



## Personel Görev Çizelgeleme Problemi İçin Bir Excel Çözücü Modeli: Orta Gerilim Sigorta Üretimi Uygulaması

### An Excel Solver Model For Personnel Task Scheduling Problem: Application Of Medium Voltage Fuse Production

Mehmet Pınarbaşı<sup>1</sup> , Hacı Mehmet Alakaş<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Dr. Endüstri Mühendisi, Ulukavak Mah. Mavral Sk. 19030, Çorum, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/04/2020

Kabul / Accepted: 18/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

#### Öz

Artan işçilik maliyetleri ile birlikte, işçi yoğun çalışan işletmeler işgücünü daha etkin ve dengeli olarak kullanmaya yönelmektedir. Bu sebeple işletmeler çalışan personellerini mümkün olduğu kadar maksimum görevde çalıştırmak istemektedirler. Bir veya birden fazla amacı en iyileyecek şekilde personellere görevlerin atanması problemi personel görev çizelgeleme problemi olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada personel görev çizelgeleme problemi için bir matematiksel model önerilmiştir. Model Excel çalışma sayfası ve Çözücü aracı kullanılarak çözülmüştür. Problem çözümünde orta gerilim sigorta üretimi yapan bir işletmeden elde edilen gerçek veriler kullanılmıştır. Bu gerçek veriler kullanılarak önerilen matematiksel model çözülmüştür. Excel çözücü modelinin etkinliğini ölçmek için matematiksel model sonuçları ile çözücü performansı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Önerilen çalışma sayfası çözümü sayesinde işletmede işgücünün %85 oranında daha etkin ve verimli kullanılmasına önemli ölçüde katkı sağlanmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

*“Personel görev çizelgeleme problemi, İşgücü dengeleme, Matematiksel modelleme, Excel çözücü, Orta gerilim sigorta”*

#### Abstract

Along with increasing labor costs, labor-intensive firms tend to use the labor force more effective and balanced. For this reason, firms want to employ their personnel as to possible as maximum tasks. The personnel task scheduling problem is defined as the problem of assigning tasks to the personnel while one or more objectives are optimized. In this study, a mathematical model has been proposed for personnel task scheduling problem. The model is solved by using the Excel spreadsheet and Solver tool. The real-life data obtained from a firm that produces the medium voltage fuses are used in problem-solving. The proposed mathematical model is solved by using this real data. In order to measure the effectiveness of the Excel solver model, mathematical model results are compared with the solver's performance. Thanks to the proposed worksheet solution, a significant contribution has been made to the efficient and productive use of the workforce in the firm.

#### Key Words

*“Personnel task scheduling problem, Workforce balancing, Mathematical modelling, Excel solver, Medium voltage fuses”*

## 1. Giriş

Günümüzde üretim sistemlerinin en büyük problemlerinden biri ve başta geleni maliyetlerin yükselmesine karşın satış fiyatlarının pazar şartlarına bağlı olarak belirlenmesidir. Üreticiler bu rekabet ortamında hem malzeme maliyetlerini hem de süreçlerden kaynaklı maliyetleri minimize ederek karlarını artırmayı hedeflemektedirler. Özellikle süreçlerden kaynaklı maliyetlerin düşürülmesi için üretim planlama ve çizelgeleme büyük önem arz etmektedir.

Üretim planlama, taleplerin karşılanması için makine, ekipman ve işgücü gibi üretim kaynaklarının maksimum verimlilik ve minimum maliyetle kullanılması ile üretim faaliyetlerinin organize edilmesidir. Üretim planlama kapsamında talep tahmini, malzeme yönetimi, stok planlama, kapasite planlama ve çizelgeleme faaliyetleri ön plana çıkan ana konular olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle kısa dönem planlama çalışmalarında üretilecek ürünlerin ve adetlerinin belirlenmesinde kapasite planlaması önem arz etmektedir. Ana üretim planının ve çizelgelerin oluşmasında makine ve işçi kapasiteleri önemli bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir diğer önemli kistas da taleplerin teslim tarihleridir. Pratikte ve teorikte hem taleplerin teslim tarihleri hem de fabrikanın üretim kapasitesi dikkate alınarak genellikle haftalık olarak ana üretim planları oluşturulmaktadır.

Ana üretim planının belirlenmesinde özellikle işçiliğin yüksek olduğu işletmelerde işgücü kapasitesi belirgin olmaktadır. Sınırlı sayıdaki işçinin üretimi aksatmayacak şekilde üretim süreçlerine dağıtımının ve zaman içerisinde işlerin koordinasyonunun düzenli bir şekilde yapılması çok önemlidir. Bir işletmede işgücünün üretim sürecinde bulunan görevlere bir veya birden fazla amacı göz önünde bulundurularak atanması problemine personel görev çizelgeleme problemi (PGÇP) denir.

Görev çizelgeleme problemi NP-zor yapıda olması nedeniyle literatürde çok fazla sayıda çalışmaya konu olmuştur (Hojati, 2018). Bu çalışmalarda genellikle matematiksel model veya sezgisel model yaklaşımları çözüm yöntemi olarak kullanılmıştır. Bu yöntemler etkinliği göz önünde bulundurulduğunda çok avantajlı olsalar da pratikte uygulanması açısından zorluklar çekilmektedir (Lapègue vd., 2013). Özellikle işletmeler kullanıcı dostu ve kolay uygulanabilir çözüm yöntemlerini tercih etmektedir.

Firmalarda, birçok gerçek hayat probleminin matematiksel modellerinin kurulması ve programlama yazılımlarının uygulanmasında firma çalışanlarının yeterli uzmanlık bilgisine sahip olmaması önemli bir sorundur. Personel görev çizelgeleme problemi firmalarda genellikle günlük veya haftalık olarak tekrarlı bir şekilde farklı ölçüm değerleri ve kısıtlar ile çözümlenerek yöneticiler tarafından yorumlanması gereken bir problemdir.

Matematiksel modellerin programlanmasında Lingo, GAMS, ILOG gibi birçok ticari yazılım kullanılmaktadır. Matematiksel modellemede ve programlamada tecrübeli bir endüstri mühendisi için bu tür yazılımlarda PGÇP'yi programlamak oldukça basit olsa da firma genelindeki kullanıcıların da problemdeki küçük parametre değişiklikleri ile problemi çözmeye kolaylıkla ulaşılabilir, anlaşılması kolay ve çeşitli grafik araçları ve yöntemleri ile yorumlar yapılabilmesine olanak sağlayan bir yazılıma sahip olması gerekmektedir. Bu sebeple problemin çözümünde etkili bir arayüze sahip, programlama bilgisi gerektirmeyen ve yaygın kullanılan bir yazılıma firmaların ihtiyacı vardır (Sakallı ve Birgören, 2009).

Excel işletmelerde hesaplama ve veri depolama amacı ile ilk sıralarda tercih edilen ve kullanılan bir tablolama yazılımıdır. İşletmeler problem boyutları küçük olduğunda, problemin çözümü için özel bir yazılıma sahip olunmadığı durumlarda veya problemin çözümü için özel bir teknik veya algoritmanın uygulanması için gerekli yeteneğe sahip olunmadığı durumlarda Excel'i tercih etmektedirler. İçerisinde bulundurduğu çeşitli istatistiksel ve matematiksel araçlar ile Excel işletmelerde karşılaşılan problemlere çözüm önerileri sunmaktadır. Bu çözüm önerilerinden biri de Çözücü aracı olarak bilinen, doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel modellerin çözümünde kullanılan araçtır. Çözücü, içerisinde maksimum tanımlanabilecek karar değişkeni sayısı, maksimum tanımlanabilecek kısıt sayısı gibi çeşitli modelleme kısıtları barındırır da genel olarak işletme problemlerinin çözümünde kullanışlı olmaktadır.

Bu çalışmada PGÇP ele alınmış ve problemin çözümünde Excel çalışma kitabı uygulaması üzerinde durulmuştur. Problem için personellerin toplam boş zamanını minimize edecek bir matematiksel model önerilmiştir. Modelde işçilerin yorulma ve motivasyon kaybını da göz önünde bulundurularak bir personele atanabilecek maksimum görev sayısı sınırlandırılmıştır. Modelin çözümü için Excel Çözücü aracından faydalanılmıştır. Model orta gerilim sigorta (OGS) üretimi yapan bir firmadan alınan gerçek veriler ile test edilmiştir. Firmada hali hazırda personel çizelgelemesi için herhangi bir model veya yazılım kullanılmaktadır. Bu sebeple firma için önemli olan bir probleme çözüm getirilmiştir. Firmanın hali hazırda bulunan görevlendirme çizelgesine göre daha etkin ve daha az boş zamana sahip bir görev ataması elde edilmiştir.

Çalışmanın devamı şu şekilde organize edilmiştir. Giriş bölümünden sonra Bölüm 2'de problem ile ilgili literatür araştırması verilmiştir. Bölüm 3'te PGÇP hakkında temel bilgiler ve önerilen matematiksel model verilmiştir. OGS bileşenleri ve üretim süreci hakkında detaylı bilgiler Bölüm 4'te sunulmuştur. OGS üretim sürecinde yer alan her bir alt bölümde gerçekleştirilen görevlere personel ataması, Excel çalışma sayfası çözümleri ve matematiksel model ile karşılaştırmalı sonuçlar Bölüm 5'te verilmiştir. Bölüm 6'da verilen sonuç bölümü ile çalışma sonlandırılmıştır.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

PGÇP literatürde farklı isimler ile ele alınmıştır. Bu problemleri şu şekilde sıralamak mümkündür: işçi çizelgeleme (Al-Yakoob ve Serali, 2007; Parisio ve Jones, 2015; Brezilianu vd., 2009; Ağralı vd., 2017; Drezet ve Billaut, 2008), vardiya çizelgeleme

(Al-Yakoob ve Sherali, 2007; Bhulai vd., 2008; Brunner vd., 2009; Topaloglu, 2009; Salvagnin ve Walsh, 2012; Solos vd., 2016; Boyer vd., 2014; Omar vd., 2015), PGÇP (Omar vd., 2015; Smet vd., 2014; Krishnamoorthy vd., 2012; Lapègue vd., 2013; Prot vd., 2015; Hojati, 2018), işgücü çizelgeleme (Valls vd., 2009; Fırat ve Hurkens, 2012; Liao vd., 2013; Laesanklang vd., 2015; Cuevas vd., 2016), personel çizelgeleme (Zolfaghari vd., 2009; Louly, 2013; Günther ve Nissen, 2010; Rocha, 2014; Soukour vd., 2012). Tablo 1’de PGÇP için literatür çalışmaları özetlenmiştir. PGÇP’nin çözümü için matematiksel programlama ve dal sınır algoritması gibi kesin yöntemlerin kullanılmasının yanı sıra birçok sezgisel yöntemin de (genetik algoritma, tabu arama, parçacık sürüsü vb.) kullanıldığı görülmektedir. Problemdaki personelin görev alanına göre de PGÇP çeşitli uygulama alanları bulmuştur. Bunları ise kısaca sağlık sistemleri, alışveriş merkezleri, çağrı merkezleri gibi birçok hizmet sistemleri ile araç üretimi, cam üretimi, telekomünikasyon sektörü gibi birçok üretim sistemleri olarak sıralamak mümkündür. Tablo 1’deki çalışmalardan da görüleceği üzere PGÇP’nin orta gerilim sigorta üretimi gibi bir firmada uygulamasına rastlanılmamıştır.

**Tablo 1.** Literatür çalışmaları

Problem tipi	Literatür	Çözüm yöntemi	Uygulama alanı
İşçi Çizelgeleme	Al-Yakoob ve Sherali (2007)	KT	Gaz istasyonu
	Parisio ve Jones (2015)	SP	Perakende Satış
	Brezulianu vd. (2009)	GA	Alışveriş Merkezi
	Ağralı vd. (2017)	KTP	Hizmet Endüstrisi
	Drezet ve Billaut (2008)	TA	Bilgi Teknolojileri
	Attia vd. (2019)	SA	-
Vardiya Çizelgeleme	Al-Yakoob ve Sherali (2007)	KTP	İş Merkezi
	Bhulai vd. (2008)	İM	Çağrı Merkezi
	Brunner vd. (2009)	TP	Doktor Çizelgeleme
	Topaloglu (2009)	ÇAP	Sağlık Sistemi
	Salvagnin ve Walsh (2012)	MP/KP	-
	Solos vd. (2016)	SA	Kamyon Üretimi
	Boyer vd. (2014)	DFA	-
	Omar vd. (2015)	SP	Acil Servis Bölümü
	Becker vd. (2019)	MP	Acil Servis Bölümü
	Kluger vd. (2020)	B	Salgın Personeli Çizelgeleme
Personel Görev Çizelgeleme	Smet vd. (2014)	SA	-
	Krishnamoorthy vd. (2012)	LY	-
	Lapègue vd. (2013)	KP	-
	Prot vd. (2015)	İSY	-
	Hojati (2018)	AS	-
	Chandrasekharan vd. (2020)	SA	-
İşgücü çizelgeleme	Valls vd. (2009)	GA	Hizmet Merkezi
	Fırat ve Hurkens (2012)	KTP	-
	Liao vd. (2013)	SP	Çağrı Merkezi
	Laesanklang vd. (2015)	AY	-
	Cuevas vd. (2016)	KTP	-
	Alfares ve Alzahrani (2019)	MP	Güvenlik Kapı Kontrolü
	Srinakorn ve Olapiriyakul (2020)	TP	Sağlık Sistemi
Personel Çizelgeleme	Zolfaghari vd. (2009)	GA	Perakende Sektörü
	Louly (2013)	AP	Telekomünikasyon Merkezi
	Günther ve Nissen (2010)	PS	-
	Rocha (2014)	YS	Cam Sanayi
	Soukour vd. (2012)	SA	Güvenlik Hizmeti
	Ozder vd. (2020)	ÇAP	Enerji Sektörü

KTP: Karışık Tam Sayılı Programlama, SP: Stokastik Programlama, GA: Genetik Algoritma, TA: Tabu Arama, İM: İteratif Metot, TP: Tam Sayılı programlama, ÇAP: Çok Amaçlı Programlama, MP: Matematiksel Programlama, KP: Kısıt Programlama, SA: Sezgisel Arama, DFA: Dal ve Fiyat Algoritması, LY: Lagrangean Yumuşatması, İSY: İki Safhalı Yaklaşım, AS: Açgözlü Sezgisel, AY: Ayrıştırma, AP: Amaç Programlama, PS: Parçacık Sürüsü, YS: Yapıcı Sezgisel, B: Benzetim

**Tablo 2.** Excel çalışma kitabı literatür çalışmaları

Literatür	Problem tipi	Çözüm yöntemi	Uygulama alanı
Erdoğan (2017)	Araç Rotalama Problemi	Meta-sezgisel/Çalışma Kitabı	Sağlık ve Turizm
Sakallı ve Birgören (2009)	Karışım Problemi	Doğrusal Programlama/Çalışma Kitabı	Döküm
Ovchinnikov ve Milner (2008)	Atama Problemi	Çok Kriterli Karar Verme/Çalışma Kitabı	Kolej
Shetty (2010)	Yalın Üretim	Anket/Çalışma Kitabı	Üretim Sistemi
Boute ve Lambrecht (2009)	Tedarik Zinciri Yönetimi	Simülasyon/Çalışma Kitabı	-
Kumar ve Kropp (2006)	Tedarik Zinciri Yönetimi	Simülasyon/Çalışma Kitabı	-
La Trobe-Bateman (2003)	Üretim Tasarımı	Çalışma Kitabı Araçları	-
Ashley (1995)	Personel Çizelgeleme	Çalışma Kitabı Formülasyonu	Kütüphane Personeli
Trautmann ve Gnägi (2015)	Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme	Çalışma Kitabı Formülasyonu	-
Cunha ve Fernando (2007)	Dağıtım Problemi	Çalışma Kitabı Modelleme	Gazete/Basın Yayın
LeBlanc vd. (2000)	Atama Problemi	Çalışma Kitabı Modelleme	Yapı Projesi
Briones ve Escola (2019)	Tasarım Problemi	Excel Çözücü Modelleme	Isı Ağı Tasarımı
Briones vd. (2020)	Sıralama Problemi	Excel Çözücü Modelleme	Damıtma Sistemi
Aljasser ve Sasidhar (2018)	Çok Aşamalı Çizelgeleme	Excel Çözücü Modelleme	Çoklu Ark Ağları

Excel çalışma kitabı uygulamalarına literatürde birçok problemin çözümünde rastlamak mümkündür. Bu çalışmalara, üretim sistemi problemlerinde (Erdoğan, 2017; Sakallı ve Birgören, 2009; Shetty, 2010; Boute ve Lambrecht, 2009; Kumar ve Kropp, 2006; La Trobe-Bateman, 2003), hizmet sistemi problemlerinde (Ovchinnikov ve Milner, 2008; Ashley, 1995; Trautmann ve Gnägi, 2015; Cunha ve Fernando, 2007; LeBlanc vd., 2000) çalışmaları örnek olarak verilebilir. Bu problemlerin çözümünde Excel ile birlikte yardımcı bazı metotlar da kullanılmıştır. Sezgisel veya metasezgiseller, çok kriterli karar verme yöntemleri, simülasyon gibi yöntemler bu metotlar arasında sayılabilir. Tablo 2’de Excel literatürü özetlenmiştir. Diğer Excel çalışma kitabı kullanılarak çözülebilen problem tipleri için Powell ve Baker (2014)’a bakılabilir. PGÇP için Excel çözücü modeli yaklaşımı literatürde hiç ele alınmamıştır.

Yazarların yaptığı araştırmaya göre, literatürde PGÇP’nin çözümü için Excel çalışma kitabı ve çözücü aracı kullanılarak yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada PGÇP için önerilen bir matematiksel modelin Excel çözücü aracı ile modellenmesi ve çözümünün yanı sıra OGS üretimi yapan bir firmada uygulanması üzerinde durulmuştur. İşletmede yer alan tüm üretim süreçlerine ait Excel çözücü modeli ilerleyen bölümlerde detayları ile verilmiştir.

### 3. Problem Tanımı ve Matematiksel Model

PGÇP,  $P$  adet personelin  $T$  adet görevi yapmak üzere belirli bir amacı gerçekleştirmek üzere görevlendirilmesini sağlar. Bu çalışmada önerilen modelin amaç fonksiyonu personellerin toplam boş zamanını  $I_i, i = 1, \dots, P$  en küçükmektir. Modelde dikkate alınan varsayımlar aşağıdaki gibidir.

- Günlük çalışma süresi 510 dakikadır.
- Personelde motivasyon eksikliği ve yorgunluğa sebebiyet vermemek için bir personele atanacak görev sayısı altı ile sınırlandırılmıştır. Bu açıdan matematiksel model firma isteklerine göre tanımlanmış yeni bir kısıt ile yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.
- Her bir personel her bir görevi yapabilecek yeteneğe sahiptir.
- Görev süreleri sabittir ve önceden bilinmektedir.
- Görev süreleri personele göre değişmemektedir.
- Teknolojik kısıtlar dikkate alınmıştır. Bir görevin yerine getirilmesi için gereken personel sayısı önceden bilinmektedir.

Personel çizelgeleme problemi için çalışmada önerilen matematiksel model aşağıdaki gibidir.

*İndisler*

$i$  = Personel

$j$  = Görev

**Parametreler** $P$  = Toplam personel sayısı $T$  = Toplam görev sayısı $W$  = Günlük çalışma süresi $T_{\max}$  = Bir personele atanabilecek maksimum görev sayısı $p_j$  =  $j$  görevi için gerekli personel sayısı $t_{ij}$  =  $i$  personelinin  $j$  görevini gerçekleştirme süresi**Karar değişkenleri** $x_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ personeli } j \text{ görevine atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$  $I_i$  =  $i$  personelinin boş zamanı

$$\text{Min } \sum_{i=1}^P I_i \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^T x_{ij} \leq T_{\max} \quad i = 1, \dots, P \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^T x_{ij} \cdot t_{ij} \leq W \quad i = 1, \dots, P \quad (3)$$

$$I_i = W - \sum_{j=1}^T x_{ij} \cdot t_{ij} \quad i = 1, \dots, P \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^P x_{ij} \leq p_j \quad j = 1, \dots, T \quad (5)$$

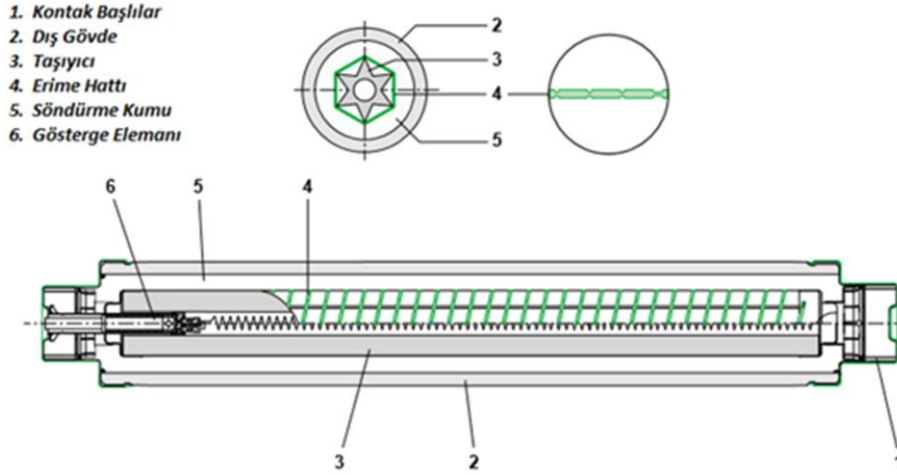
$$x_{ij} \in \{0, 1\}, I_i \geq 0 \quad (6)$$

Firmanın en önemli sorunu çalışan personellerin günlük çalışma zamanı içerisinde maksimum seviyede çalışmasını sağlamaktır. Bu sebeple önerilen model Eşitlik (1) personellerin toplam boş zamanlarını en küçükleyen amaç fonksiyonunu ifade edecek şekilde modellenmiştir. Firmada yer alan bazı görevlerin yorucu ve ağır olması nedeni ile bu etmenlerin personel üzerindeki etkisini azaltmak için bir personele atanacak toplam görev sayısı sınırlandırılmıştır. Bir personele atanabilecek maksimum görev sayısı Eşitlik (2) ile ifade edilmiştir. Eşitlik (3) bir personele günlük çalışma mesaisi süresinden (510 dk) daha fazla görev atanmamasını garanti eder. Bir personelin günlük boş zamanı toplam günlük çalışma süresinden ilgili personele atanan toplam görev zamanının çıkarılması belirlenir. Eşitlik (4) bu boş zamanları ifade eden denklem sistemini ifade etmektedir. Uygulamada gerçekleştirilen bazı görevlerin tek personel ile yapılamayacak kadar karmaşık veya ağır olması nedeni ile bazı görevler birden fazla personele ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple her bir görevin yerine getirilmesi için gereken personel sayısı Eşitlik (5) ile garanti altına alınmıştır. Eşitlik (6) ise değişken kümelerini tanımlamaktadır.

**4. Orta Gerilim Sigorta Üretimi**

Orta gerilim sigortaları elektriksel sistemleri belirli bir gerilim aralığında otomatik ve seçici davranarak, sigortanın minimum kesme akımından daha büyük olan kısa devrelerde sistemi dinamik ve termal etkilerden koruyan elemanlardır. Genel hatları ile bir OGS Şekil 1'de gösterildiği gibi altı ana parçadan meydana gelmektedir. Bunlardan biri sigortanın görevini yapacağı elektriksel sistem ile bağlantısını sağlayan kontak başlıklardır. Bu başlıklar genellikle bakırdan imal edilmektedir ve iyi bir iletken olmak zorundadır. Dış gövde olarak tabir edilen bölüm seramikten imal edilmiş bir boru formundadır. Bu gövde termal ısınmalara ve elektriksel iletimden doğacak etkilere karşı dayanıklı ileri seviye seramiklerden üretilmektedir. Taşıyıcı olarak tabir edilen ve dış gövdenin içinde yer alan eleman ise sigorta içerisindeki elektriksel devrenin üzerine sarıldığı elemandır. Bu eleman da ileri seviye elektriksel seramik ürünlerdendir. Erime hattı taşıyıcı üzerine sarılan çok iyi derecede iletken olan bir tel formunda malzemedir. Bu malzeme için genellikle gümüş tercih edilmektedir. Dış gövde ile taşıyıcı arasında sigortanın çalışması durumunda meydana gelecek ısı enerjisini sönmölemek için bir söndürme kumu kullanılır. Bu kum çeşitli tanecik yapısına sahip genellikle silis veya kuvars kumundan oluşmaktadır. Gösterge elemanı ise mekanik veya optik olarak tasarlanan ve sigortanın görevini tamamlaması durumunda kullanıcıya sigortanın artık görev yapmadığını göstermek veya herhangi bir sistemin devreye konulması için bir butona basılmasını sağlamak amacıyla kullanılır. OGS'ler trafolar gibi elektriksel sistemlerin korunması için en yaygın ve ucuz olarak kullanılan malzemelerdir.

Çalışmada dikkate alınan orta gerilim sigorta üretiminde dört ana süreç yer almaktadır. Bu süreçler sırasıyla çamurhane, fırınlama ve kesme, yarı mamul imalatı ve montaj bölümlerinden oluşmaktadır. Üretim süreci kısaca çamurhane bölümünde hazırlanıp şekillendirilen pişmemiş seramik yarı mamullerin fırınlama ve kesme bölümünde pişirilmesi ve piştikten sonra istenilen ölçülerde kesilmesi ile devam eder. Daha sonra elde edilen seramik yarı mamuller montaj bölümüne iletilir. Montaj bölümünde nihai ürün montajının yanı sıra sigortanın kontak başlıkları, gösterge elemanı ve sigorta bağlayıcı elemanlarının üretimi gibi yarı mamullerin üretimi de gerçekleştirilir. Bu aşamalardan çamurhane ve fırınlama makine temelli olarak ele alınsa da ilgili makinelerde işlenecek malzemelerin hazırlanması, makineye işin yüklenmesi ve boşaltılması işçilik gerektirmektedir. Yarı mamul imalatı ve montaj işlemleri ise işçiliğin yüksek olduğu bölümlerdir. Bu bölümlerin kapasitesi işçi sayısı ile doğru orantılıdır. İşletmede toplam 12 işçi ve 43 görev yer almaktadır ve işlerin aksamadan koordinasyonunun sağlanarak yapılabilmesi için işçilerin üretim sürecinde farklı bölümlere atanması gerekmektedir. Bu aşamada hangi bölümde hangi işin hangi işçi tarafından yapılacağını belirlemenin işletme için bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Bir orta gerilim sigorta teknik resmi

## 5. Excel Çözücü Modeli ve Analizler

Excel Çözücü verilen bir matematiksel modelin parametreleri ile birlikte gerekli verileri Excel çalışma sayfası hücrelerinden alarak problemi çözmeye olanak sağlayan bir araçtır. Genel hatları ile modelin amaç fonksiyonu hedef hücre seçilerek çözücü parametreleri penceresinde hedef ayarla kutucuğunda belirtilir. Karar değişkenleri çalışma sayfasında çözücünün karar vereceği değişken hücreleri temsil eder ki çözücü parametreleri penceresinde değişken hücreler kutucuğunda belirtilir. Model kısıtları ilgili hücre veya hücre aralıkları ile sağ taraf değerleri çözücü parametreleri penceresinde kısıtlama ekleyerek tanımlanabilir. Daha sonra parametre penceresinde çözüm yöntemi (bu çalışma için Basit LP) seçilerek modelin çözümü sağlanabilir.

Excel standart lisansında 200 karar değişkeni ile 100 adet kısıtlama yapılmasına izin vermektedir. Çalışmada ele alınan problemin ve uygulama verilerine göre problemin boyutunun bu kısıtlamalardan çok büyük olduğu görülmektedir. Bu sebeple uygulama için problemin çözümü problem üretim sürecindeki farklı iş bölümlerine göre ayrıştırılmıştır. Örneğin, öncelikle çamurhane bölümündeki görevlere personel ataması yapılmış, daha sonra buradan elde edilen sonuç sonraki bölümler için bir girdi parametresi olarak kullanılarak problem kademeli olarak çözülmüştür. Son bölüm olan montaj bölümündeki görevlere personel ataması yapılması ile nihai çözüm elde edilmiştir. Sonraki bölümlerde problemin her bir iş bölümündeki çözümü verilmiştir.

Problem çözümündeki veriler işletmede yapılan zaman etütleri ile belirlenmiştir. Elde edilen veriler yapılan toplu ve ana üretim planları çerçevesinde günlük üretilmesi istenen OGS miktarı belirlenmiştir. Görev süreleri ve üretim planına göre bir görevin günlük plan içerisindeki toplam görev süresi belirlenmiştir. Bu süreler dikkate alınarak personellere görev atamaları yapılacaktır.

### 5.1. Çamurhane Bölümü Sonuçları

Bu bölümde OGS'de kullanılan ileri seviye seramiklerin belirli reçete oranlarında hammaddelerin karıştırılması ile elde edilen çamur hazırlanır. Değirmenlere doldurulan hammaddeler belirli sürelerde su ile öğütülerek çamur elde edilir. Elde edilen çamur elendikten sonra tanklarda muhafaza edilir. Preslerde suyu alınan çamurlar dış gövde veya taşıyıcı olarak şekillendirilmek üzere makinelerle yönlendirilir.

Dış gövde ortam şartlarından etkilenmemesi için sır ile kaplanmaktadır. Bu sır yine hammaddelerin belirli oranlarda değirmene doldurulması ve öğütülmesinin ardından elenir, daha sonra renklendirmesi yapılarak uygun kaplarda muhafaza edilir. Bu süreçlerde geçen toplam 12 görev Şekil 2'de verilmiştir.

Ayrıca Şekil 2'nin A bölümünde her bir görevin her bir personel tarafından gerçekleştirileceği süreler yer almaktadır. Bu çalışmada bu görev süreleri her bir personel için aynı kabul edilmiştir. Şekil 2'nin B bölümünde günlük çalışma süresi olan 510 dk. ve bir personele verilecek olan ortalama görev sayısı (bu çalışmada 6'dır) kısıtlarına ait veriler belirtilmiştir. C bölümünde ise her bir

görevin yerine getirilmesi için gerekli personel sayısı belirtilmiştir. Genel olarak Şekil 2’de verilen tablo problem girdilerinin tanımlandığı tabloyu ifade etmektedir.

		Personel												C	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
3	Çamurhane	Çamur Hammaddede Tartım	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	2
4		Değirmen Doldurma	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	4
5		Değirmen Su Verme	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1
6		Çamur Eleme	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	1
7		Çamur Tanka Basma	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1
8		Pres Boşaltma	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	2
9		Sır Hammaddede Tartım	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1
10		Sır Değirmen Doldurma	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	2
11		Sır Eleme	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1
12		Sır Ayarlama ve Renklendirme	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	2
13		Dış Gövde Şekillendirme	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	2
14		Taşıyıcı Şekillendirme	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	2
15															
16		Günlük Çalışma Süresi (dk)	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	
17	Ortalama Görev Sayısı	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		

Şekil 2. Çamurhane bölümü parametreleri (A: Görev süreleri, B: Günlük çalışma süresi ve ortalama görev sayısı kısıt parametreleri, C: Görevin gerçekleştirilmesi için gerekli personel sayıları)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	E
21	Çamurhane	Çamur Hammaddede Tartım	1		1									2
22		Değirmen Doldurma	1	1	1	1								4
23		Değirmen Su Verme		1										1
24		Çamur Eleme		1										1
25		Çamur Tanka Basma			1									1
26		Pres Boşaltma	1	1										2
27		Sır Hammaddede Tartım	1											1
28		Sır Değirmen Doldurma	1		1									2
29		Sır Eleme		1										1
30		Sır Ayarlama ve Renklendirme	1	1										2
31		Dış Gövde Şekillendirme			1	1								2
32		Taşıyıcı Şekillendirme								1	1			2
33														
34	Günlük Çalışma Süresi (dk)	240	285	356.3	221.3				102	102			F	
35	Toplam Görev Sayısı	6	6	5	2				1	1				
36	Boş Zaman (dk)	270	225	153.8	288.8	510	510	510	408	408	510	510	510	

Şekil 3. Çamurhane bölümü çözüm sonuçları (D: Karar değişkenlerine ait atama hücreleri: 1 ise personele görev atanmış değilse atanmamış, E: Görevin gerçekleştirilmesi için gereken personel sayısının atandığı hücreler, F: Günlük çalışma süresi, toplam görev sayısı ve boş zaman sonuçları)

Şekil 3’te verilen tabloda çözücü aracı için gerekli olan değişken hücreler, amaç fonksiyonu ve kısıtlamalara ait hesaplamalar yapılmıştır. Şeklin D bölümünde her bir göreve personelin atanıp atanmadığını gösteren ikili değişkenleri ifade eden tablo hücreleri tanımlanmıştır. E bölümünde her bir görev için atanan toplam personel sayısını ifade eder. Örneğin çamur hammadde tartım görevi için bu değer  $TOPLA(C21:N21)$  formülü ile hesaplanır. Şeklin F bölümünde model kısıtlamaları için hesaplamalar yapılmıştır. Günlük çalışma süresi kısıdı birinci personel için  $TOPLA(\text{ÇARPIM}(C21:C32;C3:C14))$  formülü ile hesaplanır. Formül birinci personele ait değişken hücreler ile Şekil 2’de birinci personele ait görev sürelerinin yer aldığı hücre aralığının tek tek çarpılmasını ve toplamını ifade eder. Toplam görev sayısı kısıdı  $TOPLA(C21:C32)$  formülü ile hesaplanır. Buradaki toplam değer bir personele atanabilecek toplam görev sayısı olan altıyı geçmemelidir. Bir personele ait boş zaman ise birinci personel için C16-C34 formülü ile hesaplanır. Formül günlük çalışma süresinden personele atanmış görevlerin toplam süresi çıkarılarak belirlenir. Diğer görev ve personeller için hesaplamalar da benzer şekilde yapılır.

Hazırlanan girdi parametrelerine ait tablolardan sonra Excel Çözücü aracı için gerekli parametrelerin belirtilmesi gerekir. Şekil 4’te çözücü parametreleri tanımlanmıştır. Hedef ayarla bölümünde yer alan hücrede amaç fonksiyonu olan tüm personelin toplam boş zamanı gösterilmiştir. Hücrede yer alan formül Şekil 3’te F bölümünde yer alan boş zaman hücrelerinin toplamı ile  $TOPLA(C36:N36)$  şeklinde ifade edilir. Değişken hücreler bölümü Şekil 3’te D bölümünde yer alan hücre aralığıdır.

Çözücü parametrelerindeki kısıtlamalar bölümü ise sıra ile modeldeki kısıtları ifade eder. Bu kısıtlar sıra ile  $\$C\$21:\$N\$32=ikili$  düzen şeklinde ifade edilen kısıt değişken hücrelerin ikili yapıda olacağını ifade eder. İkinci kısıt olan  $\$C\$34:\$N\$34\leq\$C\$16:\$N\$16$  formülü bir personelin toplam günlük çalışma süresinden daha fazla süre çalışmamasını sağlayan kısıttır. Üçüncü kısıt olan  $\$C\$35:\$N\$35\leq\$C\$17:\$N\$17$  formülü bir personele atanabilecek toplam görev sayısı kısıdını garanti eder.



$\$O\$21:\$O\$32=\$O\$3:\$O\$14$  formülü ile ifade edilen kısıt bir görevin yerine getirilmesi için gereken personel sayısını garanti eder. Modelimiz bir doğrusal programlama modeli olduğu için çözücü parametrelerinde çözüm yöntemi olarak Basit LP seçilip çöz butonuna basılarak çözüm elde edilebilir. Çamurhane bölümü için bu çözüm Şekil 3'te verildiği gibi elde edilmiştir.

Şekil 4. Çamurhane bölümü için Excel Çözücü parametrelerinin ayarlanması

## 5.2. Fırın ve Kesme Bölümleri Sonuçları

Fırın bölümü çamurhane bölümünden çıkan dış gövde veya taşıyıcı olarak şekillendirilmiş çamurun belirli sıcaklıklarda pişirildiği bölümdür. Fırın bölümünde ürün fırına girmeden önce eğer ürün dış gövde ise üzerindeki toz vb. pisliklerin alınması için rötuşlama işlemi yapılır. Daha sonra dış gövde hazırlanmış olan sır ile sırlanır. Elde edilen sırlanmış dış gövdeler fırınlara yüklenir ve pişim işlemi bittikten sonra fırından pişmiş ürünler boşaltılır.

Kesme bölümü ise pişimden gelen dış gövde ve taşıyıcıların belirli ölçülerde kesildiği ve sigorta bileşenlerinin montajı için gerekli olan bazı işlemlerin yapıldığı bölümdür. Dış gövde ve taşıyıcının OGS içerisine montajı için ürünler üzerine kanal diye ifade edilen belirli ölçü ve derinlikte bir işlem yapılır. Bu işlemler sırasında ürünlerin hasar görme ihtimallerini göz önünde bulundurarak ürünler kalite ayırımına tabi tutulur. Kalite şartlarını sağlayan ürünler montaj bölümüne gönderilir.

Fırın ve kesme bölümündeki toplam 10 göreve ait parametreler Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 oluşturulurken Bölüm 5.1 ve Şekil 2'de anlatılan yazım şartları korunmuştur. Şekil 5'te farklı olan "Çamurhane Zamanı" şeklinde kırmızı ile gösterilen alan problemin ayrıştırılmasından dolayı personellere eğer varsa çamurhane bölümünden gelen görev sürelerini ifade eder. Bunun yanı sıra ortalama görev sayısı satırı da bir önceki bölümden elde edilen veriler ile güncellenmiştir. Örneğin çamurhane bölümünde üçüncü personele beş görev atandığı ve toplam görev sayısı kısıdı gereği diğer bölümlerde bu personele ancak bir görev daha atanabileceği görülmektedir.

Şekil 6'da bölüm 5.1 ve Şekil 3'te verilen yazım şartlarına uygun olarak hazırlanan fırın ve kesme bölümüne ait çözücü parametre tablolarıdır. Şekil 7 fırın ve kesme bölümü için Çözücü parametrelerinin nasıl ayarlandığını gösterir. Daha sonra problem çözüldüğünde Şekil 6'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

			Personel												Gereken Personel Sayısı
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	Fırın	Dış Gövde Rötuşlama	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	2
4		Dış Gövde Sırlama	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	2
5		Fırın Yükleme	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	3
6		Fırın Boşaltma	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	4
7	Kesme	Dış Gövde Kesme	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	1
8		Taşıyıcı Kesme	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	1
9		Dış Gövde Kanal Açma	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	1
10		Taşıyıcı Kanal Açma	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	1
11		Dış Gövde Kalite Ayırım	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	1
12		Taşıyıcı Kalite Ayırım	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	1
13		Çamurhane Zamanı	240	285	356.3	221.3				102	102				
14															
15		Günlük Çalışma Süresi (dk)	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	
16		Ortalama Görev Sayısı			1	4	6	6	6	5	5	6	6	6	

Şekil 5. Fırın ve kesme bölümü parametreleri



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam Personel Sayısı
19	Fınn	Dış Gövde Rötüşlama				1	1								2
20		Dış Gövde Sırlama				1		1							2
21		Fınn Yükleme				1	1	1							3
22		Fınn Boşaltma						1	1	1	1				4
23	Kesme	Dış Gövde Kesme							1						1
24		Taşıyıcı Kesme							1						1
25		Dış Gövde Kanal Açma						1							1
26		Taşıyıcı Kanal Açma				1									1
27		Dış Gövde Kalite Ayrım						1							1
28		Taşıyıcı Kalite Ayrım						1							1
29															
30		Günlük Çalışma Süresi (dk)	240	285	356.3	417.9	491.7	353.3	30	132	102				
31		Toplam Görev Sayısı				4	6	5	1	1					
32		Boş Zaman (dk)	270	225	153.8	92.08	18.33	156.7	480	378	408	510	510	510	

Şekil 6. Fınn ve kesme bölümü çözüm sonuçları

Çözücü Parametreleri

Hedef Ayarla:

Hedef:  En Büyük  En Küçük  Değeri:

Değişken Hücreleri Değiştirerek:

Kısıtlamalara Bağlıdır:

SCS19:SN528 = ikili düzen  
 SCS30:SN530 <= SCS15:SN515  
 SCS31:SN531 <= SCS16:SN516  
 SOS19:SOS28 = SOS3:SOS12

Şekil 7. Fınn ve kesme bölümü için Excel Çözücü parametrelerinin ayarlanması

### 5.3. Yarı Mamul İmalat Bölümü Sonuçları

Yarı mamul bölümü bir OGS için Şekil 1’de verilen bileşenlerin imal edildiği bölümdür. Sigortanın uç kısımlarında bulunan kontak başlıklar özel seçilmiş malzemelerden kesilip, şekillendirilip ve üzerine kanalının açılması ile bu bölümde üretilir. Sigorta iç kısmında yer alan taşıyıcıyı kontağı başlıklara tutturmak için kullanılan tarak ile ifade edilen yarı mamul de bu bölümde üretilmektedir. Ayrıca bu bölümde sigortanın dışardan görevini tamamlayıp tamamlamadığının görülmesi için kullanılan gösterge elemanının kurulumu yapılmaktadır. Yay, delikli kapak, son kapak ve kum sonlandırıcı olarak ifade edilen parçalar da bu bölümde üretilmektedir. Yarı mamul bölümündeki toplam 10 görev kısaca bu şekilde olup Şekil 8’de gerekli parametreler ile verilmiştir.

		Personel												Gereken Personel Sayısı	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
3	Yarı Mamul	Kontak Başlık Kesme	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	2
4		Kontak Başlık Şekillendirme	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	1
5		Kontak Başlık Kanal Açma	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	1
6		Yay Sarma	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	1
7		Tarak Presleme	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	2
8		Delikli Kapak Presleme	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1
9		Kum Sonlandırıcı Presleme	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1
10		Son Kapak Presleme	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1
11		Tarak Takma	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	1
12		Gösterge Elemanı Yapma	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	1
13		Çamur+Fınn+Kesme Zamanı	240	285	356.3	417.9	491.7	353.3	30	132	102				
14															
15		Günlük Çalışma Süresi (dk)	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	
16		Ortalama Görev Sayısı			1			1	5	4	5	6	6	6	

Şekil 8. Yarı mamul bölümü parametreleri

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam Personel Sayısı
19	Kontak Başlık Kesme							1	1					2
20	Kontak Başlık Şekillendirme			1										1
21	Kontak Başlık Kanal Açma						1							1
22	Yay Sarma							1						1
23	Tarak Presleme							1	1					2
24	Delikli Kapak Presleme							1						1
25	Kum Sonlandırıcı Presleme							1						1
26	Son Kapak Presleme								1					1
27	Tarak Takma								1					1
28	Gösterge Elemanı Yapma												1	1
29														
30	Günlük Çalışma Süresi (dk)	240	285	489,6	417,9	491,7	486,7	336,7	382	102				400
31	Toplam Görev Sayısı			1			1	5	4					1
32	Boş Zaman (dk)	270	225	20,41	92,08	18,33	23,32	173,3	128	408	510	510	110	

Şekil 9. Yarı mamul bölümü çözüm sonuçları

Şekil 10. Yarı mamul bölümü için Excel Çözücü parametrelerinin ayarlanması

Bölüm 5.1 ve Şekil 3'teki şartlara uygun olarak yarı mamul imalat bölümündeki görev çizelgeleme probleminin çözümü için gerekli olan çözücü parametrelerine ait tablolar Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 10'da ise bu bölüm için gerekli çözücü parametreleri ayarlanmış ve problem çözülmüştür. Çözüm sonuçları Şekil 9'da verildiği gibidir.

#### 5.4. Montaj Bölümü Sonuçları

Montaj bölümü diğer bölümlerden gelen yarı mamullerin ürünün montaj şemasında verilen şekilde bir araya getirilerek nihai ürüne dönüştürüldüğü bölümdür. Toplam 11 adet görevin yer aldığı montaj bölümüne ait görevlerin parametre değerleri Şekil 11'de verilmiştir. Şekilde ortalama görev sayısı satırının önceki bölümlerdeki sonuçlar ile güncellenerek son dört personel haricinde tüm personellere maksimum görev sayısı kadar görevin atandığı görülmektedir.

Problemin montaj bölümü çözümü için gerekli çözücü parametreleri Şekil 12'de belirtilmiştir. Şekil 13'te gerekli çözücü parametreleri tanımlanıp problem çözüldüğünde elde edilen sonuç Şekil 12'de verildiği gibidir.

		Personel												Gereken Personel Sayısı
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	Erime Hattı Sarma	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	1
4	Kontak Başlık Sıvama	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	1
5	Taşıyıcı Puntalama	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	1
6	Gösterge Elemanı Takma	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	1
7	Tarak Puntalama	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	1
8	Delikli Kapak Sıvama	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1
9	Kumlama	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	1
10	Kum Sonlandırıcı Takma	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	1
11	Son Kapak Sıvama	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	1
12	Etiketleme ve Paketleme	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	1
13	Kolileme ve İstifleme	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	1
14	Diğer Bölüm Zamanları	240	285	489,6	417,9	491,7	486,7	336,7	382	102				400
15														
16	Günlük Çalışma Süresi (dk)	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	
17	Ortalama Görev Sayısı									5	6	6	5	

Şekil 11. Montaj bölümü parametreleri

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam Personel Sayısı
20	Montaj	Erime Hattı Sarma										1		1
21		Kontak Başlık Sıvama										1		1
22		Taşıyıcı Puntalama									1			1
23		Gösterge Elemanı Takma									1			1
24		Tarak Puntalama									1			1
25		Delikli Kapak Sıvama											1	1
26		Kumlama									1			1
27		Kum Sonlandırma Takma									1			1
28		Son Kapak Sıvama										1		1
29		Etiketleme ve Paketieme									1			1
30	Kolileme ve İstifieme										1		1	
31														
32	Günlük Çalışma Süresi (dk)		240	285	489.6	417.9	491.7	486.7	336.7	382	502	506.2	506.7	500
33	Toplam Görev Sayısı										4	4	1	1
34	Boş Zaman (dk)		270	225	20.41	92.08	18.33	23.32	173.3	128	7.98	3.83	3.32	10

Şekil 12. Montaj bölümü çözüm sonuçları

Şekil 13. Montaj bölümü için Excel Çözücü parametrelerinin ayarlanması

Tüm bölümlerde personel görev çizelgesi yapıldıktan sonra elde edilen toplu sonuç Şekil 14’te verilmiştir. Ayrıca Excel çözücü modelinden sağlanan performans değerleri ile önerilen matematiksel modelden elde edilen performans değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 3’te verilmiştir. Matematiksel modelin çözümü için IBM ILOG CPLEX 12.6 yazılımından faydalanılmıştır ve Şekil 15’te elde edilen toplu personel görev çizelgesi verilmiştir. Şekil 14 ve Tablo 3’te verilen sonuçlara göre görevler için harcanan toplam zaman Excel çözücü modeli için 5144.42 dk. olarak gerçekleşirken matematiksel modelde 5144 dk. olarak gerçekleşmiştir. Tüm personellerin toplam boş zamanları çözücü ve matematiksel model için sırası ile 975,58 dk. ve 976 dk. olarak tespit edilmiştir. Her iki model için de verilen görev setini gerçekleştirmek için gerekli personel sayısı ortalama 11 olarak belirlenmiştir.

Excel çözücü modelinin detaylı analizinde, sekiz personele maksimum atanabilecek görev sayısı (6) kadar görev atanırken, bir personele beş, bir personele dört ve iki personele iki görev atanabilmiştir. Her ne kadar bazı personeller fazla bazı personeller az sayıda göreve atanmış olsa da toplam görev süresi açısından farklılıklar oluşabilmektedir. Örneğin iki adet görev alan 12. personelin sadece 10 dk. boş zamanı kalırken altı görev alan birinci personelin 270 dk. boş zamanı kalabilmektedir. Bu durum görev süreleri ve maksimum atanabilecek görev sayısı ile alakalıdır. Bunun yanı sıra firma zaten toplam işin gerçekleştirilmesi için gereken optimum personel sayısından fazla personel sayısı ile çalışmaktadır. Firma günlük çalışan personel sayısı açısından ani izinler nedeni ile günlük ortalama neredeyse bir kişi eksik olarak faaliyet göstermektedir. Bu sebeple yüksek boş zamanlar olması eksik personel durumu nedeni ile firma tarafından avantaj olarak kullanılmaktadır. Burada bahsedilen benzer durumlar matematiksel model sonuçları için de geçerli olup bu durum Tablo 3’te rahatlıkla görülebilmektedir. Excel çözücü modeli ile matematiksel modelin farklılaştığı tek sonuç görevlerin atandığı personel atama çizelgesidir. Karşılaştırmalı sonuçlar genel olarak değerlendirdiğinde Excel çözücü modelinin etkili ve başarılı bir performans ortaya koyduğu görülmektedir.

**Tablo 3.** Excel çözücü ve matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması

Personel	Matematiksel Model			Excel Çözücü Modeli		
	Çalışılan Zaman	Boş Zaman	Atanan Toplam Görev Sayısı	Çalışılan Zaman	Boş Zaman	Atanan Toplam Görev Sayısı
1	473	37	6	240	270	6
2	195	315	6	285	225	6
3	503	7	6	489.59	20.41	6
4	473	37	6	417.92	92.08	6
5	510	0	6	491.67	18.33	6
6	411	99	6	486.68	23.32	6
7	451	59	6	336.68	173.32	6
8	298	212	6	382.01	127.99	6
9	503	7	5	502.02	7.98	5
10	500	10	2	506.17	3.83	4
11	507	3	4	506.68	3.32	2
12	320	190	2	500	10	2
<b>Toplam</b>	<b>5144</b>	<b>976</b>	<b>61</b>	<b>5144.42</b>	<b>975.58</b>	<b>61</b>

		Personel											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Çamurhane	Çamur Hammadde Tartım	1		1									
	Değirmen Doldurma	1	1	1	1								
	Değirmen Su Verme		1										
	Çamur Eleme		1										
	Çamur Tanka Basma			1									
	Pres Boşaltma	1	1										
	Sir Hammadde Tartım	1											
	Sir Değirmen Doldurma	1		1									
	Sir Eleme		1										
	Sir Ayarlama ve Renklendirme	1	1										
	Dış Gövde Şekillendirme			1	1								
	Taşıyıcı Şekillendirme								1	1			
Fırın	Dış Gövde Rötüleme			1	1								
	Dış Gövde Sırlama			1		1							
	Fırın Yükleme			1	1	1							
	Fırın Boşaltma				1	1	1	1					
Kesme	Dış Gövde Kesme					1							
	Taşıyıcı Kesme					1							
	Dış Gövde Kanal Açma				1								
	Taşıyıcı Kanal Açma			1									
	Dış Gövde Kalite Ayrım				1								
Taşıyıcı Kalite Ayrım				1									
Ara ürün	Kontak Başlık Kesme						1	1					
	Kontak Başlık Şekillendirme			1									
	Kontak Başlık Kanal Açma					1							
	Yay Sarma						1						
	Tarak Presleme						1	1					
	Delikli Kapak Presleme						1						
	Kum Sonlandırıcı Presleme						1						
	Son Kapak Presleme							1					
	Tarak Takma							1					
	Gösterge Elemanı Yapma												1
Montaj	Erime Hattı Sarma											1	
	Kontak Başlık Sivama											1	
	Taşıyıcı Puntalama									1			
	Gösterge Elemanı Takma									1			
	Tarak Puntalama									1			
	Delikli Kapak Sivama												1
	Kumlama									1			
	Kum Sonlandırıcı Takma									1			
	Son Kapak Sivama										1		
	Etiketleme ve Paketleme									1			
Kolileme ve İstifieme										1			

**Şekil 14.** Personel görev çizelgeleme sonuçları

Sonuçlar değerlendirildiğinde işletme üretkenliği %85 seviyesine ulaşmıştır. Personellerin yapacağı görevleri önceden bilmeleri iş motivasyonunda ciddi anlamda artış sağlamıştır. İşletmede görev atama ve çizelgeleme için bir altyapı oluşturulmuştur. Model sonucunda bulunan personel sayısı her ne kadar 11 olarak gerçekleşmiş olsa da işletme her zaman bir fazla personel bulundurmamayı

tercih etmektedir. Çünkü aniden gerçekleşen izin kullanımı ve sağlık problemleri gibi durumlara karşı bu bir önlem olarak alınmıştır. Ayrıca esnek personel sayısı ani üretim miktarı değişikliklerine hızlı cevap vermeyi sağlamaktadır. Bu avantajları göz önünde bulundurulduğunda önerilen modelin ve Excel çözücü yönteminin etkin bir yaklaşım olduğu söylenebilir.

Önerilen matematiksel model ve yaklaşımın sayısal olarak kazandırdığı avantajların yanı sıra firma için de uygulama açısından birçok faydası olmuştur. Firma tarafından hali hazırda kullanılan Excel yazılımından faydalanılarak firmaya bilimsel problem çözme açısından yeni bir bakış açısı getirilmiştir. Geliştirilen ve yukarıda detaylı olarak görüntüleri verilen Excel çalışma sayfası ara yüzü ile firmanın kolaylıkla model değişikliklerini takip etmesi sağlanmıştır. Excel'in barındırdığı grafiksel araçlar kullanılarak modelden elde edilen sonuçlar yönetim toplantılarında periyodik olarak sunulabilmiş ve raporlanarak arşivlenebilmiştir. Model parametreleri ve sonuçları üzerinde yapılacak basit istatistiksel analizler ile firmanın yorumlama ve analiz imkânları geliştirilmiştir.

		Personel											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Çamurhane	Çamur Hammadde Tartım		1	1									
	Değirmen Doldurma	1	1		1	1							
	Değirmen Su Verme	1											
	Çamur Eleme	1											
	Çamur Tankı Basma	1											
	Pres Boşaltma	1	1										
	Sır Hammadde Tartım		1										
	Sır Değirmen Doldurma		1	1									
	Sır Eleme		1										
	Sır Ayarlama ve Renklendirme			1	1								
	Dış Gövde Şekillendirme			1	1								
	Taşıyıcı Şekillendirme			1	1								
	Fırın	Dış Gövde Rötüslama			1	1							
Dış Gövde Sırlama					1	1							
Fırın Yükleme						1	1	1					
Fırın Boşaltma						1	1	1	1				
Kesme	Dış Gövde Kesme					1							
	Taşıyıcı Kesme								1				
	Dış Gövde Kanal Açma					1							
	Taşıyıcı Kanal Açma						1						
	Dış Gövde Kalite Ayrım						1						
	Taşıyıcı Kalite Ayrım						1						
Ara ürün	Kontak Başlık Kesme						1	1					
	Kontak Başlık Şekillendirme							1					
	Kontak Başlık Kanal Açma							1					
	Yay Sarma								1				
	Tarak Presleme							1	1				
	Delikli Kapak Presleme											1	
	Kum Sonlandırıcı Presleme								1				
	Son Kapak Presleme								1				
	Tarak Takma									1			
	Gösterge Elemanı Yapma										1		
Montaj	Erişim Hattı Sarma									1			
	Kontak Başlık Sıvama											1	
	Taşıyıcı Puntalama											1	
	Gösterge Elemanı Takma												1
	Tarak Puntalama									1			
	Delikli Kapak Sıvama										1		
	Kumlama									1			
	Kum Sonlandırıcı Takma											1	
	Son Kapak Sıvama												1
	Etiketleme ve Paketleme	1											
	Kolileme ve İstifleme									1			

Şekil 15. ILOG personel görev çizelgeleme sonuçları

## 6. Sonuç

Bu çalışmada personel görev çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problem için bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model personellerin toplam boş zamanını en küçüklerken, günlük ortalama çalışma süresi, maksimum görev sayısı ve görev için gereken personel sayısı kısıtlarını da göz önünde bulundurmaktadır. Problemin çözümü için işletmelerde sıklıkla kullanılan Excel yazılımından faydalanılmıştır. Excel içerisinde matematiksel modellerin çözümünde kullanılan Çözücü aracı ile problem modellenmiştir ve çözülmüştür. Orta gerilim sigorta üretimi yapan bir işletmeden elde edilen gerçek veriler ile problem parametreleri belirlenmiştir. İşletmede bulunan dört ayrı üretim bölümü için personel görev çizelgeleri yapılmıştır. Excel çözücü modelinin performansı önerilen matematiksel modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen model ve Excel çözücü aracı çözümünün etkin bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Önerilen model ve çözüm yaklaşımını çeşitli şekillerde geliştirmek mümkündür. Görev sürelerini her bir personel için farklı kabul etmek, görev sürelerini stokastik kabul etmek, personel yeteneklerini modellemek, personel isteklerine göre (herhangi bir göreve talip olmak ya da o görevi yapmayı istememek) modeli genişletmek için gelecek çalışmalara örnek verilebilir. Bunun yanı sıra özellikle personel sayısının ve görev sayısının yüksek olduğu işletmelerde model çözümünün karmaşıklaşması ve zaman alması nedeni ile büyük boyutlu problemlerde Excel çözücü yaklaşımına entegre sezgisel veya meta-sezgisel yaklaşımlar kullanılabilir.

## Referanslar

- Ağralı, S., Taşkın, Z.C., & Ünal, A.T. (2017). Employee scheduling in service industries with flexible employee availability and demand. *Omega*, 66, 159-169.
- Alfares, H. K., & Alzahrani, A. S. (2019). Optimum workforce scheduling for multiple security gates. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 1-18.
- Aljasser, I. A., & Sasidhar, B. (2018). Scheduling in a single-stage, multi-item compatible process using Multiple Arc Network Model and Excel Solver. *International Review of Management and Business Research*, 7(1), 23-31.
- Al-Yakoob, S.M., & Sherali H.D. (2007). Mixed-integer programming models for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations. *Annals of Operations Research*, 155, 119–142.
- Ashley, D.W. (1995). A spreadsheet optimization system for library staff scheduling. *Computers & Operations Research*, 22(6), 615-624.
- Attia, D., Bürgy, R., Desaulniers, G., & Soumis, F. (2019). A decomposition-based heuristic for large employee scheduling problems with inter-department transfers. *EURO J Comput Optim* 7, 325–357. <https://doi.org/10.1007/s13675-019-00119-3>
- Becker, T., Steenweg, P. M., & Werners, B. (2019). Cyclic shift scheduling with on-call duties for emergency medical services. *Health care management science*, 22(4), 676-690.
- Bhulai, S., Koole, G., & Pot, A. (2008). Simple methods for shift scheduling in multiskill call centers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(3), 411-420.
- Boute, R.N., & Lambrecht, M.R. (2009). Exploring the bullwhip effect by means of spreadsheet simulation. *INFORMS Transactions on Education*, 10(1), 1-9.
- Boyer, V., Gendron, B., & Rousseau, L.M. (2014). A branch-and-price algorithm for the multi-activity multi-task shift scheduling problem. *Journal of Scheduling*, 17(2), 185-197.
- Brezulianu, A., Fira, M., & Fira, L. (2009). A genetic algorithm approach for a constrained employee scheduling problem as applied to employees at mall type shops. *Proceedings of the 2009 International Conference on Hybrid Information Technology*, Dong Seoul University, Korea, ACM.
- Briones, L., & Escola, J. M. (2019). Application of the Microsoft Excel Solver tool in the solution of optimization problems of heat exchanger network systems. *Education for Chemical Engineers*, 26, 41-47.
- Briones, L., Morales, V., Iglesias, J., Morales, G., & Escola, J. M. (2020). Application of the microsoft excel solver tool in the optimization of distillation sequences problems. *Computer Applications in Engineering Education*, 28(2), 304-313.
- Brunner, J.O., Bard, J.F., & Kolisch, R. (2009). Flexible shift scheduling of physicians. *Health Care Management Science*, 12(3), 285-305.
- Chandrasekharan, R. C., Smet, P., & Wauters, T. (2020). An automatic constructive matheuristic for the shift minimization personnel task scheduling problem. *Journal of Heuristics*, 1-23.
- Cuevas, R., Ferrer, J.C., Klapp, M., & Muñoz, J.C. (2016). A mixed integer programming approach to multi-skilled workforce scheduling. *Journal of Scheduling*, 19(1), 91-106.
- Cunha, C.B., & Fernando, M. (2007). A spreadsheet-based optimization model for the integrated problem of producing and distributing a major weekly newsmagazine. *European Journal of Operational Research*, 176(2), 925-940.
- Drezet, L.E., & Billaut, J.C. (2008). Employee scheduling in an IT company. *Resource-Constrained Project Scheduling: Models, Algorithms, Extensions and Applications*, 243-255.
- Erdoğan, G. (2017). An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 84, 62-72.
- Firat, M., & Hurkens, C.A.J. (2012). An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem., *Journal of Scheduling*, 15(3), 363-380.



- Günther, M., & Nissen, V. (2010). Particle swarm optimization and an agent-based algorithm for a problem of staff scheduling. *European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*. Berlin: Springer-Heidelberg.
- Hojati, M. (2018). A greedy heuristic for shift minimization personnel task scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 100, 66-76.
- Kluger, D. M., Aizenbud, Y., Jaffe, A., Aizenbud, L., Parisi, F., Minsky-Fenick, E., ... & Kluger, Y. (2020). Impact of healthcare worker shift scheduling on workforce preservation during the COVID-19 pandemic. *medRxiv*.
- Krishnamoorthy, M., Ernst, A.T., & Baatar, D. (2012). Algorithms for large scale shift minimisation personnel task scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 219(1), 34-48.
- Kumar, S., & Kropp, J. (2006). Studying the operational efficiencies of a multi-product supply chain using excel spreadsheet model. *Technovation*, 26(10), 1186-1200.
- La Trobe-Bateman, J., & Wild, D. (2003). Design for manufacturing: use of a spreadsheet model of manufacturability to optimize product design and development. *Research in Engineering Design*, 14(2), 107-117.
- Laesanklang, W., Pinheiro, R.L., Algethami, H., & Landa-Silva, D. (2015). Extended decomposition for mixed integer programming to solve a workforce scheduling and routing problem. *International Conference on Operations Research and Enterprise Systems*, Lisbon, Portugal.
- Lapègue, T., Odile, B.M., & Damien, P. (2013). A constraint-based approach for the shift design personnel task scheduling problem with equity. *Computers & Operations Research*, 40(10), 2450-2465.
- LeBlanc, L.J., Randels, D., & Swann, T.K. (2000). Heery International's spreadsheet optimization model for assigning managers to construction projects. *Interfaces*, 30(6), 95-106.
- Liao, S., Van Delft, C., & Vial, J.P. (2013). Distributionally robust workforce scheduling in call centres with uncertain arrival rates. *Optimization Methods and Software*, 28(3), 501-522.
- Louly, M.A.O. (2013). A goal programming model for staff scheduling at a telecommunications center. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research*, 12(2), 167-178.
- Omar, E.R., Garaix, T., Augusto, V., & Xie, X. (2015). A stochastic optimization model for shift scheduling in emergency departments. *Health Care Management Science*, 18(3), 289-302.
- Ovchinnikov, A., & Milner, J. (2008). Spreadsheet model helps to assign medical residents at the University of Vermont's College of Medicine. *Interfaces*, 38(4), 311-323.
- Özder, E. H., Özcan, E., & Eren, T. (2020). Sustainable personnel scheduling supported by an artificial neural network model in a natural gas combined cycle power plant. *International Journal of Energy Research*. <https://doi.org/10.1002/er.5480>
- Parisio, A., & Jones, C.N. (2015). A two-stage stochastic programming approach to employee scheduling in retail outlets with uncertain demand. *Omega*, 53, 97-103.
- Powell, S.G., & Baker, K.R. (2014). *Management science: The art of modeling with spreadsheets*. New Jersey: Wiley
- Prot, D., Lapègue, T., & Bellenguez-Morineau, O. (2015). A two-phase method for the shift design and personnel task scheduling problem with equity objective. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7286-7298.
- Rocha, M., Oliveira, J.F., & Carravilla, M.A. (2014). A constructive heuristic for staff scheduling in the glass industry. *Annals of Operations Research*, 217(1), 463-478.
- Sakalli, U.S., & Birgoren, B. (2009). A spreadsheet-based decision support tool for blending problems in brass casting industry. *Computers & Industrial Engineering*, 56(2), 724-735.
- Salvagnin, D., & Walsh, T. (2012). *A hybrid MIP/CP approach for multi-activity shift scheduling, Principles and practice of constraint programming*. Berlin: Springer-Heidelberg.
- Shetty, D., Ali, A., & Cummings, R. (2010). Survey-based spreadsheet model on lean implementation. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(4), 310-334.

- Smet, P., Wauters, T., Mihaylov, M., & Berghe, G.V. (2014). The shift minimisation personnel task scheduling problem: A new hybrid approach and computational insights. *Omega*, 46, 64-73.
- Solos, I.P., Tassopoulos, I.X., & Beligiannis, G.N. (2016). Optimizing shift scheduling for tank trucks using an effective stochastic variable neighbourhood approach. *Int. J. Artif. Intell.*, 14(1), 1-26.
- Soukour, A.A., Devendeville, L., Lucet, C., & Moukrim, A. (2012). Staff scheduling in airport security service. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(6), 1413-1418.
- Srinakorn, K., & Olapiriyakul, S. (2020). A workforce scheduling model to reduce occupational heat stress and labor cost. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 25(01).
- Topaloglu, S. (2009). A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 943-957.
- Trautmann, N., & Gnägi, M. (2015). On an application of Microsoft Excel's evolutionary solver to the resource-constrained project scheduling problem RCPS. *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 646-650).
- Valls, V., Pérez, Á., & Quintanilla, S. (2009). Skilled workforce scheduling in service centres. *European Journal of Operational Research*, 193(3), 791-804.
- Zolfaghari, S., Quan, V., El-Bouri, A., & Khashayardoust, M. (2009). Application of a genetic algorithm to staff scheduling in retail sector. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 5(1), 20-47.