

İŞÇİLERİN SAĞLIK VE YETENEK SEVİYELERİNE GÖRE İŞ İSTASYONLARINA KISMİ YA DA TAM KAPASİTELİ OLARAK ATANMASI PROBLEMİ İÇİN BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Büşra TUTUMLU^{1*}, Berna AYGÜN², Tuğba SARAÇ³

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Meşelik Kampüsü 26480 Eskişehir

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-0662-8128>

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Meşelik Kampüsü 26480 Eskişehir

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-6957-3905>

³Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Meşelik Kampüsü 26480 Eskişehir

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-8115-3206>

Anahtar Kelimeler	Öz
İşçi Atama Problemi, Tamsayılı Doğrusal Karar Modeli, Karar Destek Sistemi	İşçilerin iş istasyonlarına atanması sırasında genellikle işçilerin sadece yetenek seviyeleri dikkate alınmaktadır. Sağlık seviyeleri ise çoğu kez ihmal edilmektedir. Oysa işçilerin sağlık durumlarına uygun olmayan iş istasyonlarına atanmaları hem sağlık durumlarını hem de verimliliklerini olumsuz etkileme riskine sahiptir. Ayrıca sanayide otomasyonun yaygınlaşması iş gücü gereksinimini azalttığı için günümüzde bir işçinin birden çok iş istasyonuna hizmet vermesi mümkün hale gelmiştir. Bu nedenle bu çalışmada işçilerin hem yetenek hem de sağlık seviyelerini dikkate alarak iş istasyonlarına tam ve kısmi kapasiteli olarak atanmaları problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için üç aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Bu aşamalar sırasıyla; her iş istasyonu için gerekli vardiya sayısının belirlenmesi, her vardiya için gerekli işçi sayısının belirlenmesi ve işçilerin yetenek ve sağlık seviyeleri dikkate alınarak iş istasyonlarına kısmi ve tam kapasiteli olarak atanmasıdır. İşçilerin hangi iş istasyonlarına atanacağını belirleyebilmek için bir karma tamsayılı doğrusal karar modeli önerilmiştir. Önerilen matematiksel model ile küçük boyutlu bir örnek problem ve gerçek hayat problemi GAMS/CPLEX ve Excel Open Solver çözücüsü kullanılarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Ayrıca problemin her planlama periyodunda yeniden çözülmesi gerekeceğinden önerilen çözüm yaklaşımının etkin ve kolay bir biçimde kullanılabilmesi için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

A SOLUTION APPROACH FOR THE PROBLEM OF WORKERS' PARTLY OR FULLY ALLOCATIONS TO WORKSTATIONS BY HEALTH AND SKILL LEVELS

Keywords	Abstract
Worker Assignments, Mixed Integer Linear Programming, Decision Support System	In general, during the workers assignments to workstations, only skill of workers are taken into account. Their health conditions are often ignored. However, assigning workers to workstations that are not suitable for their health conditions has the risk of negatively affecting their health status and efficiency. In addition, since the widespread use of automation in the industry reduces the need for labor, it is possible for a worker to serve more than one workstation. Therefore, in this study the problem of workers' partly or fully assignments to the workstations by taking into consideration both skill and health levels of the workers is considered. A three-stage solution approach is proposed for the solution of the problem. These stages are; determining the required number of shifts for each workstation, determining the required number of workers for each shift and assigning partial

*Sorumlu yazar; e-posta : busra.tutumlu26@gmail.com

and full capacity to workstations by taking into account the skill and health levels of the workers. A mixed integer linear programming model is proposed to determine which workstations are assigned to the workers. A small-scaled instance and a real life problem are solved by using the suggested mathematical model both with GAMS/CPLEX and Excel Open Solver and the results obtained are discussed. In addition, since the problem will need to be solved in each planning period, a decision support system has been developed for the effective and easy use of the proposed solution approach.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 14.10.2019	Submission Date	: 14.10.2019
Kabul Tarihi	: 19.02.2020	Accepted Date	: 19.02.2020

1. Giriş

Her geçen gün otomasyonun yaygınlaşmasıyla işleme, yükleme, boşaltma vb. birçok faaliyet otomatikleştiğinden istasyon başına düşen işçi gereksinimi azalmaktadır. Bu nedenle çoğu kez her iş istasyonuna bir işçi atamak yerine bir işçinin birden fazla iş istasyonunda aynı anda görev yapması gündeme gelmektedir. Bu durum işçilerin iş istasyonlarına atanması probleminin karmaşık bir hale gelmesine yol açmaktadır. Bu çalışma işletmelerdeki işgücünü bir işçinin birden fazla iş istasyonuna hizmet verebilmesine izin vererek daha verimli kullanmayı hedeflemektedir.

Çalışma, Eskişehir'de bir Kompresör Fabrikası'nda yapılmıştır. Fabrikada üç farklı modelde kompresör üretilmektedir. Üretim talaşlı ve mekanik olmak üzere 2 üretim hattı; iç, dış ve son olmak üzere 3 montaj hattından oluşmaktadır. Pilot bölge olarak talaşlı hattı seçilmiştir.

İşletmede üretim ve montaj hatlarında üretilecek 3 farklı ürünün ne zaman ve ne kadar üretilecekleri o ay gelen talebe göre değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlikten dolayı hatlara atanan işçi sayısı da dinamik olarak değişmektedir. Yetkili kişi tarafından hatlara atanacak işçi sayısı belirlenip, aylık kadro planı oluşturulmaktadır. Bazı kompresör parçalarının üretimi dışa yaptırım ile sağladığından bu parçaların işlem gördüğü istasyonlar devre dışı kalabilmektedir. Bu durum kadro planında değişikliklere sebep olmaktadır. Kadro planları genellikle aylık yapıldığından bu tarz değişiklikleri yapmak uzun ve yorucu olmaktadır.

Hatların ihtiyacı olan işçi sayısına göre hat sözcüleri belirli bir sistematik yöntem kullanmadan tecrübelerine dayalı olarak işçileri iş istasyonlarına atamaktadır. Bu durum verimli çalışmaya engel oluşturmaktadır. İşçilerin güçlü ve zayıf yönleri etkin bir şekilde değerlendirilmediğinden her zaman doğru işe doğru işçi atanmamaktadır.

Üretimin verimliliğinin artırılması için işçinin performansı önemli bir kriterdir. İşçi atama kararlarında işçinin deneyimine, yetkinliğine, işe uyumuna, performansına ve kişisel özelliklerine bakılarak atama gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada öncelikle işçilerin performansları ve işe uygunlukları belirlenmiştir. Daha sonra aylık üretim talebi dikkate alınarak, istasyonların en etkin kullanıldığı duruma göre işçiler istasyonlara sistematik olarak atanmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde işçilerin iş istasyonlarına atanması problemini ele almış çalışmalardan erişilebilenler ele alınan problemin özellikleri ve önerilen çözüm yaklaşımları açılarından incelenmiştir.

Özçelik (2011) işçi atama probleminin çözümünü 3 aşamada gerçekleştirmiştir. Birinci aşamada Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılarak kriter/alt kriterler ağırlıklandırılıp personel performansları değerlendirilmiştir. İkinci aşamada alt kriterlere göre personellerin performansını değerlendirerek alfa kesme yöntemi ile performans değerleri elde edilerek kategoriler oluşturulmuştur. Kategorilerinin tutarlılığı Kruskal-Wallis Testi kullanılarak bulunmuştur. Üçüncü aşamada ise aylık ürün talebini karşılamak üzere üretim hatlarına optimum personel ve ürün atamasının gerçekleştirilmesi için bir matematiksel model önerilmiştir. İşçi atamaları yapılırken, işçilerin yetenek seviyeleri göz önünde bulundurulmuştur. Matematiksel modelin amacı toplam iş gücü maliyetinin enküçüklenmesidir.

Canyakmaz, Çolak, Dönmez, Sümer, Şekerel ve Ulu (2011) işçilerin iş istasyonlarına atanması problemi için iki farklı tavlama benzetimi algoritması geliştirmişlerdir. Önerdikleri matematiksel modelde montaj bantlarında üretilen ürünlerin toplam sürelerinin ve iş istasyonlarındaki bekleme

sürelerinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Oğan, Özdeniz, Özer, Öztürk, Top, Çilingir ve Kayaligil (2009) talepteki dalgalanmalar sebebiyle vardiya iptalleri üzerine yapmış oldukları çalışmada üç farklı aşamada modeli geliştirmişlerdir. Bunlar işçi atama modeli, karar tablosu ve envanter modelidir. İşçi atama probleminin amaç fonksiyonunda Canarykalmaz ve diğ. (2011)'nin çalışmalarında olduğu gibi süre enküçüklenmesi yapılmıştır.

Çiçek (2016) personellerin kriterleri ile birliklerin ihtiyaçlarına göre personel atama yapılmıştır. Bu atama personel tercihlerini ön planda tutan daha objektif ve sürdürülebilir bir karar destek sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Literatürde işçi atama modelini karar destek sistemi ile gerçekleştirerek farklı bir yol izlenmiştir. Altay (2007) ise personel atama problemi için bir genetik algoritma önermiştir.

Dagkakis, Rotondo ve Heavey (2019) ve Li, Wang ve Yang (2019) işçi atama problemini ele almışlardır. Kuo, Chen ve Wang (2018), Kuo ve Liu (2017), Mehdizadeh ve Rahimi (2016), Sadeghi, Forghani ve Seidi (2017) ve Wu, Cai, Li ve Chu (2018) hücresele üretim sistemlerinde işçilerin atanması problemini ele almışlardır. Lian, Liu, Li ve Yin (2018) ve Sayın ve Karabatı (2007) ise işçilerin yeteneklerini de dikkate almışlardır.

Literatürde personel atama problemi, personel çizelgeleme kavramının alt modülü olarak yer almaktadır. Atama problemlerinde aynı amaçlara sahip olan pek çok çalışma olsa da problemlerin çözüm yöntemleri ve ele alınan süreç özellikleri oldukça farklılık göstermektedir.

Erişilen literatür incelendiğinde işçi atama problemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda matematiksel modelleme, tavlama benzetimi, genetik algoritma, macar algoritması gibi çözüm tekniklerinin kullanıldığı görülmüştür. Önerilen matematiksel modellerde çevrim süresini enküçükleme, toplam maliyeti enküçükleme vb. amaç fonksiyonları kullanılmıştır. Bu çalışmada literatürde yer alan pek çok çalışmanın aksine amaç fonksiyonu toplam maliyeti en küçükleme değil, işçi yetenek seviyesini enbüyüklemek olarak belirlenmiştir.

Ayrıca literatürde sıkça rastlanan bir varsayım olan bir işçinin sadece bir iş istasyonuna atabileceği ve tam kapasite ile hizmet vereceği varsayımı bu çalışmada kaldırılmış ve bir işçinin birden fazla iş istasyonuna kısmi kapasite ile hizmet verebileceği kabul edilmiştir. Bu kabulün, matematiksel modelin karmaşıklığını arttıracacağı açıktır.

Özetle, bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli özellikler; işçilerin hem yetenek hem de sağlık seviyelerinin birlikte ele alınmış olması, literatürde az sayıda çalışmada yer alan bir işçinin birden fazla iş istasyonuna hizmet verebileceği kabulünün yapılmış olmasıdır. Ayrıca önerilen çözüm yönteminin etkin ve kolay bir biçimde kullanılabilmesi için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Erişilen literatürde bu kapsamda herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. Çalışmada Kullanılan Yöntem ve Metodlar

Uygulama için pilot bölge seçilen talaşlı hattında 71 iş istasyonu ve atanabilir 79 işçi bulunmaktadır. Bu hatta 5 farklı parça üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretilen parçalar ayrı hatlarda yer almasına rağmen ortak olan iş istasyonları da vardır. Bazı iş istasyonlarında manuel tezgahlar yer alırken bazılarında CNC tezgahları vardır. Bu nedenle bazı istasyonlar için bir işçinin birden fazla iş istasyonuna atanabilmesi mümkündür.

Çözüme 3 aşamada ulaşılmıştır. İlk aşamada gerekli vardiya sayısı hesaplanmıştır. İkinci aşamada, belirlenen vardiya sayısına göre her bir iş istasyonu için gerekli işçi sayıları belirlenmiştir. Son aşamada ise yetenek seviyesini en büyüleyecek şekilde işçiler uygun iş istasyonlarına atanmıştır. Ayrıca geliştirilen çözüm yaklaşımının gerçek hayat problemlerinin çözümünde kolaylıkla kullanılabilmesini sağlamak amacıyla bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1 Birinci Aşama: Vardiya Sayısının Belirlenmesi

Ürün talepleri ay bazında farklılık göstermektedir. İşletme, talebi karşılayabilmek için bazı parçaların fason firmalara yaptırılmasına (dış yaptırım) karar verebilmektedir. Bu nedenle aylık talepten fason firmaya yaptırılacak miktar çıkarılarak aylık üretilmesi gereken ürün miktarları hesaplanabilir. Bu miktar aylık çalışma gün sayısına bölünerek günlük üretim miktarı elde edilir. Aşağıdaki formüller kullanılarak gerekli vardiya sayısı hesaplanmıştır.

Formüller yardımıyla Excel işlem tablosunda her iş istasyonu için vardiya sayıları hesaplatılmıştır.

$$\text{Günlük üretilmesi gereken miktar} = \frac{\text{aylık talep} - \text{dış yaptırım}}{\text{aylık çalışma gün sayısı}} \quad (1)$$

$$\text{Bir vardiyada üretilebilen miktar} = \frac{\text{vardiyada süresi}}{\text{çevrim süresi}} \quad (2)$$

$$\text{Vardiya sayısı} = \frac{\text{günlük üretilmesi gereken miktar}}{\text{bir vardiyada üretilebilen ürün miktar} * \text{verimlilik}} \quad (3)$$

3.2 İkinci Aşama: İşçi Sayısının Belirlenmesi

İşletme 3 vardiya düzeninde çalışmaktadır. Bu vardiyalar 8/16, 16/24 ve 24/8 şeklindedir. Vardiyalar için işçi sayısı belirlerken öncelik 8/16 vardiyasına verilir. 24/8 vardiyası işçilik maliyetini artırdığından mümkün olduğunca işçinin atanmaması tercih edilmektedir. Birinci aşamada belirlenen vardiya sayısına göre her vardiyada her iş istasyonuna atanacak işçi sayıları bir Excel makrosu yardımıyla hesaplanmıştır.

Ürün talepleri ay bazında farklılık gösterdiği için bazı durumlarda vardiya sayısı ya da işçi sayısı yetersiz geldiğinden fazla mesaiye ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer böyle bir gereksinim varsa, bu durumu karar vericiye bildirmek üzere karar destek sistemine uyarı kodları eklenmiştir.

3.3 Üçüncü Aşama: İşçilerin İş İstasyonlarına Atanması

Her iş istasyonunun işçi gereksinimine göre işçilerin yetenek ve sağlık seviyelerini dikkate alacak şekilde toplam yetenek seviyesini enbüyükleyecek bir matematiksel model önerilmiştir. Matematiksel modelin çözülebilmesi için öncelikle işçilerin yetenek ve sağlık matrisleri oluşturulmuştur.

3.3.1 İşçilerin Yetenek ve Sağlık Seviyelerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Yetenek ve sağlık seviyeleri belirlenmiştir. Yetenek seviyeleri 0-4 arasında ve sağlık seviyeleri 0-3 arasında değerlerle ifade edilmiştir. Sağlık seviyeleri işçi ve istasyon için ayrı ayrı belirlenmiştir. Yetenek

ve sağlık seviyeleri aşağıda Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 1
Yetenek seviyeleri

Seviyeler	
0	Çalışamaz
1	Yeterli değil
2	Orta bilgiye sahip
3	Yeterli bilgiye sahip
4	Yetkin

Tablo 2
İşçi sağlık seviyeleri

Seviyeler	
0	Rahatsızlık yok
1	Hafif rahatsızlık
2	Orta rahatsızlık
3	Ağır rahatsızlık

Tablo 3
İstasyonun işçi açısından gerektirdiği sağlık seviyeleri

Seviyeler	
0	Rahatsızlığı olmayan
1	Hafif rahatsızlığı olan
2	Orta rahatsızlığı olan
3	Herkes

Her bir hattın sözcüsü tarafından işçiler ve iş istasyonlarına göre yetenek seviye değerlendirilmesi yapılmıştır. Sağlık matrisinde dikkate alınan her bir durum için, işçilerin sağlık seviyeleri iş yeri hekimi tarafından Tablo 2’te verilen dörtlü skala kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra, her bir hattın gerektirdiği sağlık seviyeleri ise Tablo 3 ’teki dörtlü skala kullanılarak hem işyeri hekiminin hem de hat sözcülerinin görüşleri alınarak belirlenmiştir. Böylelikle iş istasyonlarına gereken sağlık seviyesine sahip işçilerin atanması sağlanmaktadır.

Sağlık matrisi;

- Görme
- İşitme
- Ağır taşıma
- Ayakta çalışması gerekli
- Eli zorlayacak hareketler
- Toz ve kimyasal madde
- İtme ve çekme hareketi
- Renk ayırt etme gibi durumlara göre değerlendirilmiştir.

Toplanan bu veriler ile matrisler oluşturulmuştur.

3.3.2 Önerilen Matematiksel Model

Karar Değişkenleri:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ işçi } j. \text{ istasyona tam kapasitesi ile atanırsa,} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ işçi } j. \text{ istasyona kısmi kapasite ile atanırsa,} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$$

Matematiksel Model:

$$enb = \sum_i^N \sum_j^M c_{ij} \cdot x_{ij} + c_{ij} \cdot y_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_i^N x_{ij} = bt_j \quad \forall_j \quad (2)$$

$$\sum_i^N bk_j \cdot y_{ij} = bk_j \quad \forall_j \mid bk_j > 0 \quad (3)$$

M adet iş istasyonu, N adet işçi ve K adet sağlık durumu bulunmaktadır. İşçiler iş istasyonlarına atanırken yetenek ve sağlık seviyeleri dikkate alınmaktadır. Otomasyonun fazla olduğu bazı hatlar için bir işçi birden fazla iş istasyonuna hizmet verebilmektedir. Eğer bir iş istasyonunun bir işçinin tam kapasitesinden daha az iş gücüne ihtiyacı varsa, işçi ihtiyacı kısmi, tam kapasitesine ihtiyacı varsa tam olarak adlandırılmıştır.

Matematiksel modelin amaç fonksiyonu işçilerin yetenek seviyeleri toplamının enbüyüklenmesidir.

İndisler:

i: İşçi indisi ($i=1,2,3...N$)

j: İstasyon indisi ($j=1,2,3...M$)

k: Sağlık indisi ($k=1,2,3...K$)

Parametreler:

bt_j: j. istasyonun tam işçi ihtiyacı

bk_j: j. istasyonun kısmi işçi ihtiyacı

c_{ij}: i. işçinin j. istasyonundaki yetenek puanı

d_j: j. istasyonun gerektirdiği yetenek puanı

n_{ik}: i. işçinin k. tür sağlık puanı

m_{jk}: j. istasyonun gerektirdiği k. türdeki sağlık puanı

$$\sum_i^N y_{ij} = bk_j \quad \forall_j \quad bk_j = 0 \quad (4)$$

$$\sum_j^M x_{ij} + bk_j \cdot y_{ij} \leq 1 \quad \forall_i \quad (5)$$

$$c_{ij} \cdot x_{ij} \geq d_j \cdot x_{ij} \quad \forall_{i,j} \quad (6)$$

$$c_{ij} \cdot y_{ij} \geq d_j \cdot y_{ij} \quad \forall_{i,j} \quad (7)$$

$$n_{ik} \cdot x_{ij} \leq m_{jk} \cdot x_{ij} \quad \forall_{i,j,k} \quad (8)$$

$$n_{ik} \cdot y_{ij} \leq m_{jk} \cdot y_{ij} \quad \forall_{i,j,k} \quad (9)$$

$$c_{ij}, d_j, bt_j, bk_j, n_{ik}, m_{jk} \geq 0 \quad \forall_{i,j,k} \quad (10)$$

$$x_{ij}, y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall_{i,j} \quad (11)$$

Amaç (1), iş istasyonlarına atanan işçilerin yetenek seviyeleri toplamının enbüyüklenmesidir. Kısıt (2), j. istasyona tam kapasiteli olarak atanan işçi sayısının j istasyonun tam kapasiteli işçi gereksinimine eşit olmasını garanti etmektedir. Kısıt (3), j. istasyonun kısmi kapasiteli işçiye ihtiyacı varsa bu gereksinimin karşılanmasını sağlamaktadır. Kısıt (4), j. istasyonun kısmi kapasiteli işçiye ihtiyacı yoksa bu istasyona kısmi kapasiteli işçinin atanmasını engellemektedir. Kısıt (5), i. işçinin hem tam kapasiteli olarak hem de kısmi kapasiteli olarak atanmasını önlemektedir. Kısıt (6), . Kısıt (7), Bir iş istasyonuna ancak o istasyonun gerektirdiği yetenek düzeyini sağlayan işçilerin atanabilmesini garanti eder. Kısıt (8) ve (9), bir iş istasyonuna ancak o istasyonun gerektirdiği sağlık düzeyini sağlayan işçilerin atanabilmesini

sağlar. Kısıt (10)-(11) numaralı kısıtlar işaret kısıtlarıdır.

Geliştirilen matematiksel modelin türeteceği çözümleri inceleyebilmek için bir örnek problem türetilmiştir. Örnek probleme ait parametreler ve problemin önerilen model kullanılarak GAMS/Cplex ve Excel Open Solver çözücülerıyla çözülmesiyle elde edilen sonuçlar izleyen bölümde yer almaktadır.

3.4 Küçük Boyutlu Bir Örnek Problem

3 farklı modeli olan bir kompresör üretilmektedir. 3 farklı kompresörün işlem gördüğü 4 iş istasyonu vardır ve bu istasyonlarda çalışabilecek işçi sayısı 3' tür. Ayrıca 3 farklı sağlık durumunu (görme, ağır

taşıma ve ayakta çalışma) dikkate alan bir problem ele alınmıştır.

3.4.1 Birinci Aşama: Vardiya Sayısı Belirleme

Bu aşamada 3 farklı model için gelen bir aylık talep verileri sırasıyla 80000, 60000, 22000 adet ve bir aylık çalışma gün sayısı 22 gün olarak ele alınmıştır. Ayrıca o ay 2 model için 20000'er adet dış yaptırım olduğu varsayılmıştır. Belirlenen formüllere göre her istasyonun gerekli vardiya sayısı Excel işlem tablosu kullanılarak bulunmuştur. Örnek problem için gerekli vardiya sayısının belirlenmesinde kullanılan

veriler Tablo 4'de verilmiştir. Örneğin, Tablo 4'ün 2. satırında 2. iş istasyonuna ait bilgiler yer almaktadır. İstasyon tipinin 'direkt' olması bu istasyonun işçi gereksinimi olduğunu göstermektedir. Bu istasyonda bir ürünün çevrim süresinin 6,8725 saniye olduğu, %100 verimlilik ile çalışıldığında bir vardiyada 3700 adet ürün üretilebileceği ve günlük üretilmesi gereken miktarın yani temponun ise 1100 adet olduğu görülmektedir. Bu verilere göre de gerekli vardiya sayısı (yani günlük üretilmesi gereken ürün sayısının %100 verimlilikte bir vardiyada üretilebilen ürün sayısına oranı) 0,3 olarak bulunmuştur.

Tablo 4

Vardiya sayısının belirlenmesinde kullanılan parametreler ve iş istasyonları için gerekli vardiya sayıları

<i>İstasyon</i>	<i>İstasyon tipi</i>	<i>Çevrim (saniye)</i>	<i>100% (adet)</i>	<i>Tempo (adet)</i>	<i>Gerekli vardiya</i>
1	Direkt	11,40201	2200	4000	1,9
2	Direkt	6,8725	3700	1100	0,3
3	Direkt	11,40201	2200	3000	1,4
4	Otomasyon		0	8100	0

3.4.2 İkinci Aşama: İşçi Sayısının Belirlenmesi

Belirlenen vardiya önceliği dikkate alınarak birinci aşamada elde edilen her istasyonun gerekli vardiya sayısına göre her vardiya için gerekli işçi sayısı elde

edilmiştir. Elde edilen veriler Tablo 5'de verilmiştir. Kullanılan veriler ile fazla mesaiye ihtiyaç olmadığı da görülmüştür.

Tablo 5

İşçi sayısının belirlenmesinde kullanılan veriler ve iş istasyonları için gerekli işçi sayıları

<i>İstasyon</i>	<i>Adam sayısı</i>	<i>8/16</i>	<i>16/24</i>	<i>24/8</i>	<i>Toplam</i>	<i>Gerekli vardiya</i>	<i>Fazla mesai</i>
1	1	1	0,9		1,9	1,9	0
2	1	0,3	0		0,3	0,3	0
3	1	1	0,4		1,4	1,4	0
4	0	0	0		0	0	0

3.4.3 Üçüncü Aşama: İşçinin İş İstasyonlarına Atanması

Örnek probleme ait işçilerin her bir iş istasyonundaki yetenek düzeyleri Tablo 6'da, her bir iş istasyonunun gerektirdiği yetenek puanları Tablo 7'de, işçilerin her bir iş istasyonundaki sağlık

durumu puanları Tablo 8'de, her bir iş istasyonunun gerektirdiği sağlık durumu puanları Tablo 9'da, ve her bir iş istasyonunun tam ve kısmi kapasiteli işçi gereksinimleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 6

i. işçinin *j.* istasyondaki yetenek puanları (c_{ij})

<i>i</i> / <i>j</i>	1	2	3	4
1	4	3	3	4
2	2	3	2	4
3	4	4	3	4

Tablo 7

j. iş istasyonunun gerektirdiği yetenek puanı

<i>j</i>	$d(j)$
1	1
2	2
3	1
4	1

Tablo 8

i. işçinin *k.* sağlık durumu puanı (n_{ik})

<i>i</i> / <i>k</i>	1	2	3
1	1	2	1
2	0	2	1
3	0	2	0

Tablo 9

j. iş istasyonunun gerektirdiği *k.* sağlık durumu puanı (m_{jk})

<i>j</i> / <i>k</i>	1	2	3
1	2	2	3
2	1	3	2
3	2	3	1
4	2	3	1

Tablo 10

j. iş istasyonunun tam ve kısmi kapasiteli işçi gereksinimleri

<i>j</i>	$bt(j)$	$bk(j)$
1	0	0,2
2	1	0,5
3	0	0,5
4	0	0,2

Tablo 6-10'da verilen parametre değerleri kullanılarak örnek problem, GAMS/CPLEX ve Excel Open Solver ile çözümlenip elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Amaç fonksiyonu GAMS'de de Excel Open Solver'da da 18 değerini almıştır. Birinci işçinin bir, üç ve dördüncü istasyonlara, ikinci ve üçüncü işçinin de ikinci istasyona atandığı görülmüştür. Sonuçlarda görüldüğü üzere Excel Open Solver ve GAMS/CPLEX aynı amaç fonksiyonu değeri ile çözüme ulaşmıştır. Örnek problemin GAMS/CPLEX ile çözümü 0.04 saniyede tamamlanırken Excel Open Solver ile yaklaşık 1.10 saniyede çözüme ulaşılmaktadır.

3.5 Gerçek Hayat Problemi

Bir kompresör işletmesinin talaşlı hattında, 5 farklı kompresör parçasının işlem gördüğü 71 iş istasyonu vardır. Bu iş istasyonlarında çalışabilecek işçi sayısı 79' dur. Ayrıca 7 farklı sağlık durumunun (işitme, ağır taşıma, ayakta çalışma, eli zorlayıcı hareketler, toz ve kimyasal madde, itme ve çekme hareketleri, renk ayırt etme) bulunduğu bir problem ele alınmıştır.

Ele alınan problem, GAMS/CPLEX ve Excel Open Solver ile çözdürülmüş ve amaç fonksiyonu her iki çözücü ile de 193 değerini almıştır. GAMS/CPLEX ile çözüme 3 saniyede ulaşılırken Excel Open Solver ile çözüme yaklaşık 20 dakikada ulaşılmaktadır. GAMS/CPLEX çözücüsünün Excel Open Solver çözücüsüne göre daha hızlı olduğu görülmüştür.

3.6 Geliştirilen Karar Destek Sistemi

Karar destek sistemleri, yönetim bilimi ve karar kuramı ile bilgi teknolojilerini buluşturan özel amaçlı bir bilgi sistemidir. KDS'leri, karar verici ve yöneticilerin bilgi gereksinimini gidermeyi vazgeçilemez ve birincil bir tasarım ve geliştirme amacı olarak benimsemiş olan bilgi sistemleridir. Ancak, diğer bilgi sistemlerinden farklı olarak KDS'ler, karar vericilerin karar verme sürecine yönelik tüm beklentilerini her yönüyle ön planda tutarlar. Bu yönüyle bilgi teknolojileri ve bilgisayar bilimlerinden çok; yönetim bilimine, yöneylem araştırmasına ve karar kuramına yakındır. (Kapanoğlu, Orhan ve Saraç, 2016)

Bu çalışmada ele alınan problemin her ay yeniden çözülmesi gerektiğinden önerilen çözüm yönteminin daha etkin ve kolay kullanılması için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Şekil 1'de geliştirilen karar destek sisteminin veri giriş ekranı verilmiştir. Bu

ekran aracılığıyla aylık çalışma gün sayısı, her model için aylık ürün talepleri ve ilgili ürün modelleri için dış yaptırım miktarları girilmektedir. Tamam (OK) tuşuna basıldığında, önerilen çözüm yaklaşımı kullanılarak belirlenen işçi atamaları ayrıntılı bir şekilde raporlanmaktadır.

Şekil 1. Geliştirilen Karar Destek Sisteminin Veri Giriş Ekranı

GAMS lisans gerektiren bir yazılım olduğundan karar destek sisteminde GAMS yerine Excel çözücüsünün kullanılması uygun görülmüştür. Gerçek hayat probleminin boyutları çok büyük olduğundan EXCEL'in hali hazırındaki çözücüsü yetersiz kalmıştır. Bu nedenle EXCEL'in 'Open Solver' çözücüsü kullanılmıştır.

4. Sonuç

Günümüzde işletmelerin rekabet üstünlüğü sağlayabilmesi için otomasyona geçmeleri kaçınılmaz hale gelmiştir. Otomasyonun işgücü üzerindeki en önemli etkisi ise bir işçinin birden fazla iş istasyonunda çalışabilir hale gelmesidir. Bir işçinin birden fazla iş istasyonuna atanabilmesi ve talebin aylık bazda değişken olması işçilerin iş istasyonlarına ataması problemini karmaşıklştırmaktadır.

Bu çalışmada işçilerin hem yetenek hem de sağlık seviyelerini dikkate alarak iş istasyonlarına tam ve kısmi kapasiteli olarak atanmaları problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için üç aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. İlk aşamada; her iş istasyonu için gerekli vardiya sayısı belirlenmektedir, ikinci aşamada her vardiya için gerekli işçi sayıları belirlenmektedir ve son aşamada ise işçiler yetenek ve sağlık seviyeleri dikkate

alınarak iş istasyonlarına kısmi ve tam kapasiteli olarak atanmaktadır. İşçilerin hangi iş istasyonlarına atanacağını belirleyebilmek için karma tamsayı bir doğrusal karar modeli önerilmiştir. Literatürdeki işçi atama problemlerinde genellikle bir işçinin sadece bir istasyona tam kapasiteli ataması yapılmaktadır. Ayrıca çoğu kez sağlık ve yetenek seviyeleri göz önünde tutulmadan işçi atamaları gerçekleştirilmektedir. Ayrıca önerilen çözüm yaklaşımının işletmede uygulanmasını kolaylaştırmak amacıyla bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Çalışma sadece işletmenin talaşlı hattında uygulanmıştır. Gelecekte işletmedeki bütün hatlara uygulanması önerilmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Büşra TUTUMLU, çalışmanın yapıldığı işletmede problemin incelenmesi, bilimsel yayın taramasının yapılması, matematiksel modelin kurulması, problemin çözülmesi ve mevcut çözüm ile karşılaştırılması ve makalenin oluşturulması; Berna AYGÜN, çalışmanın yapıldığı işletmede problemin incelenmesi, bilimsel yayın taramasının yapılması, matematiksel modelin kurulması, problemin çözülmesi ve mevcut çözüm ile karşılaştırılması ve makalenin oluşturulması; Tuğba SARAÇ, matematiksel modelin kurulması, problemin çözülmesi ve mevcut çözüm ile karşılaştırılması ve makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Proje Destekleme Programı kapsamında 2018 yılı 4. Döneminde desteklenmeye hak kazanmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Altay, A. (2007). *Genetik algoritma ve bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Bakan, İ. ve Kelleroğlu, H. (2003). Performans değerlendirme: çalışanların performans değerlendirme uygulamalarından beklentileri konusunda bir alan çalışması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 103-127. Erişim adresi: <http://sablon.sdu.edu.tr/fakulteler/iibf/dergi/files/2003-1-7.pdf>
- Canyakmaz, C., Çolak, A., Dönmez, C., Sümer, S., Şekerel, B.C. ve Ulu, E. G. (2011). Bulaşık makinesi montaj hattı iş sıralama ve işçi atama sistem tasarımı (Proje Fuarı ve Yarışması). *Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü*, 1-15. Erişim adresi: <https://w3.ie.bilkent.edu.tr/emfuar/wp-content/uploads/2016/12/Kitap2011.pdf>
- Çiçek, İ. (2016). *Jandarma genel komutanlığı için personel atama süreci ve karar destek sistemi*. Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara.
- Dagkakis, G., Rotondo, A. & Heavey, C. (2019). Embedding optimization with deterministic discrete event simulation for assignment of cross-trained operators: an assembly line case study. *Computes And Operations Research*, 111, 99-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.06.008>
- Kapanoğlu, M., Orhan, İ. ve Saraç, T. (2016). *Karar destek sistemleri*. anadolu üniversitesi yayınları.
- Kuo, Y., Chen, Y. & Wang, Y. (2018). Operator assignment with cell loading and product sequencing in labour-intensive assembly cells - a case study of a bicycle assembly company. *International Journal of Production Research*, 56(16), 5495-5510. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1470345>
- Kuo, Y. & Liu, C. (2017). Operator assignment in a labor-intensive manufacturing cell considering inter-cell manpower transfer. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 83-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.036>
- Li, Y., Wang, H. & Yang, Z. (2019). Type II assembly line balancing problem with multi-operators. *Neural Computing & Applications*, 31, 347-357. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3834-1>
- Lian, J., Liu, C., Li, W. & Yin, Y. (2018). A multi-skilled worker assignment problem in seru production systems considering the worker heterogeneity. *Computers & Industrial Engineering*, 118, 366-382. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.02.035>
- Mehdizadeh, E. & Rahimi, V. (2016). An integrated mathematical model for solving dynamic cell formation problem considering operator assignment and inter/intra cell layouts. *Applied Soft Computing*, 42, 325-341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.01.012>
- Sadeghi, S., Forghani, M.A. & Seidi, M. (2017). Integrated dynamic cell formation with operator assignment and inter-cell layout problems: a mathematical model. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, 231(9), 1658-1669. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954405415604314>
- Sarucan, A. (1999). *Bir raylı ulaşım sisteminde personel çizelgeleme problemine bütünlük yaklaşım* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Sayın, S. & Karabatı, S. (2007). Assigning cross-trained workers to departments: A two-stage optimization model to maximize utility and skill improvement. *European Journal of Operational Research*, 176, 1643-1658. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.10.045>
- Oğan, A.D., Özdeniz, B., Özer, Z.Ö., Öztürk, K.C., Top, L., Çilingir, C. ve Kayalığıl, S. (2009). Dizel enjektör üretimi yapan bir şirketteki montaj hattı işletme süreçleri. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20(3), 39-51. Erişim adresi: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/bf91895a3a5910a_ek.pdf
- Özçelik, S. (2011). *Çok yönlü personellerin değerlendirilmesi ve üretim hattı personel atama problemi için bir optimizasyon modeli* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Wu, L., Cai, F., Li, L. & Chu, X. (2018). Cross-trained worker assignment problem in cellular manufacturing system using swarm intelligence metaheuristics. *Mathematical Problems in Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/4302062>