078,16	11,39	6078,16
9	4,75	0,50	12,22	553,91	17,47	553,91
10	4,25	0,50	10,67	2237,52	15,42	2237,52
Toplam =					168,60	30221,07
Ortalama =					16,86	3022,11

Çizelge 4.36. 24b-36g-4t-4o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	13,00	0,00	9,39	7200,00	22,39	7200,00
2	16,75	0,75	6,94	7200,00	24,44	7200,00
3	14,25	0,75	14,56	7200,00	29,56	7200,00
4	16,75	0,00	14,83	3140,05	31,58	3140,05
5	15,00	0,75	10,78	7200,00	26,53	7200,00
6	16,50	0,50	7,56	7200,00	24,56	7200,00
7	15,25	0,00	5,17	4827,95	20,42	4827,95
8	14,00	0,00	13,28	7200,00	27,28	7200,00
9	17,25	0,75	15,44	7200,00	33,44	7200,00
10	10,25	0,00	13,17	7200,00	23,42	7200,00
Toplam =					263,62	65568,00
Ortalama =					26,36	6556,80

Çizelge 4.37. 24b-24g-6t-4o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	26,83	1,17	13,00	874,27	41,00	874,27
2	28,17	1,17	18,00	613,24	47,34	613,24
3	25,83	2,17	17,50	824,36	45,50	824,36
4	23,67	1,83	11,25	479,58	36,75	479,58
5	25,00	1,00	13,75	248,66	39,75	248,66
6	27,50	1,67	23,50	354,16	52,67	354,16
7	25,50	2,67	13,50	678,55	41,67	678,55
8	24,50	1,00	14,50	310,50	40,00	310,50
9	26,17	1,67	15,50	275,34	43,34	275,34
10	26,00	1,67	14,25	2942,11	41,92	2942,11
Toplam =					429,94	7600,77
Ortalama =					42,99	760,08

Bunun yanı sıra, özellik sayısının 1,5 katına çıkarılması ile oluşturulan 24b-24g-4t-6o problemine ait sonuçlar ise Çizelge 4.38. dahilinde verilmiştir.

Çizelge 4.38. 24b-24g-4t-6o problemi, 1 amaç fonksiyonlu model için en büyük sapma sonuçları

No	C1	C2	C3	S1 (Sn.)	C1+C2+C3	Toplam Süre (Sn.)
1	26,25	0,75	17,17	67,09	44,17	67,09
2	33,00	0,50	12,33	250,27	45,83	250,27
3	24,75	0,50	12,33	70,75	37,58	70,75
4	24,25	0,50	16,17	120,03	40,92	120,03
5	27,50	0,75	17,50	141,34	45,75	141,34
6	26,75	0,00	17,00	84,92	43,75	84,92
7	31,50	1,75	11,00	172,02	44,25	172,02
8	27,00	0,75	23,50	197,92	51,25	197,92
9	24,50	1,25	13,67	42,06	39,42	42,06
10	30,00	0,00	19,17	730,59	49,17	730,59
Toplam =					442,09	1876,99
Ortalama =					44,21	187,70

1 amaç fonksiyonlu modeli kendi içerisinde değerlendirmek gerekirse, verilerdeki değişiklikler arasında süreyi en çok etkileyen problem 6556,8 saniyelik ortalama çözüm süresi ile tıpkı 2 amaç fonksiyonlu modelde olduğu gibi 24b-36g-4t-4o problemi olmuştur. Bu problemi ise sırasıyla 3022,11 saniyelik ortalama çözüm süresi ile 36b-24g-4t-4o problemi, 760,08 ortalama çözüm süresi ile 24b-24g-6t-4o problemi ve 187,7 saniyelik ortalama çözüm süresi ile 24b-24g-4t-6o problemi takip etmiştir. Ayrıca, 24b-24g-4t-4o problemi ile kıyaslandığında ise 36b-24g-4t-4o ve 24b-36g-4t-4o problemlerinin ortalama çözüm süresi daha uzun olurken 24b-24g-6t-4o ve 24b-24g-4t-6o problemlerinin ortalama çözüm süreleri daha kısa olmuştur.

Bunlara ek olarak, problemleri 2 ve 1 amaç fonksiyonlu modeller kapsamında değerlendirmek gerekirse de ilk olarak 36b-24g-4t-4o problemi için Çizelge 4.31. ve Çizelge 4.35 incelenebilir. Çizelgeler incelendiğinde, 1 amaç fonksiyonlu modelin 3022,11 saniyelik ortalama çözüm süresi ile, 3450,48 saniyelik ortalama çözüm süresine sahip 2 amaç fonksiyonlu modelden daha hızlı çözüme ulaştığı görülmektedir ve bunun yanı sıra, 16,86'lık ortalama amaç fonksiyonu değeri ile de yine 17,25'lik ortalama amaç fonksiyonu değerine sahip 2 amaç fonksiyonlu modelden daha iyi bir sonuca ulaşılmıştır. Sonuç olarak hem çözüm süresi hem de sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, 36b-24g-4t-4o problemi kapsamında birey sayısının daha yüksek olduğu problemler için 1 amaç fonksiyonlu modelin tercih edilmesinin daha iyi olduğu söylenebilir.

İkinci olarak, 24b-36g-4t-4o problemi için Çizelge 4.32. ve Çizelge 4.36 incelenebilir. Ortalama çözüm süresi 3601,17 saniye olan 2 amaç fonksiyonlu modelin, ortalama çözüm süresi 6556,9 saniye olan 1 amaç fonksiyonlu modelden çok daha hızlı sonuca ulaştığı görülmektedir. Amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması gerekirse de 26,36'lık değere sahip 1 amaç fonksiyonlu model, 26,48'lik değere sahip 2 amaç fonksiyonlu modelden küçük bir farkla olsa da daha iyi sonuca ulaşmıştır. Bu noktada amaç fonksiyonundaki küçük farkların göz ardı edilebileceği durumlar için ortalama çözüm süresi oldukça daha kısa olan 2 amaç fonksiyonlu model tercih edilebilir ancak aksi durumda 1 amaç fonksiyonlu model tercih edilebilir.

Üçüncü olarak 24b-24g-6t-4o problemi için ise Çizelge 4.33. ve Çizelge 4.37 incelenebilir. Ortalama çözüm süreleri incelendiğinde, 2 amaç fonksiyonlu modelin 688,67 saniyelik ortalama çözüm süresi ile ortalama çözüm süresi 760,08 saniye olan 1 amaç fonksiyonlu modelden daha hızlı çözüme kavuştuğu söylenebilir. Amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması gerekirse de 42,99'luk değere sahip 1 amaç fonksiyonlu model, 43,02'lik değere sahip 2 amaç fonksiyonlu modelden küçük bir farkla olsa da daha iyi sonuca ulaşmıştır. Bu noktada amaç fonksiyonundaki küçük farkların göz ardı edilebileceği durumlar için ortalama çözüm süresi daha kısa olan 2 amaç fonksiyonlu model tercih edilebilir ancak aksi durumda 1 amaç fonksiyonlu model tercih edilebilir.

Dördüncü ve son olarak 24b-24g-4t-6o problemi için ise Çizelge 4.34. ve Çizelge 4.38 incelenebilir. Ortalama 187,7 saniyelik çözüm süresi ile 1 amaç fonksiyonlu modelin 2272,23 saniyelik ortalama çözüm süresine sahip 2 amaç fonksiyonlu modele kıyasla çok daha hızlı çözüme kavuştuğu, yine ortalama 44,21'lik amaç fonksiyonu değeri ile 1 amaç fonksiyonlu modelin 44,38'lik değere sahip 2 amaç fonksiyonlu modele kıyasla daha iyi amaç fonksiyonu sonucuna ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla 24b-24g-4t-6o problemi kapsamında da özellik sayısının daha yüksek olduğu problemler için yine 1 amaç fonksiyonlu modelin tercih edilmesinin daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Bu dört veride yapılan değişiklikler ile oluşturulan problemlerin sonuçlarının topluca değerlendirilmesi gerekirse, birey ve özellik sayılarının daha yüksek olduğu problemler için 1 amaç fonksiyonlu modelin tercih edilmesi daha avantajlı iken, takım ve görev sayısının daha yüksek olduğu problemler için ise çözüm süresi ya da amaç fonksiyonu değerinin önemine göre seçilecek model değişiklik göstermektedir.

Uygulamanın bu kısmına kadar olan sonuçların geçerliliği konusuna değinmek gerekirse, aynı veri setlerine ait modellerin çalıştırılması sonucunda elde edilen sonuçların C1, C2 ya da C3 açısından hemen hemen aynı ya da en azından bir C değerinin

aynı ve diğerlerinin de birbirine yakın olmasının yanı sıra, aynı modele ait çalıştırılan modellerin çözüm sürelerinin arasında süre farkının çok yüksek olmaması sonuçların geçerliliğinin uygun olduğunu göstermektedir. Bu bölümde, son olarak uygulanabilirlikten bahsetmek gerekirse de bir kurum kapsamında proje bazlı çalışmada günlük ya da haftalık operasyonel kararların alınması noktasında ya da öğrenciler kapsamında belirli görev dağılımına sahip ödevlerin olabildiğince hızlıca atanması noktasında, bu modeller bireylerin ve görevlerin takımlara atanmasında uygulanabilir.

4.3. Taktiksel Kararlar Dahilinde Örnek Uygulamalar

Bilindiği üzere, taktiksel kararlar genellikle dönemsel olmakla beraber, operasyonel kararlardan daha uzun bir zamana tekabül etmektedir. Bu başlık altında ise, çalışan sayısı 60 ila 100 dolaylarında olan ve proje bazlı çalışma kapsamında uzun vadeli kararlar alması gereken işletmeler için uygulamalar gerçekleştirilecektir. Bu kısımda veri büyüklüğü artmakla beraber, veri seti sayısı daha az ve verilen süre ise daha uzundur. Bu başlık altındaki son uygulama kısmında 2 problem ele alınacaktır. İlki b60-g60-t15-o10 problemi olmakla beraber en büyük sapmanın minimize edilmesini sağlayan 3 model ile ve ikincisi b100-g75-t25-o15 olmakla beraber toplam sapmanın minimize edilmesini sağlayan 3 model ile çalıştırılacaktır. Her iki problem için de süre sınırı 6 saat yani 21600 saniyedir.

b60-g60-t15-o10 problemi ile başlamak gerekirse, bu probleme ait 3 veri setinin 3 model ile çalıştırılması neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.39.'da verilmiştir.

Çizelgeden de görüleceği üzere, 1 amaç fonksiyonlu modelde optimal sonuç elde edilemezken, 6 saatin sonunda elde edilen bilinen en iyi alt sınırdan sapma değeri %58,42 ile 2 numaralı veri seti olmuştur. 2 amaç fonksiyonlu model incelendiğinde ise, 1. amaçtaki bilinen en iyi alt sınırdan sapma değeri %19,08 ile 1 numaralı veri seti olduğu ve her üç veri setinde de verilen süre içerisinde 2. amaç de değerinin hesaplanamadığı görülmektedir. 3 amaç fonksiyonlu model incelendiğinde ise, bilinen en iyi alt sınırdan sapma değerinin 1. veri setinde olduğu ve hatta C2 değerine ait tek optimal sonucun yine bu veri setinde bulunduğu ancak yine üç veri seti için de son değer verilen süre içerisinde hesaplanamadığı görülmektedir. Bilinen en iyi alt sınırdan sapma değerleri çizelgelerde “Sapma-1”, “Sapma-2” ve “Sapma-3” sütunları dahilinde verilmiştir. 1 amaç fonksiyonuna sahip modelde sadece ilk sapma değeri yer alırken, 2 amaç fonksiyonuna sahip model 2 ve 3 amaç fonksiyonuna sahip model ise 3 sapma değerine sahiptir.

Çizelge 4.39. b60-g60-t15-o10 problemi için sonuçlar

	No	C1	C2	C3	S1	S2	S3	Sapma-1	Sapma-2	Sapma-3
1 Amaç Fonksiyonu	1	55,20	3	22,75	21600	-	-	%69,36	-	-
	2	66,13	1,87	24,25	21600	-	-	%58,42	-	-
	3	66,53	2,53	21,25	21600	-	-	%79,10	-	-
2 Amaç Fonksiyonu	1	45,07	X	X	10800	10800	-	%19,08	X	-
	2	44,87	X	X	10800	10800	-	%21,40	X	-
	3	46,80	X	X	10800	10800	-	%22,51	X	-
3 Amaç Fonksiyonu	1	43,47	0	X	7200	2688	7200	%17,37	%0	X
	2	46,67	2,13	X	7200	7200	7200	%26,34	%91,92	X
	3	47,53	0,53	X	7200	7200	7200	%25,60	%99,95	X

Her ne kadar C1 değerleri 2 ve 3 amaç fonksiyonlu modelde daha iyi olsa da modellerin çalışma süreleri öngörülemediğinden 1 amaç fonksiyonlu modelin daha kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Buna ek olarak, b100-g75-t25-o15 problemine ait 3 veri setinin, toplam sapmanın minimize edildiği 3 model ile çalıştırılması neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.40.'ta verilmiştir.

Çizelge 4.40. b100-g75-t25-o15 problemi için sonuçlar

	No	C1	C2	C3	S1	S2	S3	Sapma-1	Sapma-2	Sapma-3
1 Amaç Fonksiyonu	1	9350,7	340	3261,3	21600	-	-	%80,87	-	-
	2	8655,7	296,08	3263,1	21600	-	-	%77,04	-	-
	3	8705,4	338,64	3366,8	21600	-	-	%75,67	-	-
2 Amaç Fonksiyonu	1	7987,4	X	X	10800	10800	-	%86,83	X	-
	2	8334,7	X	X	10800	10800	-	%78,05	X	-
	3	8233,3	X	X	10800	10800	-	%76,63	X	-
3 Amaç Fonksiyonu	1	7913,5	X	X	7200	7200	0	%87,20	X	X
	2	8389,7	X	X	7200	7200	0	%78,47	X	X
	3	8286,2	X	X	7200	7200	0	%77,04	X	X

Çizelge 4.40'tan görüleceği üzere, 6 saatlik süre sınırının içerisinde 1 amaç fonksiyonlu modelde bilinen en iyi alt sınırdan sapma değeri %75,67 ile 3. veri seti olmuştur. 2 amaç fonksiyonlu modelde ise yine bir önceki problemde olduğu gibi verilen süre içerisinde 1. amaç için optimal sonuç bulunamamış ve 2. amaç için uygun bir çözüm elde edilememiştir. 3 amaç fonksiyonlu modelde ise yine C1 için optimal sonuç elde edilemezken C2 ve C3 için verilen süre içerisinde uygun bir değer bulunamamıştır.

b60-g60-t15-o10 probleminde olduğu gibi bu problemde de her ne kadar C1 değerleri 2 ve 3 amaç fonksiyonlu modelde daha iyi olsa da modellerin çalışma süreleri bilinmediğinden ve C2 ile C3 değerlerinin sadece 1 amaç fonksiyonlu modelde bulunduğundan 1 amaç fonksiyonlu modelin daha kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar itibariyle, 60 ila 100 dolayları dahil olmak üzere, proje bazlı çalışması kapsamında daha fazla sayıda çalışan bulunduran işletmeler için bu matematiksel modeller ile operasyonel kararların verilmesi mümkün görünmemekle beraber, taktiksel kararların verilmesi kabul edilebilir süreler dahilinde 1 amaç fonksiyonlu model ile mümkün görülmektedir.

4.4. Gerçek Dünya Verileri ile Uygulama

Uygulamanın bu bölümünde ise, önceki başlıkların aksine gerçek dünya verileri kullanılmıştır. Water ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda belirtildiği üzere, Belbin (1981, 1993) gerçekleştirdiği çalışmalarında takım rolleri kavramını ele almıştır. Buna göre insanlar bir dizi kategoriye ayrılabilen farklı kişilik özelliklerine sahiptir. Belbin'e göre ise farklı takım rollerinin karışımı, takımın performansını belirlemektedir. Yine Belbin'e göre (1981) her takım üyesinin takım içerisinde uygun olduğu birincil ve ikincil özellikleri vardır ve bir bireyin bir özellik açısından zayıflığı diğer takım üyelerinin güçlü yönleri ile desteklenebilir ki bu çalışma kapsamında da özellikler açısından takımların eşit ya da olabildiğince yakın olması da bir bireyin bir özellik açısından zayıflığının diğer bir takım üyesi ile desteklenebilmesi durumu söz konusudur. Belbin'in sunduğu takım rollerinin kısaltmaları CO, TW, RI, IMP, PL, ME, CF, SH ve SP olmak üzere toplam 9 tanedir. Bunlardan ilki olan CO, koordinatör anlamına gelen ve takımın aktivitelerini kontrol eden, ikincisi olan TW takım oyuncusu anlamına gelen, RI kaynak araştırmacısı anlamına gelen, IMP uygulayıcı anlamına gelen, PL yaratıcılık anlamına gelen, ME problemlerin analiz edilmesi özelliği anlamına gelen, CF detayların incelenmesi özelliği anlamına gelen araştırmacı, SH takım çalışması uygulanmasının şeklinin belirlenmesi anlamına gelen ve SP ise yüksek derecede yetenek ve bilgi sahibi olunması anlamına gelen takım rolleridir.

Bu uygulama kısmında kullanılacak olan veriler ise Water ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarında değindikleri üzere Belbin'in Groningen Üniversitesi İşletme Fakültesi'ndeki 98 öğrenciyi içeren ve 6 haftalık bir süreyi kapsayan çalışma sonucu elde edilen verilerdir. Bu 98 öğrencinin her biri için yukarıda verilen

toplam 9 takım rolü kapsamında puanları bulunmaktadır. Her ne kadar Belbin tarafından yapılan değerlendirmeden farklı ve onunla matematiksel olarak karşılaştırılması mümkün olmasa da bu çalışmanın yapısına uygun bir veri olarak kullanılabilir ve gerçek dünya problemlerinde de bu tez çalışması kapsamındaki yöntemin uygulanabileceği gösterilebilir. Bunun yanı sıra, bu tez çalışmasında hem dengeli çalışma takımlarının oluşturulması hem de görevlerin atanması ele alındığından, bu verilerin yarısı bireylere ait verileri ve diğer yarısı da görevlere ait verileri oluşturacak şekilde kullanılacak, kısacası verilerin üzerinde kurgu yapılacaktır. Yukarıda da belirtildiği üzere, 98 öğrenciden oluşan bu verinin ilk 49'u belirli özelliklere sahip ve takımları oluşturacak bireyler olurken, kalan 49'u ise yine aynı özelliklere sahip ve takımlara atanacak görevler olacaktır. Bu bağlamda görevler için özelliklere ait bu puanlar, önceki uygulamalarda da olduğu gibi yine görevlerin yerine getirilebilmesi için gerekli olan puanları temsil ediyor olacaktır. Bu veriler 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 değerlerini almaktadır. Bu durumda C1 ve C3 değerlerinin hesaplanacağı ölçek 0-100 arası olacağından, C2 değerinin hesaplanacağı ölçeğin de aynı olması amacıyla görevlerin süreleri de 0-100 arasında aynı değerleri alacak şekilde rassal olarak atanacaktır. Görev sürelerinin farklı bir değer aralığına sahip olması durumunda ise bu verilere normalizasyon işlemi uygulanarak aynı değer aralığına getirilebilir ve modele dahil edilebilir. Bunun yanı sıra, bireyler 7'şer kişiden 7 takıma ayrılacak, dolayısıyla yine her takıma 7 görev düşecektir. Kişilerin tecrübelerine dair bir bilgi bulunmadığından, 9 özellik puanı toplamı en yüksek olan 7 kişi en tecrübeli kişiler olarak belirlenerek her biri farklı takımlara atanacak ve yine cinsiyete dair bilgi bulunmadığından ilk 25 birey erkek ve son 24 birey kadın olacak şekilde atanacaktır.

Bireylerin bilgilerini içeren veriler Çizelge 4.41. kapsamında verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere toplam 49 birey ve bu 49 bireye ait 11 sütunluk bilgiler yer almaktadır. Bu sütunlardan ilki olan "c" sütunu, önceki uygulamalarda da olduğu üzere 0 ve 1 olmakla beraber, bireyin kadın ya da erkek olduğu bilgisini içermektedir. İkinci sütun olan "T" sütunu ise bireyin en tecrübeli ilk 7 kişi arasında olup olmamasına göre 1 ya da 0 değeri almaktadır. Yine önceki paragraflarda değinildiği üzere, en tecrübeli 7 kişi toplam özellik puanlarına göre belirlenmiş ve 1 değerini almışlardır. Bu bireyler, 9, 14, 15, 20, 29, 47 ve 48 numaralı bireylerdir. 3 ila 11. sütun arası ise yine bu bölümün başında belirtilen takım rollerini ve bireylerin bu takım rollerine ait puanlarını içermektedir.

Görevler ile ilgili veriler değerlendirilecek olursa, görevlerin yerine getirilebilmesi için gerekli puanları ve tamamlanması için gerekli süreleri içeren 49

görevlik veri Çizelge 4.42. olarak verilmiştir. Yine önceki kısımda belirtildiği üzere bu 49 görev orijinal verilerde aslen 50 ile 98. bireylere ait verilerdir. Bu çalışmada ise görevlere ait veriler olarak kullanılacaktır. Bu çizelgede de görüldüğü üzere toplam 10 sütun bulunmaktadır. Bu sütunlardan ilki olan “TS” sütunu, görevlerin tamamlanma sürelerini içermektedir. 2 ile 10. sütunlar arasındaki bilgiler ise görevlerin yerine getirilebilmesi için gerekli özellik puanlarını içermektedir. Problemin ismi önceki kısımlarda uygulanan yöntem kapsamında olduğu gibi düşünüldüğünde, 49b-49g-7t-9o olarak şekillenmektedir.

Çizelge 4.41. 49b-49g-7t-9o problemi, bireylere ait veriler

	c	T	CO	TW	RI	IP	PL	ME	CF	SH	SP		c	T	CO	TW	RI	IP	PL	ME	CF	SH	SP	
b1	1	0	30	90	20	70	0	40	100	0	40	b26	0	0	80	30	90	30	40	30	30	90	0	
b2	1	0	60	30	80	80	0	30	90	70	40	b27	0	0	10	30	30	80	50	80	80	40	100	
b3	1	0	0	50	40	70	0	0	100	40	80	b28	0	0	10	40	30	50	60	30	100	0	100	
b4	1	0	80	100	50	30	60	20	30	40	0	b29	0	1	40	50	70	80	60	60	80	20	80	
b5	1	0	50	100	50	30	0	20	90	0	80	b30	0	0	40	0	40	90	0	100	40	90	90	
b6	1	0	20	40	50	30	0	100	0	20	60	b31	0	0	10	20	80	60	100	80	40	40	80	
b7	1	0	100	40	80	80	0	40	0	50	0	b32	0	0	30	20	30	50	80	70	90	0	100	
b8	1	0	50	90	30	70	60	60	30	30	30	b33	0	0	10	20	30	100	0	60	80	0	100	
b9	1	1	50	50	90	50	70	40	30	60	80	b34	0	0	30	80	30	50	50	60	70	20	100	
b10	1	0	10	20	30	90	50	100	60	60	50	b35	0	0	40	50	30	90	40	70	80	30	80	
b11	1	0	30	90	80	40	60	20	30	20	80	b36	0	0	100	20	30	50	0	30	100	30	50	
b12	1	0	10	50	40	80	50	80	70	20	100	b37	0	0	60	0	50	60	0	100	50	100	30	
b13	1	0	80	10	20	90	50	40	60	60	80	b38	0	0	70	90	80	50	0	50	0	40	60	
b14	1	1	50	10	70	70	80	70	20	40	100	b39	0	0	70	80	80	50	60	40	70	60	0	
b15	1	1	50	90	80	80	40	20	40	80	40	b40	0	0	10	40	50	60	70	60	80	0	90	
b16	1	0	0	30	80	30	80	60	100	40	90	b41	0	0	90	80	80	50	80	30	30	40	0	
b17	1	0	80	0	70	90	0	40	30	80	0	b42	0	0	30	50	50	20	70	100	0	70	100	
b18	1	0	90	0	40	80	0	80	90	30	50	b43	0	0	30	20	40	40	0	60	70	100	50	
b19	1	0	50	80	60	90	50	40	40	30	60	b44	0	0	90	50	60	70	50	70	0	40	60	
b20	1	1	40	30	80	50	50	80	90	80	50	b45	0	0	30	70	100	50	90	20	20	60	0	
b21	1	0	0	30	30	60	50	80	50	80	70	b46	0	0	70	70	70	30	50	50	20	60	60	
b22	1	0	80	40	60	30	0	70	50	40	100	b47	0	1	70	80	60	90	50	60	30	20	70	
b23	1	0	40	90	0	60	0	30	90	30	80	b48	0	1	60	80	80	20	70	30	40	80	90	
b24	1	0	40	90	50	70	50	70	70	20	50	b49	0	0	10	50	90	80	50	30	100	0	50	
b25	1	0	70	90	20	60	10	40	80	20	50													

Verilerin modellerde çalıştırılması ise toplam ve en büyük sapmanın minimizasyonunu sağlayan 3'er modelden toplam 6 modelin çalıştırılması ve sonuçların paylaşılması şeklinde olacaktır. Modeller 20 saat sınırı dahilinde aynı bilgisayar donanım özellikleri ile çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.42. 49b-49g-7t-9o problemi, görevlere ait veriler

	TS	CO	TW	RI	IP	PL	ME	CF	SH	SP		TS	CO	TW	RI	IP	PL	ME	CF	SH	SP
g1	20	80	0	90	50	50	80	50	40	80	g26	80	90	90	0	50	0	20	70	90	70
g2	10	70	90	50	50	0	20	70	40	50	g27	20	90	40	30	60	50	80	40	70	40
g3	10	20	20	30	50	50	80	50	100	0	g28	60	30	40	90	0	50	40	70	70	70
g4	20	80	30	60	80	0	40	40	90	0	g29	20	50	20	0	100	50	0	100	40	40
g5	80	70	80	70	30	80	50	60	40	70	g30	80	40	20	60	90	50	20	70	90	60
g6	50	10	90	20	60	50	80	80	0	80	g31	70	50	50	20	80	40	40	100	50	60
g7	20	80	40	30	80	70	80	50	20	90	g32	30	40	30	30	70	40	80	100	30	0
g8	30	80	90	0	70	50	80	80	20	0	g33	20	70	90	60	10	40	20	90	60	70
g9	20	40	30	0	100	50	20	80	0	100	g34	30	30	0	90	60	90	80	40	80	40
g10	40	70	30	40	100	40	70	50	60	60	g35	10	70	10	90	60	70	50	70	70	80
g11	90	0	40	0	90	60	20	90	40	80	g36	20	40	50	80	80	100	40	40	30	0
g12	90	50	40	40	20	70	80	100	70	50	g37	70	80	10	70	80	50	90	30	80	0
g13	100	30	90	50	70	50	0	100	20	50	g38	10	70	50	50	50	50	20	40	100	0
g14	40	40	100	40	30	60	40	40	20	40	g39	50	80	70	60	90	40	50	60	30	60
g15	70	10	80	50	90	0	100	70	0	70	g40	10	90	90	50	70	30	50	30	0	70
g16	30	50	100	20	60	0	30	40	30	90	g41	90	10	80	0	70	0	100	100	0	50
g17	10	50	90	90	30	0	70	40	40	90	g42	50	0	100	30	30	0	80	20	70	30
g18	40	30	20	0	100	50	0	100	30	40	g43	100	70	30	50	40	70	20	80	50	60
g19	40	80	80	40	30	0	70	40	80	80	g44	50	30	70	30	100	0	70	60	40	80
g20	40	70	40	30	80	0	90	80	60	30	g45	60	30	30	90	80	90	0	70	20	0
g21	20	70	20	40	80	50	40	80	60	80	g46	60	70	90	80	50	80	20	30	40	30
g22	30	30	50	90	60	80	80	50	30	40	g47	30	60	50	50	70	50	40	90	30	60
g23	10	70	10	60	30	60	70	80	80	80	g48	90	50	20	100	20	100	0	50	40	0
g24	10	60	30	90	80	80	60	50	60	40	g49	50	20	20	80	30	80	80	40	90	40
g25	20	50	20	40	60	50	80	90	60	60											

Toplam sapmanın minimize edilmesini sağlayan ve 1 amaç fonksiyonuna sahip model çalıştırıldığında, C1 değeri 685,71, C2 değeri 0 ve C3 değeri de 351,43 olmak üzere toplam sapma değeri 1037,14 olarak hesaplanmıştır. Bu modelde bilinen en iyi alt sınırdan sapma değeri %45,45 olmuştur. Hangi takıma hangi bireylerin atandığı Çizelge 4.43. ve hangi takıma hangi görevlerin atandığı ise Çizelge 4.44. kapsamında verilmiştir. Ek olarak belirtmek gerekir ki toplam tamamlanma süresi 2100 birim olan 49 adet görev, takımlara atandığında her bir takım için 7 görevin tamamlanma süreleri toplamı 300 birim olmuştur. Bu sebeple bu kısımdan negatif ya da pozitif bir sapma gelmemiş ve tüm dp2 ve dn2 değerlerinin 0 değerini almasından ötürü C2 değeri de 0 olarak hesaplanmıştır.

Toplam sapmanın minimize edilmesini sağlayan 2 amaç fonksiyonlu modelin 20 saatlik sınır ile çalıştırılmasının sonucunda C1 değeri 717,14 olarak hesaplanırken bilinen en iyi alt sınırdan sapma değeri %68,13 olmuş, C2 ve C3 için verilen süre sınırında uygun bir çözüm elde edilememiştir.

Çizelge 4.43. 49b-49g-7t-9o problemi, takımlara atanan bireyler (toplam sapma-1 amaç fonksiyonu)

	Atanan Bireyler						
Takım-1	b2	b4	b10	b32	b33	b38	b48
Takım-2	b1	b9	b18	b28	b30	b45	b46
Takım-3	b6	b13	b15	b24	b36	b42	b49
Takım-4	b3	b8	b11	b20	b37	b40	b44
Takım-5	b12	b16	b17	b25	b26	b34	b47
Takım-6	b19	b22	b23	b29	b31	b41	b43
Takım-7	b5	b7	b14	b21	b27	b35	b39

Çizelge 4.44. 49b-49g-7t-9o problemi, takımlara atanan görevler (toplam sapma-1 amaç fonksiyonu)

	Atanan Görevler						
Takım-1	g2	g3	g5	g21	g22	g43	g44
Takım-2	g4	g6	g8	g20	g23	g45	g48
Takım-3	g18	g19	g24	g33	g37	g41	g47
Takım-4	g10	g11	g15	g25	g28	g38	g40
Takım-5	g7	g12	g29	g35	g39	g42	g46
Takım-6	g1	g13	g14	g17	g27	g30	g32
Takım-7	g9	g16	g26	g31	g34	g36	g49

Toplam sapmanın minimize edilmesini sağlayan 3 amaç fonksiyonlu modelin 20 saatlik sınır ile çalıştırılmasının sonucunda ise C1 değeri 688,57 olarak hesaplanırken, bilinen en iyi alt sınırdan sapma değeri %66,80 olmuş ve C2 ve C3 için verilen süre sınırında uygun bir çözüm elde edilememiştir.

En büyük sapmanın minimize edilmesini sağlayan ve 1 amaç fonksiyonuna sahip model çalıştırıldığında, C1 değeri 35,71, C2 değeri 0 ve C3 değeri de 12,86 olmak üzere toplam sapma değeri 48,57 olarak hesaplanmıştır. Bu modelde bilinen en iyi alt sınırdan sapma değeri ise %42,02 olmuştur. Hangi takıma hangi bireylerin atandığı Çizelge 4.45. ve hangi takıma hangi görevlerin atandığı ise Çizelge 4.46. kapsamında verilmiştir. Yine ek olarak belirtmek gerekir ki toplam sapmaların hesaplandığı modelde olduğu gibi bu modelde de toplam tamamlanma süresi 2100 birim olan 49 adet görev takımlara atandığında her bir takım için 7 görevin tamamlanma süreleri toplamı 300 birim olmuştur. Bu sebeple yine bu kısımdan negatif ya da pozitif bir sapma gelmemiş, tüm dp_2 ve dn_2 değerlerinin 0 değerini almasından ötürü C2 değeri de 0 olarak hesaplanmıştır.

En büyük sapmanın minimize edilmesini sağlayan 2 amaç fonksiyonlu modelin 20 saatlik sınır ile çalıştırılmasının sonucunda C1 değeri 31,43, C2 değeri 0 ve C3 değeri de 12,86 olmak üzere toplam 44,29 olarak hesaplanmıştır. Bu modelde 1. amaç fonksiyonunda bilinen en iyi alt sınırdan sapma değeri %40,91 olurken 2. amaç fonksiyonu için bu değer %14,29 olmuştur. Hangi takıma hangi bireylerin atandığı

Çizelge 4.47. ve hangi takıma hangi görevlerin atandığı ise Çizelge 4.48. kapsamında verilmiştir.

Çizelge 4.45. 49b-49g-7t-9o problemi, takımlara atanan bireyler (en büyük sapma-1 amaç fonksiyonu)

	Atanan Bireyler						
Takım-1	b3	b4	b12	b16	b37	b44	b47
Takım-2	b1	b5	b14	b17	b27	b39	b42
Takım-3	b7	b21	b22	b23	b29	b32	b45
Takım-4	b9	b19	b24	b36	b40	b43	b46
Takım-5	b2	b8	b10	b18	b28	b38	b48
Takım-6	b11	b20	b25	b30	b31	b33	b41
Takım-7	b6	b13	b15	b26	b34	b35	b49

Çizelge 4.46. 49b-49g-7t-9o problemi, takımlara atanan görevler (en büyük sapma-1 amaç fonksiyonu)

	Atanan Görevler						
Takım-1	g17	g18	g20	g28	g30	g36	g39
Takım-2	g4	g6	g8	g12	g35	g44	g49
Takım-3	g11	g16	g25	g27	g37	g40	g45
Takım-4	g2	g21	g23	g38	g41	g43	g46
Takım-5	g14	g15	g22	g26	g32	g33	g34
Takım-6	g1	g7	g29	g31	g42	g47	g48
Takım-7	g3	g5	g9	g10	g13	g19	g24

Çizelge 4.47. 49b-49g-7t-9o problemi, takımlara atanan bireyler (en büyük sapma-2 amaç fonksiyonu)

	Atanan Bireyler						
Takım-1	b1	b2	b19	b20	b28	b42	b44
Takım-2	b6	b13	b15	b32	b33	b39	b46
Takım-3	b5	b12	b14	b17	b26	b34	b35
Takım-4	b3	b22	b24	b31	b41	b43	b47
Takım-5	b8	b10	b21	b36	b38	b48	b49
Takım-6	b9	b11	b18	b23	b37	b40	b45
Takım-7	b4	b7	b16	b25	b27	b29	b30

Çizelge 4.48. 49b-49g-7t-9o problemi, takımlara atanan görevler (en büyük sapma-2 amaç fonksiyonu)

	Atanan Görevler						
Takım-1	g4	g5	g10	g11	g25	g33	g47
Takım-2	g1	g14	g16	g18	g20	g34	g43
Takım-3	g6	g13	g19	g23	g24	g29	g37
Takım-4	g7	g8	g17	g30	g42	g46	g49
Takım-5	g12	g28	g32	g38	g39	g40	g44
Takım-6	g2	g9	g27	g35	g41	g45	g48
Takım-7	g3	g15	g21	g22	g26	g31	g36

En büyük sapmanın minimize edilmesini sağlayan 3 amaç fonksiyonlu modelin 20 saatlik sınır ile çalıştırılmasının sonucunda C1 değeri 35,71, C2 değeri 0 ve C3 değeri de 12,86 olmak üzere toplam 48,57 olarak hesaplanmıştır. Bu modelde 1. amaç

fonksiyonunda bilinen en iyi alt sınırdan sapma değeri %51,79 olurken 2. amaç fonksiyonu için %0,00 ve 3. amaç fonksiyonu için ise %14,29 olmuştur.

Bu başlık altındaki ve bir önceki başlıktaki problemler genel olarak değerlendirildiğinde, proje çalışması kapsamındaki çalışan sayısı 24 ila 36 dolaylarında olan işletmeler için bu modellerin operasyonel ve taktiksel karar vermede kullanışlı olabileceği, ancak daha yüksek çalışan sayısı olan işletmeler için sadece taktiksel karar vermede kullanışlı olabileceği görülmektedir. Bu tip işletmeler için ise bu problem kapsamında sezgisel algoritmaların geliştirilmesinin gerekli olduğu söylenebilir. Görev ya da özellik sayısının düşürülmesi ile modellerin çözüm sürelerinin kısılması mümkün olsa da modellerin ulaşabildikleri bilinen en iyi alt sınırdan sapma değerlerinin optimal sonuca oldukça uzak olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında, çalışmanın temel noktası olan proje bazlı çalışma bağlamında kullanılabilir çeşitli yöntemlerden ve yaklaşımlardan yararlanılarak, kendine özgü aşamaları ve yaklaşımları olan bir yöntemin öne sürülmesi amaçlanmıştır.

Proje bazlı çalışma hem kurumlar hem de bireyler için ekstra avantajlar ve dezavantajlar getirebilmektedir. Çalışma kapsamında öne sürülen yöntem ise insan kaynağının olabilecek en iyi şekilde kullanılması, rekabet ortamının oluşması, çalışanların kariyerlerini yönlendirebilmeleri, işverenlerin maliyetlerini azaltabilmeleri gibi avantajları olabildiğince artırmak ve iş yükü dengesizliğinin meydana gelmesi, çalışan memnuniyetinin azalması gibi dezavantajları ise olabildiğince ortadan kaldırmayı hedeflemiştir. Literatürde her ne kadar proje bazlı ya da grup bazlı çalışmaya dayalı çalışmalar ve belli başlı görevlerin gruplara atanmasını içeren çalışmalar bulunsa da bu çalışmanın, aynı anda hem proje bazlı çalışmanın esas alındığı hem işbirlikçi yaklaşımın ele alındığı hem takımların performanslarının artırılmasının amaçlandığı hem de iş yükü dengesinin kurulmasının hedeflendiği bir çalışma olarak hazırlanması amaçlanmıştır. Dikkate aldığı bu yönleri ile birlikte bu çalışma, daha önceki çalışmalardan farklılaşarak, literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır. Matematiksel model kapsamında, toplam sapmaların minimize edilmesi ve en büyük sapmanın minimize edilmesi olarak 2 farklı uygulama verilirken, kurumlar için yapılarına göre daha uygun olduğunu düşündükleri modeli tercih edebiliyor olmaları durumu göz önünde bulundurulmuştur. Ek olarak, her iki uygulama için de 1, 2 ve 3 amaç fonksiyonunu içeren modeller verilmiştir ki, birey, görev, takım ya da özellik sayılarına göre işletmelerin hangi uygulama kapsamında hangi modeli uygulamalarının daha uygun olabileceğinin saptanması amaçlanmıştır. Ayrıca, yine işletmelerin operasyonel ve taktiksel kararları senaryoları göz önünde bulundurulmuş ve veri büyüklüğü yüksek olan işletmeler için operasyonel karar almanın zorluğu görülmüştür. Uygulamanın son kısmında ise gerçek dünya verileri kullanılmış, üzerinde gerekli bir kurgu yapılmış, tüm modeller ile çalıştırılarak sonuçlar alınmış ve uygulanabilirliği gösterilmiştir. Tüm bu uygulamalar gerçekleştirilirken ise Hedef Programlama yaklaşımından yararlanılmıştır. Uygulama neticesinde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi gerekirse, 1 amaç fonksiyonlu modelin özellikle taktiksel kararlar kapsamında çözüm kalitesi açısından diğer iki modele göre ön plana çıktığı ancak

özellikle operasyonel karar kısmında bazı problemlerde 2 ve 3 amaç fonksiyonlu modellerin daha iyi sonuca ulaştığı görülmektedir.

5.2 Öneriler

Gelecek çalışmalar için önerilerin verilmesi gerekirse, bireylerin takımlara atanması noktasında, birey sayılarının eşit olmadığı ya da her bir takıma atanan görev sayılarının eşit olmadığı durumlar göz önünde bulundurulabilir. Bu noktada matematiksel model üzerinde değişikliklerin yapılması gerekecektir. Bu kısım ile ilgili olarak da ekstra literatür araştırmasının yapılması gerekebilir. Bunun yanı sıra, 2 ve 3 amaç fonksiyonlu modellerde önceliklendirilen amaçların yerleri değiştirilebilir. Örneğin, bu çalışmada olduğu gibi bireylerin takımlara atanmasından, görev sürelerinden ve görevlerin gerektirdiği özelliklerden gelen sapma sıralaması, bireylerin takımlara atanması, görevlerin gerektirdiği özelliklerden ve görev sürelerinden gelen sapmalar olarak değiştirilebilir. Bu noktada önemli olan ise uygulayıcının hangi kısma daha çok önem verdiği ve hangisi ile daha fazla yarar sağlayabileceğini düşünmesidir. Bunlara ek olarak, hatırlanacağı üzere uygulama kısmında C değerlerinin tamamının toplamının 0 olduğu herhangi bir veri seti bulunmamaktadır ve bu yüzden her bir model için sonucun 0 olduğu veri setleri çalıştırılarak modellerin nasıl tepki verdiği ve ne kadar sürede sonuca ulaştığı ölçülebilir. Ayrıca, her ne kadar tecrübe kavramı modelin içerisinde yer alsada gereklilik durumunda yaş kavramı da modele eklenebilir ve yine takımlar arasında eşit olacak şekilde bireyler takımlara atanabilir. Tüm bunlara ek olarak ise, aynı takımlarda bulunacak kişilerin birbirleri arasındaki ilişkiler de hesaba katılabilir. Son olarak ise, proje kapsamında dışarıdan bireylerin takıma dahil edilmesi gibi bir durumda maliyet faktörü de hesaba katılabilir ve minimize edilmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abd El-Wahed, W. F. and Lee, S. M., 2006, Interactive fuzzy goal programming for multi-objective transportation problems, *Omega*, 34 (2), 158–166.
- Abnar, S., Orooji, F. and Taghiyareh, F., 2012, An evolutionary algorithm for forming mixed groups of learners in web based collaborative learning environments, In *2012 IEEE international conference on technology enhanced education (ICTEE)*, Kerala-India, 1-6.
- Adams, S. G., 2003, Building successful student teams in the engineering classroom, *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 4 (3), 1-6.
- Agrawal, R., Golshan, B. and Terzi, E., 2014, Grouping students in educational settings, In *Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, New York, USA, 1017-1026.
- Askin, R. G. and Huang, Y., 2001, Forming effective worker teams for cellular manufacturing, *International Journal of Production Research*, 39 (11), 2431–2451.
- Bafail, A. O. and Moreb, A. A., 1993, Optimal allocation of students to different departments in an engineering college, *Computers & Industrial Engineering*, 25 (1-4), 295-298.
- Baker, K. R. and Powell, S. G., 2002, Methods for assigning students to groups: A study of alternative objective functions, *Journal of the Operational Research Society*, 53 (4), 397–404.
- Baykasoglu, A., Dereli, T. and Das, S., 2007, Project team selection using fuzzy optimization approach, *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 38 (2), 155-185.
- Beheshtian-Ardekani, M. and Mahmood, M. A., 1986, Education Development and validation of a tool for assigning students to groups for class projects, *Decision Sciences*, 17 (1), 92–113.
- Belbin, R. M., 1981, *Management teams: Why they succeed or fail*, Butterworth - Heinemann, Oxford.
- Belbin, R. M., 1993, *Team roles at work*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Bergey, P. and King, M., 2014, Team machine: A decision support system for team formation, *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 12 (2), 109–130.
- Bhowmik, A., Borkar, V., Garg, D. and Pallan, M., 2014, Submodularity in team formation problem, In *Proceedings of the 2014 SIAM International Conference on Data Mining*, Philadelphia, USA ,893-901.
- Borges, J., Dias, T. G. and Cunha, J. F. E., 2009, A new group-formation method for student projects, *European Journal of Engineering Education*, 34 (6), 573–585.

- Bredin, K., 2008, People capability of project-based organisations: A conceptual framework, *International Journal of Project Management*, 26 (5), 566–576.
- Castka, P., Bamber, C. J., Sharp, J. M. and Belohoubek, P., 2001, Factors affecting successful implementation of high performance teams, *Team Performance Management: An International Journal*, 7 (7), 123–134.
- Charnes, A., Cooper, W. W. and Ferguson, R. O., 1955, Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming, *Management Science*, 1 (2), 138–151.
- Charnes, A. and Cooper, W. W., 1957, Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, *Management Science*, 4 (1), 38–91.
- Cheatham, M. and Cleereman, K., 2006, Application of social network analysis to collaborative team formation, In *International Symposium on Collaborative Technologies and Systems (CTS'06)*, Washington, DC, USA, 306-311.
- Cohen, S. G. and Bailey, D. E., 1997, What makes teams work: Group effectiveness research from the shop floor to the executive suite, *Journal of Management*, 23 (3), 239-290.
- Cutshall, R., Gavirneni, S. and Schultz, K., 2007, Indiana University's Kelley school of business uses integer programming to form equitable, cohesive student teams, *Interfaces*, 37 (3), 265–276.
- Desrosiers, J., Mladenović, N. and Villeneuve, D., 2005, Design of balanced MBA student teams, *Journal of the Operational Research Society*, 56 (1), 60–66.
- Dias, T. G. and Borges, J., 2017, A new algorithm to create balanced teams promoting more diversity, *European Journal of Engineering Education*, 42 (6), 1365–1377.
- Džamić, D., Ćendić, B., Marić, M. and Đenić, A., 2019, Solving balanced multi-weighted attribute set partitioning problem with variable neighborhood search, *Filomat*, 33 (9), 2875–2891.
- Fathian, M., Saei-Shahi, M. and Makui, A., 2017, A New Optimization Model for Reliable Team Formation Problem Considering Experts' Collaboration Network, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 64 (4), 586–593.
- Fellers, J. W., 1996, Teaching Teamwork: Exploring the Use of Cooperative Learning Teams in Information Systems Education, *The Data Base for Advances in Information Systems*, 27 (2), 44–60.
- Fitzpatrick, E., Askin, R. and Goldberg, J., 2001, Using student conative behaviors and technical skills to form effective project teams, *Proceedings of the 31st ASEE/IEEE frontiers in education conference*, Reno, NV, USA, S2G8-S2G13.

- Fitzpatrick, E. L. and Askin, R. G., 2005, Forming effective worker teams with multi-functional skill requirements, *Computers and Industrial Engineering*, 48 (3), 593–608.
- Forrester, R. and Hutson, K., 2014, Balancing faculty and student preferences in the assignment of students to groups, *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 12 (2), 131–147.
- Gajewar, A. and Sarma, A. D., 2012, Multi-skill collaborative teams based on densest subgraphs, In *Proceedings of the 12th SIAM International Conference on Data Mining*, California, USA, 165–176.
- Gallego, M., Laguna, M., Martí, R. and Duarte, A., 2013, Tabu search with strategic oscillation for the maximally diverse grouping problem, *Journal of the Operational Research Society*, 64 (5), 724–734.
- García, S., Cacchiani, V., Vanhaverbeke, L. and Bischoff, M., 2014, The table placement problem: A research challenge at the EWI 2007, *Top*, 22 (1), 208–226.
- Glaser, D. N., Tatum, B. C., Nebeker, D. M., Sorenson, R. C. and Aiello, J. R., 1999, Workload and Social Support: Effects on Performance and Stress, *Human Performance*, 12 (2), 155–176.
- Gogoulou, A., Gouli, E., Boas, G., Liakou, E. and Grigoriadou, M., 2007, Forming homogeneous, heterogeneous and mixed groups of learners, *Proceedings of workshop on personalisation in e-Learning environments at individual and group level, 11th international conference on user modeling*, Corfu, Greece, 33-40.
- Graf, S. and Bekele, R., 2006, Forming heterogeneous groups for intelligent collaborative learning systems with ant colony optimization, In *International conference on intelligent tutoring systems*, Berlin, Heidelberg, 217-226.
- Gutiérrez, J. H., Astudillo, C. A., Ballesteros-Pérez, P., Mora-Melià, D. and Candia-Véjar, A., 2016, The multiple team formation problem using sociometry, *Computers and Operations Research*, 75, 150–162.
- Hoegl, M., 2005, Smaller teams-better teamwork: How to keep project teams small, *Business Horizons*, 48 (3), 209–214.
- Holmberg, K., 2019, Formation of student groups with the help of optimisation, *Journal of the Operational Research Society*, 70 (9), 1538–1553.
- Hosseini, S. M. and Akhavan, P., 2017, A model for project team formation in complex engineering projects under uncertainty, *Kybernetes*, 46 (7), 1131–1157.
- Hovmark, S. and Nordqvist, S., 1996, Project organization: Change in the work atmosphere for engineers, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 17 (5), 389–398.

- Hsu, S. C., Weng, K. W., Cui, Q. and Rand, W., 2016, Understanding the complexity of project team member selection through agent-based modeling, *International Journal of Project Management*, 34 (1), 82–93.
- Huang, D. K., Chiu, H. N., Yeh, R. H. and Chang, J. H., 2009, A fuzzy multi-criteria decision making approach for solving a bi-objective personnel assignment problem, *Computers and Industrial Engineering*, 56 (1), 1–10.
- Huang, J., Sun, X., Zhou, Y. and Sun, H., 2017, A Team Formation Model with Personnel Work Hours and Project Workload Quantified, *The Computer Journal*, 60 (9), 1382–1394.
- Huxham, M. and Land, R., 2000, Assigning students in group work projects. Can we do better than random?, *Innovations in Education and Teaching International*, 37 (1), 17–22.
- Hübscher, R., 2010, Assigning students to groups using general and context-specific criteria, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 3 (3), 178–189.
- Ignizio, J. P., 1976, Goal Programming and Extensions, *Lexington Books*, Lexington.
- Inegbedion, H., Inegbedion, E., Peter, A. and Harry, L., 2020, Perception of workload balance and employee job satisfaction in work organisations, *Heliyon*, 6 (1), e03160.
- Jadidi, O., Cavalieri, S. and Zolfaghari, S., 2015, An improved multi-choice goal programming approach for supplier selection problems, *Applied Mathematical Modelling*, 39 (14), 4213–4222.
- Kargar, M., An, A. and Zihayat, M., 2012, Efficient Bi-objective Team Formation in Social Networks, In *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*, Berlin, Heidelberg, 483-498.
- Krass, D. and Ovchinnikov, A., 2010, Constrained group balancing: Why does it work, *European Journal of Operational Research*, 206 (1), 144–154.
- Lee, S. M., 1972, Goal programming for decision analysis of multiple objectives, 14, *Sloan Management Review*, USA, 11-24.
- Lee, S. M., 1972, Goal programming for decision analysis, Philadelphia: Auerbach Publishers, Auerbach, Philadelphia, 252-260.
- Leung, S. C. H. and Ng, W. L., 2007, A goal programming model for production planning of perishable products with postponement, *Computers & Industrial Engineering*, 53 (3), 531–541.
- Li, C. T. and Shan, M. K., 2010, Team formation for generalized tasks in expertise social networks, In *2010 IEEE second international conference on social computing*, Washington, DC, USA, 9-16.

- Liang, G. S. and Wang, M. J. J., 1992, Personnel placement in a fuzzy environment, *Computers & Operations Research*, 19 (2), 107-121.
- Martin, E. and Paredes, P., 2004, Using learning styles for dynamic group formation in adaptive collaborative hypermedia systems, In *Proceedings of workshops in connection with 4th international conference on web engineering*, Munich, Germany, 188–197.
- Meyer, D., 2009, OptAssign-A web-based tool for assigning students to groups, *Computers & Education*, 53 (4), 1104–1119.
- Mingers, J. and O'Brien, F. A., 1995, Creating student groups with similar characteristics: a heuristic approach, *Omega*, 23 (3), 313-321.
- Moreno, J., Ovalle, D. A. and Vicari, R. M., 2012, A genetic algorithm approach for group formation in collaborative learning considering multiple student characteristics, *Computers & Education*, 58 (1), 560–569.
- O'Brien, F. A. and Mingers, J., 1997, A heuristic algorithm for the equitable partitioning problem, *Omega*, 25 (2), 215–223.
- Palubeckis, G., Karčiauskas, E. and Riškus, A., 2011, Comparative performance of three metaheuristic approaches for the maximally diverse grouping problem, *Information Technology and Control*, 40 (4), 277-285.
- Palubeckis, G., Ostreika, A. and Rubliauskas, D., 2015, Maximally diverse grouping: An iterated tabu search approach, *Journal of the Operational Research Society*, 66 (4), 579–592.
- Pinninghoff J, M., Contreras A. R. and Salcedo L. P., 2017, Genetic algorithms as a tool for structuring collaborative groups, *Natural Computing*, 16 (2), 231–239.
- Rahmanniyay, F., Yu, A. J. and Seif, J., 2019, A multi-objective multi-stage stochastic model for project team formation under uncertainty in time requirements, *Computers & Industrial Engineering*, 132, 153-165.
- Qureshi, M. I., Iftikhar, M., Abbas, S. G., Hassan, U., Khan, K. and Zaman, K., 2013, Relationship between job stress, workload, environment and employees turnover intentions: What we know, what should we know, *World Applied Sciences Journal*, 23 (6), 764–770.
- Rodriguez, F. J., Lozano, M., García-Martínez, C. and González-Barrera, J. D., 2013, An artificial bee colony algorithm for the maximally diverse grouping problem, *Information Sciences*, 230, 183–196.
- Romero, C., 1986, A survey of generalized goal programming (1970-1982), *European Journal of Operational Research*, 25 (2), 183–191.
- Romero, C., 2004, A general structure of achievement function for a goal programming model, *European Journal of Operational Research*, 153 (3), 675–686.

- Rubin, P. A. and Bai, L., 2015, Forming competitively balanced teams, *IIE Transactions*, 47 (6), 620–633.
- Saber, H. M. and Ghosh, J. B., 2001, Assigning students to academic majors, *Omega*, 29 (6), 513–523.
- Shen, M., Tzeng, G. H. and Liu, D. R., 2003, Multi-criteria task assignment in workflow management systems, In *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii, 1-9.
- Solow, D., Ning, J., Zhu, J. and Cai, Y., 2020, Improved heuristics for finding balanced teams, *IIE Transactions*, 52 (12), 1312–1323.
- Tamiz, M., Jones, D. F. and El-Darzi, E., 1995, A review of Goal Programming and its applications, *Annals of Operations Research*, 58 (1), 39–53.
- Tamiz, M., Jones, D. and Romero, C., 1998, Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art, *European Journal of Operational Research*, 111 (3), 569–581.
- van de Water, T., van de Water, H. and Bukman, C., 2007, A balanced team generating model, *European Journal of Operational Research*, 180 (2), 885–906.
- van de Water, H. and Bukman, C., 2010, A balanced team-generating model for teams with less than nine persons, *IMA Journal of Management Mathematics*, 21 (3), 281–302.
- Wang, D. Y., Lin, S. S. J. and Sun, C. T., 2007, DIANA: A computer-supported heterogeneous grouping system for teachers to conduct successful small learning groups, *Computers in Human Behavior*, 23 (4), 1997–2010.
- Wang, J. and Zhang, J., 2015, A win-win team formation problem based on the negotiation, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 44, 137–152.
- Watson, W. E., Kumar, K. and Michaelsen, L. K., 1993, Cultural Diversity's Impact On Interaction Process and Performance: Comparing Homogeneous and Diverse Task Groups, *Academy of Management Journal*, 36 (3), 590–602.
- Wei, C. C., Lai, M. C., Wei, C. S. and Peng, L. H., 2013, Assignment of project members considering capability and personality balance, *Kybernetes*, 42 (7), 1016–1028.
- Weitz, R. R. and Jelassi, M. T., 1992, Assigning Students to Groups: A Multi-Criteria Decision Support System Approach, *Decision Sciences*, 23 (3), 746–757.
- Weitz, R. R. and Lakshminarayanan, S., 1997, An empirical comparison of heuristic and graph theoretic methods for creating maximally diverse groups, VLSI design, and exam scheduling, *Omega*, 25 (4), 473–482.

- Weitz, R. R. and Lakshminarayanan, S., 1998, An empirical comparison of heuristic methods for creating maximally diverse groups, *Journal of the Operational Research Society*, 49 (6), 635–646.
- Wi, H., Oh, S., Mun, J. and Jung, M., 2009, A team formation model based on knowledge and collaboration, *Expert Systems with Applications*, 36 (5), 9121–9134.
- Yaakob, S. B. and Kawata, S., 1999, Workers' placement in an industrial environment, *Fuzzy Sets and Systems*, 106 (3), 289-297.
- Yannibelli, V. D. and Amandi, A., 2011, Forming well-balanced collaborative learning teams according to the roles of their members: An evolutionary approach, In *2011 IEEE 12th international symposium on computational intelligence and informatics (CINTI)*, Budapest, Hungary, 265-270).
- Yeoh, H. K. and Mohamad Nor, M. I., 2011, An algorithm to form balanced and diverse groups of students, *Computer Applications in Engineering Education*, 19 (3), 582–590.