



**T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ERGONOMİK PERSONEL ÇİZELGELEME PROBLEMİ:  
SAVUNMA SANAYİNDE BİR UYGULAMA**

**RABİA AKGÖNÜL  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. Tamer EREN**

**İKİNCİ DANIŞMAN  
Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ**

**KIRIKKALE-2023**



**T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ERGONOMİK PERSONEL ÇİZELGELEME PROBLEMİ:  
SAVUNMA SANAYİNDE BİR UYGULAMA**

**RABİA AKGÖNÜL  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. Tamer EREN**

**İKİNCİ DANIŞMAN  
Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ**

**KIRIKKALE-2023**

Rabia AKGÖNÜL tarafından hazırlanan “ERGONOMİK PERSONEL ÇİZELGELEME PROBLEMİ: SAVUNMA SANAYİNDE BİR UYGULAMA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Tamer EREN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

İmza

İkinci Danışman: Doç Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

İmza

Başkan: Doç. Dr. Hakan ÇERÇİOĞLU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

İmza

Üye: Doç. Dr. Evrencan ÖZCAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

İmza

Tez Savunma Tarihi: 12.01.2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN  
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

## ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Rabia AKGÖNÜL

12/01/2023

# ÖZET

## ERGONOMİK PERSONEL ÇİZELGELEME PROBLEMİ: SAVUNMA SANAYİNDE BİR UYGULAMA

AKGÖNÜL, Rabia

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Tamer EREN,

Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

2023, 85 sayfa

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte ülkeler savunma sanayinde için büyük yatırımlar yapmaya devam etmektedir. Çünkü bir ülkenin dışarıdan hiçbir izin, bilgi ve malzemeye ihtiyaç duymadan yerli ve milli imkanlarını kullanarak kendi tasarımlarını ve üretimlerini yapması hem ekonomisinin gelişmesini hem de dışa olan bağıllığının ortadan kalkmasını sağlamaktadır. Türkiye de kara, hava ve deniz savunmasında daha çok kendi yerli ve milli ürünlerini kullanmaktadır. Bu nedenle Türk mühendisler tarafından tasarlanan ve üretilen yerli ve milli çalışmalara yatırımlar yaparak gücüne güç katmaktadır. Hızlı ve dinamik bir çalışma temposu olan savunma sanayinde insan gücüne olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Devletin sağladığı birçok teşvik ve istihdam ile birlikte özel sektör bazında çok fazla küçük ölçekli firma kurulmaktadır. Bu firmalar hızlı ve titiz üretim yaparken, çalışanları için rahat bir çalışma ortamı sağlayarak verimliliklerini arttırmayı hedeflemektedir. Firmaların iş güvenliği önlemlerini almaları, iş sağlığına önem vermeleri ve personelin verimli çalışabileceği ortamları ergonomik olarak doğru planlaması sektörde ön plana çıkmasına yardımcı olmaktadır. Ergonomik riskler göz önüne alınarak yapılan çizelgelemeler meslek hastalıklarını ve iş kazalarını azaltmakta, gerekli işçilik maliyetlerini azaltmakta ve çalışanların verimliliğini arttırmaktadır.

Bu tez çalışması, savunma sanayisinin alt tedarikçisi olan bir firmada iki çalışma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ankara İvedik Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan firma Türk savunma sanayisi projeleri için talaşlı imalat yapmaktadır. Firmanın üretim bölümünde torna, freze ve beş eksen olmak üzere 3 makine grubundan toplam 15 makine bulunmaktadır. Personellerin 34'ü operatör, 8'i tesviye personeli, 10'u kalite kontrol personeli ve 8'i temizlik personeli olmak üzere toplam 60 personel haftanın 6 günü üç vardiya çalışmaktadır. İlk çalışmada firmadaki çalışan bu 60 personel için ergonomik personel çizelgeleme problemi çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ilk olarak operatörlerin makinelerdeki yetkinlikleri ve özel istekleri tespit edilmiştir. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak bir aylık vardiyalara atanmalarındaki sapmaları minimize edecek matematiksel model kurulmuştur. Daha sonra departmanlardaki görevler belirlenmiş ve görevlerin ergonomik risk değerleri REBA (Rapid Entire Body Assessment) yöntemi ile hesaplanmıştır. Elde edilen risk değerlerini kullanarak görevlere atanmadaki toplam risk puanını en küçükleyecek matematiksel model kurulmuştur. Operatörler ve diğer personeller için kurulan iki ayrı matematiksel model

ILOG CPLEX Studio IDE programında çözümlenip, çalışanlar için ergonomik riskler de göz önünde bulundurularak en uygun aylık çalışma çizelgeleri elde edilmiştir. İkinci çalışma olarak tesviye, kalite kontrol ve temizlik departmanlarındaki görev sayısı ve personel sayısı artırılarak ergonomik personel çizelgeleme yapılmıştır. Departmanlar için yapılan iki çalışmanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çizelgeler sayesinde hem operatörlerin makinelere dengeli ve eşit atanması sağlanmış hem de departmanlardaki personellerin atandıkları görevlerdeki toplam ergonomik risk değerinin en aza indirgenmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ergonomik personel çizelgeleme, REBA, hedef programlama, savunma sanayi.



# ABSTRACT

## ERGONOMIC STAFF SCHEDULE PROBLEM: AN APPLICATION IN THE DEFENSE INDUSTRY

AKGONUL, Rabia

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Master Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Tamer EREN

Doç.Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

2023, 85 pages

With the developing technology in recent years, countries continue to make large investments in the defense industry. Because a country's own designs and productions by using its domestic and national resources without the need for any permission, information and material from outside ensures both the development of its economy and the elimination of its dependence on foreign countries. Turkey mostly uses its own domestic and national products in land, air and sea defense. For this reason, it adds strength to its power by investing in domestic and national studies designed and produced by Turkish engineers. The need for manpower in the defense industry, which has a fast and dynamic work pace, is increasing day by day. With many incentives and employment provided by the state, many small-scale companies are established on the basis of the private sector. While these companies produce fast and meticulously, they aim to increase their productivity by providing a comfortable working environment for their employees. The fact that companies take occupational safety measures, attach importance to occupational health and ergonomically correct planning of environments where personnel can work efficiently helps them to come to the fore in the sector. Scheduling, taking into account ergonomic risks, reduces occupational diseases and work accidents, reduces the necessary labor costs and increases the productivity of the employees.

This thesis study was carried out in two studies in a company that is a sub-supplier of the defense industry. Located in Ankara İvedik Organized Industrial Zone, the company carries out machining for Turkish defense industry projects. In the production department of the company, there are a total of 15 machines from 3 machine groups, namely lathe, milling and five axes. A total of 60 personnel, including 34 operators, 8 leveling personnel, 10 quality control personnel and 8 cleaning personnel, work in three shifts, 6 days a week. In the first study, ergonomic personnel scheduling problem study was carried out for these 60 personnel working in the company. In the study, first of all, the competencies and special requests of the operators on the machines were determined. Considering this information, a mathematical model was established to minimize the deviations in their assignment to one-month shifts. Then, the tasks in the departments were determined and the ergonomic risk values of the tasks were calculated with the REBA (Rapid Entire Body Assessment) method. Using the obtained risk values, a mathematical model was

established to minimize the total risk score in assignment to tasks. Two separate mathematical models established for operators and other personnel were solved in the ILOG CPLEX Studio IDE program, and the most appropriate monthly work schedules were obtained, taking into account ergonomic risks for employees. As a second study, ergonomic personnel scheduling was made by increasing the number of duties and personnel in the leveling, quality control and cleaning departments. The results of the two studies for the departments were compared. Thanks to these charts, both the balanced and equal assignment of the operators to the machines have been ensured, and the total ergonomic risk value of the personnel in the departments in their assigned tasks has been minimized.

**Key Words:** Ergonomic staff scheduling, REBA, goal programming, defense industry.



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca hiçbir yardımını esirgemeyen, her zaman daha iyisini yapmam için destekleyen ve her türlü olanağı sağlayan çok değerli tez danışman hocalarım, Sayın Prof. Dr. Tamer EREN ve Sayın Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ'a ve teşekkür ederim.

Hayatımın her anında maddi ve manevi olarak destekleyen, eğitim hayatım boyunca yanımda olan ve yaptıkları fedakarlıklar ile bugüne gelmemi sağlayan annem Hürmüz AKGÖNÜL'e, babam Mustafa Volkan AKGÖNÜL'e ve kardeşlerim Hiranur AKGÖNÜL ve Elanaz AKGÖNÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.



# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ERGONOMİK PERSONEL ÇİZELGELEME</b> .....	<b>5</b>
2.1. Ergonomi Kavramı .....	5
2.2. Ergonomik Risk Faktörleri .....	6
2.2.1. İşle İlgili Risk Faktörleri .....	7
2.2.1.1. Fiziksel Risk Faktörleri .....	7
2.2.1.2. Psikososyal Risk Faktörleri .....	8
2.2.2. Kişisel Risk Faktörleri.....	8
2.2.3. Çevresel Risk Faktörleri.....	9
2.3. Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri.....	10
2.3.1. REBA (Rapid Entire Body Assessment).....	11
2.3.2. QEC (Quick Exposure Check) .....	11
2.3.3. OWAS (Ovako Working Posture Analyzing System) .....	11
2.3.4. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health).....	12
2.3.5. ROSA (Rapid Office Strain Assessment).....	12
2.3.6. RULA (Rapid Upper Limb Assessment) .....	12
2.3.7. OCRA (Occupational Repetitive Actions Index) .....	12
2.3.8. ManTRA (Manual Tasks Risk Assessment) .....	12
2.4. Ergonomik Personel Çizelgeleme.....	13
<b>3. YÖNTEMLER</b> .....	<b>16</b>
3.1. REBA Yöntemi.....	16
3.1.1. REBA Yönteminin Adımları .....	17
3.2. Hedef Programlama Modeli.....	23

<b>4. LİTERATÜR TARAMASI .....</b>	<b>26</b>
<b>5. UYGULAMA .....</b>	<b>34</b>
5.1. Uygulama Yeri.....	35
5.2. Probleminin Tanımı .....	36
5.2.1. Problemin Varsayımları.....	36
5.2.2. Problemin Verileri .....	38
5.2.3. Operatörler İçin Çizelgeleme .....	38
5.2.4. Departmanlar İçin Çizelgeleme .....	42
5.2.5. Matematiksel Modellerin Sonuçları .....	48
5.3. Görev Sayısı ve Personel Sayısı Arttırılmış Ergonomik Personel Çizelgeleme Problemi.....	60
5.3.1. Problemin Tanımı .....	60
5.3.2. Problemin Matematiksel Modeli .....	65
5.3.3. Matematiksel Modellerin Sonuçları .....	67
<b>6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>78</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>80</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>85</b>

# ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. REBA Yöntemi Grup A Puan Tablosu .....	17
3.2. REBA Yöntemi Grup B Puan Tablosu .....	19
3.3. A Grubu Skor Kesişimleri.....	20
3.4. Yük/Kuvvet Skoru.....	20
3.5. B Grubu Skor Kesişimleri.....	20
3.6. Kavrama Skoru.....	21
3.7. A Skoru ve B Skoru Kesişimi (C Skoru) .....	21
3.8. Aktivite Skoru .....	22
3.9. REBA Skoru.....	22
4.1. Ergonomik Personel Çizelgeleme Problemi Literatür Tablosu.....	32
5.1. Personeller ve Karşılık Gelen Numaralar.....	38
5.2. Operatörlerin Makine Yetkinlikleri.....	39
5.3. Tesviye, Kalite Kontrol ve Temizlik Departmanları Görev, Vardiya ve Gerekli Personel Bilgisi .....	43
5.4. Görevlerin REBA Skorları .....	45
5.5. Operatörler İçin Aylık Vardiya Çizelgesi .....	49
5.6. Operatörlerin Aylık Atandıkları Vardiya Sayıları.....	53
5.7. Departmanlardaki Personeller İçin Aylık Vardiya Çizelgesi.....	55
5.8. Personellerin Aylık Atandıkları Vardiya Sayıları ve REBA Değerleri.....	59
5.9. Yeni Personeller ve Karşılık Gelen Numaralar .....	61
5.10. Tesviye, Kalite Kontrol ve Temizlik Departmanları Görev, Vardiya ve Gerekli Personel Bilgisi .....	61
5.11. Bütün Görevlerin REBA Skorları .....	64
5.12. Departmanlardaki Personeller İçin Yeni Aylık Vardiya Çizelgesi .....	68
5.13. Personellerin Aylık Atandıkları Vardiya Sayıları ve REBA Değerleri.....	76

# ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Ergonominin Amaçları.....	6
2.2. Ergonomik Risk Faktörleri .....	7
3.1. REBA Yöntemi Planlama Diyagramı .....	23
5.1. Uygulama Akış Şeması.....	37
5.2. Uygulama Akış Şeması.....	60



## KISALTMALAR DİZİNİ

AAP	Analytic Network Proses (Analitik Ağ Prosesi)
QEC	Quick Exposure Check
OWAS	Ovako Working Posture Analyzing System
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
ROSA	Rapid Office Strain Assessment
RULA	Rapid Upper Limb Assessment
OCRA	Occupational Repetitive Actions Index
ManTRA	Manual Tasks Risk Assessment
REBA	Rapid Entire Body Assessment
TP	Tamsayılı Programlama
HP	Hedef Programlama
GA	Genetik Algoritma
AHP	Analitik Hiyerarşi Yöntemi
SY	Sezgisel Yöntem
ÇATP	Çok Amaçlı Tamsayılı Programlama
ECRot	Ergonomic and Competent Rotation
Fuzzy HP	Bulanık Hedef Programlama
KTP	Karışık Tamsayılı Programlama
NASA TLX	NASA Task Load Index
GRASP	Globalgap Sosyal Uygulamalar Risk Değerlendirme Modülü
MM	Matematiksel Modelleme
KP	Kısıt Programlama

# 1. GİRİŞ

Türkiye'nin en önemli sektörlerinden biri olan savunma sanayi sektörü dışa bağıllığı azaltmak amacıyla başta Savunma Bakanlığı olmak üzere diğer kuruluşlar ve Türk milletinin de desteği ile hızla büyümeye devam etmektedir. Savunma sektörünün önde gelen büyük firmalarının yanı sıra çok fazla küçük ölçekli alt tedarikçi işletmeleri bulunmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte makine, ekipman, hammadde ve işgücü gibi üretim kaynaklarını etkin kullanarak, rekabet avantajı sağlamak ve müşteri isteklerine daha hızlı bir şekilde geri dönüş yapmak mümkündür. Bu hızlı imalat süreçlerinde makine gücünün yanısıra beden gücüne de fazlaca ihtiyaç duyulmaktadır. Beden gücünün etkin kullanılmasında hem personelin istek ve tercihlerine göre uygun çizelgelerin oluşturulması hem de ergonomi kavramı önemli bir yere sahiptir.

Çizelgeleme, üretim ve hizmet sektöründe verimliliği arttırmak, sürekliliği sağlamak, gerekli işgücünü doğru planlamak, çalışan memnuniyetini arttırmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılan bir karar verme sürecidir. Bu amaçları sağlamak için üretim kaynaklarının (makine, ekipman, işgücü, vb.) belirli zaman aralığında ve belirli kısıtlar çerçevesinde işlere ataması yapılır. Literatürde yapılan çizelgeleme çalışmalarını bir bütün olarak değerlendirmek amacıyla literatür taramaları yapılmıştır. Eren ve Güner (2002), tek ve paralel makinalı problemlerde çok ölçütlü çizelgeleme problemleri konusunda; Eren ve Güner (2004) çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri konusunda; Özder vd. (2020) personel çizelgeleme problemleri konusunda detaylı literatür taramaları gerçekleştirmişlerdir. Son yıllarda üzerinde en çok araştırma yapılan çizelgeleme türü personel çizelgelemedir.

Personel çizelgeleme problemi sanayilerde, işletmelerde, hastanelerde ve buna benzer pek çok yerde karşılaşılan önemli bir çizelgeleme problemidir. Personel çizelgeleme problemi ile işletmelerin ürün veya hizmetlerine olan talebi tam zamanında ve düzgün bir şekilde karşılayabilmeleri için işletme çalışanlarının işlere atanması ve iş zamanlaması yapılabilir. (Ernst ve diğ. 2004). Etkili bir personel çizelgeleme ile çalışanların doğru zamanda doğru göreve atanmaları sağlanmaktadır. Personel

çizelgeleme, çalışan personelin ihtiyaç ve tercihleri doğrultusunda bir model oluşturarak hem çalışan personelin hem de ilgili işletmenin planlı ve sistemli bir şekilde üretim veya hizmet yapabilmesini sağlamaktadır. (Eren ve Varlı, 2017)

İnsan, makine ve çevre arasındaki uyumunu insanın fiziksel ve psikolojik özellikleri göz önünde bulundurarak araştırma ve geliştirme bilimine ergonomi denir. Ergonomi ile çalışma koşullarının insan doğasına uyum sağlayacak en iyi şekilde düzenlenmesi sağlanmaktadır. Bu düzenleme ile birlikte de çalışma alanının çalışan üzerindeki negatif etkisini ortadan kaldırmak veya etkilerini en az seviyeye düşürmek mümkündür. Çalışma alanının iyileştirilmesiyle sağlık ve refahı artan çalışanın performansı ve verimliliği artmaktadır. Bu da işletmenin verimliliğini ve ürün kalitesini arttırmaktadır. (Bekleviç, 2019)

Ergonomik faktörler, bir işletmenin verimli çalışmasında önemli bir rol oynar, bu nedenle bu faktörler dikkate alınarak planlamalar yapılmalıdır. (Balasundaram vd.,2017). Ergonomik prensipler uygulanmadan aletler, makineler, ekipman ve iş istasyonları genellikle insanların farklı yükseklik, şekil ve boyutlarda oldukları ve farklı mukavemet seviyelerine sahip oldukları dikkate alınmadan tasarlanır. İşçi sağlığını ve konforunu korumak için bu farklılıkları dikkate almak önemlidir. (Meenaxi ve Sudha, 2012). Dikkate alınmadığında çalışanların olumsuz çalışma ortamı içerisinde motivasyonları düşer ve bu da yaptıkları işlere yansır. Bu nedenle ergonomik düzenlemeler yapılması hem çalışanların daha rahat bir şekilde iş yapmalarına hem de işletmelerin üretim adetlerini ve verimliliklerini arttırmada önem arz etmektedir.

Herhangi bir işletmedeki çalışanların sağlığı ve güvenliği, o işletmenin etkin, düzgün ve verimli çalışması için büyük öneme sahiptir. Çalışanların atandıkları işlerde maruz kaldıkları ergonomik riskler çalışan sağlığı ve güvenliği açısından önemli ölçüde etkilidir. (Aksüt, vd., 2020) Özellikle daha çok beden gücü gerektiren üretimde ergonomik düzenlemeler yapılması hem çalışanların daha rahat bir şekilde iş yapmalarına hem de işletmelerin üretim adetlerini ve verimliliklerini arttırmada önem arz etmektedir. Bu sebeple çalışanlar üzerindeki riskleri azaltmak için ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ile personel çizelgeleme problemleri entegre edilerek çizelgelerin yapılması mümkündür.

Bu çalışmada, ergonomik personel çizelgeleme problemi incelenmiştir. Tez çalışması, Ankara İvedik Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Türk savunma sanayisinin alt tedarikçilerinden biri olan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Problemin 2 ayrı matematiksel modeli ve 2 ana amacı bulunmaktadır. Birinci amaçta operatörleri yetkinliklerine göre atayarak dengeli bir çizelgeleme hazırlamaktır. Her bir operatörün fabrika içerisindeki makineler için yetkinlikleri farklıdır. Bazı operatörler tüm makinelerde çalışırken bazı operatörler sadece belli makinelerde çalışabilmektedir. Yetkinlikler göz önünde bulundurularak operatörler için dengeli bir vardiya çizelgeleme yapılmıştır.

Problemin ikinci amacı da üretim dışındaki diğer departmanlarda çalışan personeller için görevlerin risklerine göre dengeli bir çizelgeleme oluşturmaktır. Her bir görevin risk değerinin hesaplamak için "Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme Yöntemi (REBA)" kullanılmıştır. Kalite kontrol, tesviye ve temizlik bölümlerinde çalışan personellerin daha verimli ve rahat bir ortamda çalışmalarını için yaptıkları işlerin REBA puanları hesaplanarak ergonomik risk faktörü en küçüklenecek şekilde görevlere atanması sağlanmıştır. Bu modelde de her personel sadece kendi departmanındaki görevleri yapabilmektedir.

Uygulama kısmının ilk aşamasında operatörlerin yetkinliklerine göre atamasını sağlayacak personel çizelgeleme problemi için matematiksel model kurulmuştur. İkinci kısımda her bir departmanın görevlerinin risk değerleri REBA yöntemi ile hesaplanmış ve REBA puanını en küçükleyecek şekilde atamanın gerçekleştirilmesini sağlayacak matematiksel model kurulmuştur. Matematiksel modeller, ILOG Cplex Optimization programında çözülmüştür. Her iki modelin çözümünde, işletme için uygun aylık çizelgeler elde edilmiştir. Üçüncü kısımda ise her bir departman için görev ve personel sayıları artırılarak görevlerinin risk değerleri REBA yöntemi ile hesaplanmış ve REBA puanını en küçükleyecek şekilde atamanın gerçekleştirilmesini sağlayacak matematiksel model kurulmuştur. Matematiksel modeller, ILOG Cplex Optimization programında çözülmüştür. İlk yapılan REBA çalışması ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tez çalışması 'Giriş' bölümü dahil olmak üzere 6 bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde; tez çalışmasının konusu olan ergonomik personel çizelgeleme problemi konusunda detaylı bilgiler verilmiştir. İlk olarak ergonomi detaylı olarak bahsedildikten sonra ergonomik personel çizelgeleme kavramı ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. REBA yönteminin ve hedef programlamanın uygulanma adımları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, literatürde yer alan ergonomik personel çizelgeleme problemleri alanında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler, amaçları, uygulama alanları ve literatüre katkıları anlatılmıştır. Bu bölümde tez kapsamında yapılan uygulamaların literatürde yer alan çalışmalardan farklı noktaları ve literatüre katkılarından bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde, uygulamanın gerçekleştiği firmadaki ergonomik personel çizelgeleme çalışması anlatılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Çalışmanın altıncı ve son bölümünde ise tez çalışmasının sonuçları genel olarak değerlendirilmiştir. Ergonomik personel çizelgelemenin önemine değinilmiş ve uygulama sonuçlarının literatüre olan katkısı belirtilmiştir. Bu kapsamda ergonomik personel çizelgeleme üzerine yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

## 2. ERGONOMİK PERSONEL ÇİZELGELEME

### 2.1. Ergonomi Kavramı

Ergonomi, Yunanca “iş, çalışma” anlamına gelen **ergos** ve “yasa” anlamına gelen **nomos** kelimelerinin birleşmesiyle elde edilmiştir. Ergonomi en geniş anlamıyla; iş yükü ve çalışma gücünü en iyi şekilde dengeleyip, hem çalışanın sağlığını koruyan, hem de üretimdeki verimliliğin artmasını sağlayan insan – makine – iş arasındaki en iyi uyumu sağlamak amacıyla çalışma ortamının nasıl planlanacağı ve çalışana göre nasıl ayarlanacağını inceleyen bilim dalıdır.

**İnsan Mühendisliği** veya **İş Bilimi** olarak da bilinen ergonomi; insanı özellikle biyolojik, fizyolojik, anatomik ve psikolojik olarak inceleyerek çalışma alanlarındaki makine, alet veya eşyaların çalışana uygun olarak tasarlanmasını sağlamaktadır. Başka bir deyişle, işin çalışana uygun hale getirilmesini sağlamaktır.

Ofis ortamında bilgisayar ekranını göz hizasına getirilmesi, çalışma ortamının ısısının ve havalandırılmasının insan sağlığına uygun olacak şekilde ayarlanması, koltuk ve sandalyelerin çalışana göre ayarlanabiliyor olması, çalışanların kullandığı baretlerin insan kafasına göre tasarlanması, kullanılan makine ve ekipmanlara erişimin kolay olacak şekilde konumlandırılması gibi çalışmalar ergonomiye uygun ortamın sağlanması için yapılan çalışmalardır.

Ergonominin birden çok görevi bulunmaktadır. Bu görevler arasından bazıları aşağıdaki gibidir;

1. Sıcak ortamlarda fiziksel iş yükünü azaltmak,
2. Bazı hareketlerde gerekli olan çaba seviyesini düşürmek,
3. Çalışma ortamlarında aydınlatma, gürültü, hava gibi etmenlere dikkat ederek en iyi çalışma ortamı oluşturmak,
4. Çalışma pozisyonlarını en doğru şekilde olmasını sağlamak,
5. Personellerin görsel uyarıları ve göstergeleri okuması için psikoduygusal olarak geliştirmek,

6. Doğal ve alışılmış reflekslerin daha iyi kullanılmasını sağlamak,
7. Makina kollarının çalıştırılmasını ve denetlenmesini kolaylaştırmak,
8. Gereksiz bilgilerin hatırlanmasındaki çabayı önlemek (Efor OSGB, 2022: <https://eforosgb.com/ergonomi/>).

Ergonominin amaçları Şekil 2.1’de belirtilmiştir. Bu amaçların tek odak noktası çalışma ortamının insana uygun hale getirmektir.



**Şekil 2.1.** Ergonominin Amaçları

## 2.2. Ergonomik Risk Faktörleri

İnsana bağlı olarak üretim ve hizmet sistemlerinde de çalışanlar sıklıkla gürültü, fiziksel zorlanma, sıcaklık, mental stres gibi ergonomik risklere maruz kalmaktadır. Bu maruziyet mesleki yaralanmalar ve kas-iskelet rahatsızlıklarının yanı sıra yapılan işe olan tatminsizliğe ve işin verimliliğinde düşüğe de neden olmaktadır. Ergonomi bilimini doğru kullanarak bu gibi durumların önlenmesi sağlanabilmektedir.

Kas-iskelet rahatsızlıklarının oluşumuna neden olabilecek ergonomik risk faktörleri Şekil 2.2’de belirtildiği gibi işle ilgili, kişisel ve çevresel olmak üzere üç başlığa ayrılmaktadır.



**Şekil 2.1.** Ergonomik Risk Faktörleri

### 2.2.1. İşle İlgili Risk Faktörleri

#### 2.2.1.1. Fiziksel Risk Faktörleri

**Tekrarlı Hareketler:** Tekrarlama; aynı kasların sürekli kullanılması, dinlenme süresi az olan veya iyileşme şansı düşük olan bir görev yapmayı içerir. Tekrarlama ve diğer risk faktörleri (uygunsuz duruş, kuvvet gibi) ile bir araya geldiğinde çalışanların yaralanma riskini artırır. Belirli bir süre boyunca tekrarlayan hareketler yapmak, kas yorgunluğuna, kasın aşırı uzamasına ve kas zedelenmesine neden olabilir (Jaffar vd., 2011).

**Kuvvet:** Kuvvet, belirli bir hareketi gerçekleştirmek için gerekli olan mekanik veya fiziksel çabadır. Bir kişi veya nesne üzerine kuvvet uygulamak kaslara ve tendonlara zarar verebilir.

**Uygun Olmayan Çalışma Duruşu:** Çalışma duruşu; vücudun, başın, gövdenin, kol, bacakların yapılan iş ve işin özelliklerine göre konumlanmasıdır. Eğilme, diz bükme, çömelme, uzun süreli ve tekrar eden uzanma uygun olmayan duruşlardır. Uygun

olmayan vücut duruşları geçici ve kalıcı kas-iskelet hastalıklarına neden olmaktadır. (Jaffar vd., 2011).

**Sabit Duruş:** Uzun süreli sabit duruşta çalışmak kaslarda büzülmeye, aktif kasların enerjisinin düşmesine, kasların yorulmasına ve kan dolaşımında sıkıntılara yol açmaktadır. Bu da öylece işin performansının etkileyecektir.

### 2.2.1.2. Psikososyal Risk Faktörleri

**İşe olan memnuniyetsizlik:** Ücret, arkadaş ilişkileri, çalışma ortamı, yönetim, yönetici tutumu, iletişim, kariyer gelişimi gibi faktörler iş memnuniyetinin etkilemektedir. İşinden memnun olmayan çalışanın performansı ve işe olan tutumu düşmektedir. Bu durum hem işletmenin genel performansının hem de veriminin düşmesine neden olmaktadır.

**Monoton iş:** Monoton çalışmalar, kalp atışında bozulmalara, kan basıncında düşüşe, aynı kasa sürekli yüklenilmesi sonucunda kasın yorulmasına ve ağrı oluşmasına neden olmaktadır.

**Zaman:** Çalışma süresinin dengeli ayarlanmaması, fazla mesailer, uzun süreli vardiyalar çalışanın yorulmasına ve bünyesinin zayıf düşmesine neden olmaktadır. Bu da çalışanda kaygı, tükenmişlik, uykusuzluk gibi sağlık sorunlarına yol açmaktadır.

**Yetersiz iş arkadaşlığı desteği:** Ekip içerisindeki bireylerin birbirleri ile uyumlu olması başarının artmasını sağlamaktadır. Personellerin psikososyal ihtiyaçlarını karşılamaları amacıyla iş yerindeki sosyal alanların oluşturulması iş verimliliği ve işyerine olan bağlılığın artmasına olanak sağlar.

**Dinlenme molalarının eksikliği:** Uygun dinlenme molaları olmadan uzun süreli çalışma saatleri personelin stres seviyesini artırarak sağlığına zarar vermekte ve iş kazalarına sebebiyet verebilmektedir (Makhbul vd., 2007).

### 2.2.2. Kişisel Risk Faktörleri

**Yaşlanma:** Yaşlanma kaynaklı oluşan fizyolojik değişiklikler, kronik hastalıklar ve bunlar için kullanılan ilaçlar yaşlı bir insanın vücut direncinin düşmesine, görme bozukluklarına ve kasların zayıflamasına sebep olmaktadır. Bu sağlık sorunları yaşlı bireyin düşmesine ve yaralanmasına sebebiyet vermektedir.

**Cinsiyet:** İşçiler için ergonomik müdahalelerde cinsiyet göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışan kadın iş sağlığı ve güvenliği kapsamında korunmasız risk grupları olarak kabul edilmektedir ve oluşabilecek mesleki risklere karşı korunmaları için özel haklar ve ek önlemler alınmıştır (Stefanović vd., 2019). Yüksek riskli iş sektörlerinde çalışanların cinsiyeti, ergonomik risk faktörlerinin cinsiyete göre dağılımı ve bu farklı iş sektörlerindeki cinsiyete özgü işlerin tanımlanması gerekmektedir. (Park vd., 2018).

**Hastalık Geçmişi:** Çalışanın geçmişte geçirmiş olduğu hastalıkların sonradan tekrarlayabilmesi, alerji bilgileri, hastalığın kas-iskelet sisteminde bıraktığı kalıcı zarar, varsa sürekli kullanılan ilaçlar bilinmelidir. İşyerinde oluşabilecek herhangi bir hastalanma durumunda nasıl müdahale edileceği, hangi ilaçla tedavi edileceğinin bilinmesi önemlidir.

**Sigara:** Sigara içen kişiler, içmeyenlere nazaran daha hızlı yorulur ve daha yavaş hareket ederler, kasları daha güçsüz, yorgun ve esnekliği azdır, kemik ve eklem sorunları yaşarlar, uyku düzensizliği ve nefes darlığı yaşarlar. Sigara kullanan insanlarda kalpte ritim bozukluğu, damar sertleşmesi, kan akış problemleri gibi kalp-damar hastalıkları riski de artmaktadır. Ciltte deformasyon, diş sağlığı, akciğer kanseri gibi birçok hastalıklara da sebep olmaktadır.

**Aşırı Kilo:** Ağırlık ve boy uzunluğu bilgileri ile hesaplanan beden kitle indeksi bireylerin sağlık ve beslenme durumlarını tespit etmede uygulanan bir ölçüttür. Beden kitle indeksi belirlenen düzeyden yüksek olan kişilerde obezite bağlı olarak diyabet, kardiyovasküler ve tansiyon gibi hastalıklar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca aşırı kiloya sahip olan bireylerde daha hızlı yorulma, nefes darlığı, kas ağrıları gibi sorunlar da ortaya çıkmaktadır.

### 2.2.3. Çevresel Risk Faktörleri

**Sıcaklık ve Nem:** Oturarak yapılan işlerde (ofis çalışmaları gibi) ortam sıcaklığı en az 20-24 °C olmalıdır. Eğer yapılan iş fiziksel kuvvet gerektiriyorsa ortam sıcaklığı 15 °C dereceden az olmamalıdır. İşletmelerde, çalışma alanı sıcaklıklarının standartların altında veya üstünde olması çalışanlarda duyu organlarında işlevselliğin düşmesi, uyku durumu, halsizlik, yorgunluk, bitkinlik, konsantrasyon bozukluğu, işe karşı ilginin azalması, kaygı, endişe ve moralsizlik gibi durumları beraberinde getirir. (Çetinkaya ve Baykent, 2017).

**Aydınlatma:** Çalışma ortamının uygun aydınlatılması çalışanın rahat ve verimli çalışabilmesinin temel şartlarından birisidir. İşin detaylarını net bir şekilde göremeyecek aydınlıkta çalışılması hem çalışanın performansı düşürür hem de işin verimini düşürerek kaza riskinin artmasına sebebiyet verebilir. Çalışma ortamının iyi bir şekilde aydınlatılması ile üretim hızlandırılır, uygunsuz ürün ve israf azaltılır, çalışanların göz yorgunluğu ve baş ağrıları önlenir (Ayanoglu, 2007).

**Gürültü:** İş ortamında gürültü; çalışanların dikkatini dağıtan, algılamayı olumsuz yönde etkileyen, uzun süre maruz kalınması durumunda işitme kayıplarına neden olan, performans düşüklüğüne ve dikkat kaybına yol açan, fiziksel ve psikolojik sorunlar ortaya çıkaran bir risk faktörüdür. Bunun yanında gürültülü ortamda uzun süreli çalışma, çalışanların bir süre sonra dışarıdan gelen sesleri duymamaları sonucu kaza geçiremelerine sebep olmaktadır (Uzun ve Müngen 2011).

**Kaygan zemin:** İşyerlerindeki ıslak alanlar, normal olmayan su akıntıları, dekoratif amaçlı yapılan zemin kaplamaları kaygan zemin olarak bilinmektedir. Kaygan zeminler düşme, yaralanma ve hatta ölüme sebebiyet vermektedir. Yöneticiler, çalışanları kaygan zeminlere karşı bilgilendirmek için uyarı tabelaları kullanmalıdır.

**Titreşim:** Titreşimli makine, alet ve ekipmanlar ile çalışmak vücudun birçok yerinin zarar görmesine yol açmaktadır. Kemik deformasyonu, eklem hastalıkları, kas zayıflığı ve güçsüzleşmesi, kan damarları ve sinirlerin zarar görmesine gibi hastalıklar ortaya çıkmaktadır. Hatta çalışanın gövdesi bir veya daha fazla yönde hareket edebilir ve titreşebilir. Titreşim çalışanın fiziksel ve zihinsel yorgunluğuna da sebep olmaktadır (Beño, 2013).

### 2.3. Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri

Üretim hattındaki fiziksel ergonomik riskler genellikle ağır yüklerin kaldırılması, uygunsuz duruş pozisyonları, uzun süreli ayakta durma veya oturma eylemi, sürekli aynı hareketlerin tekrarlanması gibi fiziksel işlerin yoğunluğuna, frekansına ve süresine bağlıdır. Ergonomik risk değerlendirilmesi yapılarak bu faktörler değerlendirilir ve kas-iskelet sisteminde oluşabilecek rahatsızlıklarının önlenmesi sağlanmaktadır. Ergonomik risk değerlendirme yöntemi; anket yöntemleri, sistematik gözlem yöntemleri ve direkt ölçüm yöntemleri olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar arasından anket yöntemlerinin düşük maliyete sahip olması ve uygulanma

kolaylığı olması en büyük avantajlarıken kas-iskelet rahatsızlıklarının ölçülmesinde şüpheli sonuç vermesi dezavantajıdır. Riskin fazla olduğu düşünülen durumlarda sistematik gözlem ve direkt ölçüm yöntemlerin kullanılması daha ayrıntılı ve güvenilir sonuçlar elde etmeyi sağlamaktadır. Direkt ölçüm yöntemlerinin diğer yöntemlere göre maliyetinin yüksek olmasına rağmen en doğru maruziyet seviyesini elde etmek mümkündür. Sistematik gözlemlere dayalı yöntemler, uygulama yöntemi ve amacı açısından diğer yöntemlerden farklılık göstermektedir. Gözleme dayalı yöntemlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır (Işık S., 2022).

### **2.3.1. REBA (Rapid Entire Body Assessment)**

REBA (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi) tüm vücut faaliyetleri esnasında çalışanın duruşunu analiz ederek mesleki kas- skelet hastalıklarına yol açabilecek çalışma şeklinin saptanmasını ve önlem alınmasını sağlayan analiz metodudur. Çalışma sırasındaki statik ve dinamik duruşlardan kaynaklı yüklenme ile yük - insan arasındaki etkileşimi dikkate alarak çalışanın tüm vücudunun duruşsal riskini değerlendirir (Delice vd., 2018).

### **2.3.2. QEC (Quick Exposure Check)**

QEC (Hızlı Maruziyet Değerlendirme), çalışanın yaparken en fazla zorlandığı işi tespit etmeye ve zorlanmalardaki temel nedenlerin belirlenmesine yardımcı olur. Çalışandan ve gözlemciden ayrı ayrı girdiler alınır ve iki yönlü olarak bir değerlendirme yapılır. (Sever ve Deste, 2021).

### **2.3.3. OWAS (Ovako Working Posture Analyzing System)**

OWAS (Ovako Çalışma Duruşları Analiz Sistemi) çalışma duruşlarında oluşan olumsuz etkileri tespit etmeye, düzeltici önlemler almaya ve iyileştirme yapmaya yarayan bir tekniktir. Yöntemde kodlama; dört kol, yedi bacak ve üç kol duruşu olmak üzere üç farklı (4x3x7x3) yük düzeyindeki duruşa göre yapılmaktadır. Eylem sınıfları alınması gereken tedbirlerin önceliğinin ve aciliyetinin simgesidir (Zengin ve Asal, 2020).

#### **2.3.4. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)**

NIOSH kaldırma denklemi, çalışanların sadece iki elle yaptıkları taşıma ve yük kaldırma sırasındaki ergonomik risklerin hesaplanması için kullanılır (Coşkun vd., 2015).

#### **2.3.5. ROSA (Rapid Office Strain Assessment)**

ROSA (Hızlı Ofis Zorlanma Değerlendirmesi); ofislerde kullanılan sandalye, monitör, klavye, fare, yazıcı ve telefonların çalışma duruşları üzerinde ne düzeyde bozukluklara sebep olduğu ve bu bozuklukların vücudun hangi bölgelerinde ne düzeyde hastalık oluşturabileceğini incelemektedir (Ergonomi Risk Analizi, 2022: <http://ergonomiriskanalizi.com/rosaofisergonomiriskanalizi.html>)

#### **2.3.6. RULA (Rapid Upper Limb Assessment)**

RULA (Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi), görev için gereken tekrarlı hareket ve güç dikkate alınarak işe yönelik üst uzuv (bilek, el, alt kol, dirsek, üst kol, boyun, omuz) sorunlarının tespit edilmesi amacıyla geliştirilen, çalışma duruşlarını analizleyen bir yöntemdir. Boyun, üst organ ve bacak duruşlarında daha önceden tespit edilen sınıflandırmalar ve sayısal değerler, gözlenen duruşun risk puanını belirlemek için kullanılır. (Esen ve Fırlalı, 2013)

#### **2.3.7. OCRA (Occupational Repetitive Actions Index)**

OCRA (Mesleki Tekrarlamalı Hareketler İndeksi), özellikle el, omuz ve dirsek gibi üst vücut uzuvlarına ait hareketleri ergonomik yönden inceleyen yöntemdir. Hareketler ve çalışma duruşları OCRA indeksini oluşturur. Özellikle montaj hattında çevrim süresi boyunca tekrarlı işlerin risk değerlerini hesaplamaya odaklanır (Alıcı vd. 2017).

#### **2.3.8. ManTRA (Manual Tasks Risk Assessment)**

ManTRA (Vücut Risk Maruziyet Değerlendirme), standart bir çalışma gününde çalışanın iş yerinde bulunma süresi ve çalışması boyunca aralıksız olarak çalıştığı süre alınarak çevrim süresi, kuvvet, titreşim, hız, uygunsuzluk durumu gibi unsurlar kullanılır (Tol, G. 2019).

## 2.4. Ergonomik Personel Çizelgeleme

Çizelgeleme; sınırlı kaynakların, belirli bir veya birden çok amaç doğrultusunda ve belirli bir zaman aralığında atanmasını sağlayan bir karar verme sürecidir. Çizelgelemenin temel amaçları, üretim ve hizmet olanaklarının en etkili biçimde kullanılmasını sağlamayarak müşteri taleplerine hızlı bir şekilde cevap vermek, işleri tam zamanında teslim etmek, fazla mesai maliyetleri ve fason maliyetleri en küçükmektir. Her bir iş öncelik seviyesi, teslim süresi, hazırlık süresi ve işe başlama zamanına sahip olabilir. Çizelgelemenin amaçları da bu farklı istekler doğrultusunda değiştirilebilir.

Çizelgeleme problemlerinin çözümü için kurulan matematiksel modeller yapıları gereği çok fazla parametre içermektedir. Çizelgeleme çalışmasındaki her bir personel için en az bir adet karar değişkeninin tanımlanması gerekmektedir. Oluşturulmak istenen çizelge planında zaman (aylık, haftalık vs.), gün içindeki görevleri, vardiyaları gibi diğer durumlar da dikkate alındığında karar değişkeni sayısı ve bunlara bağlı olarak kısıt sayısı da artmaktadır. Bu nedenle bu tip problemlerin çözümü için kurulan matematiksel modellerin çözümleri ya çok uzun zaman alır ya da sonuca ulaşamaz. Bu durumlarda daha hızlı ve kaliteli sonuçlar elde edebilmek veya sadece sonuca ulaşabilmek için genetik algoritma gibi sezgisel yöntemlere başvurulması gerekmektedir.

Üretim sistemleri ve hizmet sektörü olmak üzere iki temel kola ayrılan çizelgeleme problemleri son yıllarda araştırmacılar tarafından oldukça ön planda olan problem türlerinden biri haline almıştır (Bergh vd., 2013). Bugüne kadar yapılan çizelgeleme çalışmaları incelendiğinde, üzerinde en çok çalışılan çizelgeleme problemlerinden biri olarak personel çizelgeleme karşımıza çıkmaktadır (Bergh vd., 2013).

Dünyada yaşanan olaylar sonucunda değişen piyasa koşulları sadece işletmelerin yapılarını ve yönetim biçimlerini değil aynı zamanda çalışma koşullarını ve sürelerini, çalışanların taleplerini ve müşterilerin memnuniyetlerini de değiştirmektedir. İşletmelerin topluma daha iyi hizmet verebilmek için birbirleriyle rekabet içerisinde olduğu bir ortamda verimliliği arttırmak ve sürekliliğini sağlamak için doğru bilgi ve beceriye sahip doğru sayıda personel, doğru zaman ve doğru yerde görevlendirilmelidir. Bu durum, personel çizelgeleme ile başarılmaktadır. Personel çizelgeleme üretim ve hizmet sektörlerinde etkin olarak kullanılmakta olup

çalışanların işe başlama saatlerinin, vardiya sürelerinin ve dinlenme günlerinin belirlenmesi gibi detayları içeren çizelgeleme, görev ya da iş sırasının ve kontrol mekanizmasının planlanması ve zamanlandırılması için kullanılan ve karar vermeye yardımcı olan bir sistemdir (Gür ve Eren, 2018).

Personel çizelgeleme problemi işletmelerde, sanayi bölgelerinde, hastanelerde, kamu kurumlarında ve ve buna benzer pek çok yerde karşılaşılan önemli bir çizelgeleme problemdir. Problemin çözümündeki asıl amaç, çalışan personelin gerekli yerlere adaletli ve dengeli bir şekilde dağıtılmasıyla daha iyi bir hizmet vermesi ve daha adil koşullarda çalışmasının sağlanmasıdır.

Personel çizelgeleme problemlerinde ana hedef; kaynakların verimli kullanılmasını sağlayarak, dengeli iş yükü dağılımı yapmak ve mümkün olduğunca bireysel istekleri karşılamaktır. Çizelgelemeler oluşturulurken firmalar, işçilerin istek ve tercihlerini (belirli vardiyada çalışma, belirli kişi ile çalışma, belirli izin günü vs.) karşılayabilmek adına, yarı zamanlı işe alma ya da esnek çalışma saatleri gibi birtakım yöntemleri önermektedirler. Ayrıca çizelgeleme işi yapılırken, birçok kısıt ile personelin ve hizmet alanların tamamının hoşnut olmasını sağlamak, istek ve tercihleri karşılarken de adil ve dengeli davranmak problemi daha da çözümü zor bir hale getirmektedir. Bu sebeple personel çizelgeleri oluşturulurken üzerinde uzun vakit harcanması gerekmektedir.

Bu probleme olan ilginin ve dikkatin artması işletmelerin ekonomik faktörler tarafından motive edilebilir bir hal almasını sağlamıştır. Şirketlerde emek maliyeti, doğrudan doğruya maliyet bileşenidir. Yeni bir personel programı uygulayarak bu maliyeti belli bir oranda kısaltmak ve maliyetleri düşürmek açısından önemlidir. İşletmelerde çalışan personelin verim ve kalitesinin arttırmasına yönelik çalışmalar yapılması, personel çizelgeleme probleminin çözüme kavuşturulması adına gereklidir. Ayrıca personel memnuniyetinin arttırılmasında personel çizelgelemenin önemi oldukça fazladır. Çünkü personel çizelgeleme, çalışan personelin ihtiyaç ve tercihlerini göz ardı etmeden bir model oluşturarak hem çalışan personelin hem de ilgili işletmenin planlı ve sistemli bir şekilde idame etmesini sağlamaktadır. Personel çizelgeleme problemlerinde optimum sonuçlar için en çok matematiksel programlama modelleri kullanılmaktadır (Bergh vd., 2013). Matematiksel modeller içinde de birçok amacın aynı anda veya hiyerarşik sırayla optimize edildiği hedef programlama ile yapılan birçok çalışma mevcuttur. Hedef programlama her bir amacı birer kısıt haline

dönüştürür, kısıtları önem sıralamasına göre dizer ve bu kısıtların amaçlardan sapmasını minimize ederek hedefe ulaşmaya çalışır (Tamiz ve Jones, 1997).

Ergonomik personel çizelgeleme iş rotasyonu tabanlı bir çizelgeleme türüdür. Üretim sistemlerindeki ergonomik risklere olan maruziyetleri en aza indirmesinden, mesleki yaralanma ve kas-iskelet hastalıkları önlemeyi amaçlamasından dolayı gün geçtikçe tercih edilen bir uygulama haline gelmektedir. Ergonomik personel çizelgeleme yardımıyla işlerin maruziyet değerleri hesaplanarak personelin en uygun göreve atanması sağlanmaktadır. Maruziyeti azaltmak için personelin zorunlu izin günleri, nitelik ve yetkileri de hesaba katılır. Bu sayede hem personelin iş tatmini hem de motivasyonu artar (Otto ve Scholl, 2013). Bunların yanı sıra personellerin çeşitli görevleri yapabilmeleri için eğitilmelerini, iş devamlılığının yüksek oranda olmasını, personelin değişikliklere daha kolay adapte olmasını ve zamanla artan travmatik hastalıkların azalmasını sağlamaktadır.

### 3. YÖNTEMLER

Bu bölümde ele alınan çizelgeleme probleminin çözümünde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Literatürde bulunan ergonomik personel çizelgeleme çalışmalarında birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler çalışmanın amacına ve ele alınan ergonomik risk faktörlerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu tez çalışmasında ele alınan çizelgeleme probleminin çözümünde REBA yöntemi ve hedef programlama birbirine entegre edilerek kullanılmıştır.

#### 3.1. REBA Yöntemi

2000 yılında Hignett ve McAtamney tarafından duruşları analiz etmek üzere geliştirilen REBA (Rapid Entire Body Assessment) yöntemi; elle yapılan taşıma, kaldırma işlerindeki riskleri hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir. Hem statik hareketlerde hem de dinamik hareketlerde tüm vücut faaliyetleri süresince çalışanın duruş şekline bağlı olarak yük binişlerini analiz eder. Bu yöntem, mesleki kas ve iskelet hastalıklarına neden olabilecek çalışma şeklinin saptanmasına ve elde edilen sonuca göre iyileştirmeler yapılmasına olanak sağlamaktadır ([http://ergonomiriskanalizi.com/rebaergonomiriskanalizi.html#:~:text=Erişim Tarihi:02.05.2022 / 18.59](http://ergonomiriskanalizi.com/rebaergonomiriskanalizi.html#:~:text=Erişim+Tarihi:02.05.2022+/18.59)).

REBA yöntemi tüm vücut duruşunu dikkate alarak değerlendirme yapar. Yöntemi uygulamak ve duruş analizleri yapmak için çalışmanın fotoğraf ve/veya video ile analiz edilmesi önerilir. Elde edilen görüntülerde en çok yapılan, daha çok fiziksel kuvvet gerektiren, işçiyi zora sokan, daha çok zaman alan hareket seçilerek duruş analizi yapılır.

REBA yöntemine göre bir çalışma duruşunun REBA skoru belirlenirken vücut kısımları, A ve B Grubu olmak üzere ikiye ayrılır. A grubu gövde, boyun ve bacakları içerirken; B grubu üst kollar, alt kollar ve bilekleri içerir. REBA metodundaki diğer faktörler, kaldırılacak yükün kolaylık derecesi, yük üzerindeki kavrama şekli,

hareketin ne sıklıkta yapıldığı, hareket sırasında vücudun sabit durması veya hareket ettiğinde aynı zamanda dönme, bükülme olup olmadığıdır(Kocabaş, M., 2009).

### 3.1.1. REBA Yönteminin Adımları

#### Adım 1: Görevin Gözlemlenmesi

Çalışanın görevini gerçekleştirdiği sırada vücudunun duruşu, ekipman kullanımı, kullanılan ekipmanın çalışana ile uyumu, çalışma yapılan ortam, genel işyeri çevresi vb. gözlemlenerek, imkan varsa fotoğraf ya da video kayıt yapılarak görevler kayıt altına alınır.

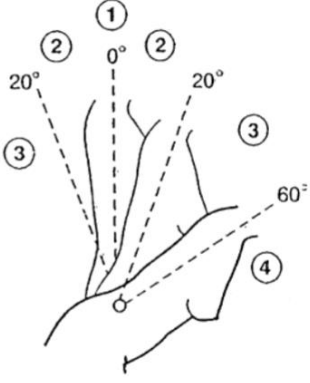
#### Adım 2: Değerlendirilecek Duruşun Seçilmesi

Görevler değerlendirildikten sonra hangi görevin hangi duruşunun değerlendirileceği seçilir. Seçim yapılırken, en fazla kas çalışması ya da güç gerektiren, tekrarı ve süresi en uzun olan, kas iskelet sistemi üzerinde en fazla yük oluşturan duruş seçilebilir. Bahsedilen durumlardan bir ya da birden fazlasını içeren duruşlar göz önünde bulundurularak seçim yapılabilir.

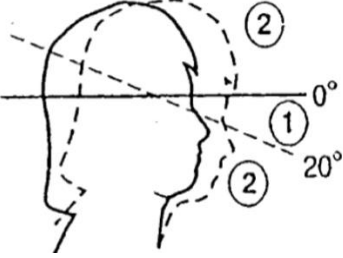
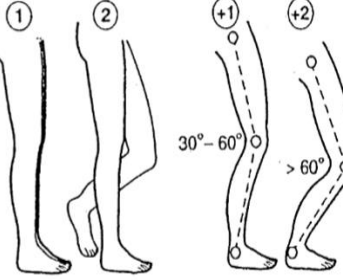
#### Adım 3: Duruşların Puanlaması

Çizelge 3.1'de A grubu olan gövde, boyun ve bacaklar için hareket biçimleri, skor ve skor değişimi verilmiştir. Gövde ve boyun için harekete ek olarak yana esneme ve dönme varsa hareketin skoruna +1 eklenir. Bacaklarda 30°-60° arası fleksiyon varsa +1, 60°'den büyük fleksiyon varsa +2 eklenir.

Çizelge 3.1. REBA Yöntemi Grup A Puan Tablosu

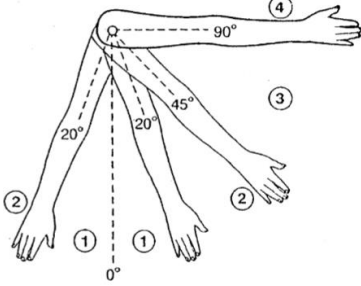
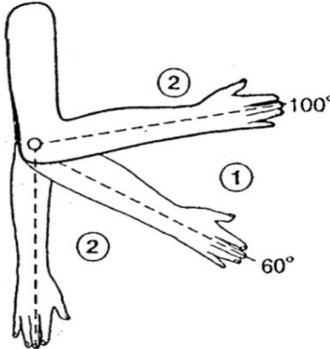
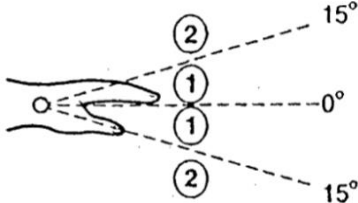
	GÖVDE		
	Hareket	Skor	Skor Değişimi
	Dik	1	Yana esneme veya dönme varsa +1
0°-20° Fleksiyon 0°-20°Ekstansiyon	2		
20°-60° Fleksiyon >20° Ekstansiyon	3		
> 60° Fleksiyon	4		

**Çizelge 3.1. (devamı...) REBA Yöntemi Grup A Puan Tablosu**

		<b>BOYUN</b>		
		<b>Hareket</b>	<b>Skor</b>	<b>Skor Değişimi</b>
	0°-20° Fleksiyon	1	Yana esneme veya dönme varsa +1	
	> 20° Fleksiyon veya Ekstansiyon	2		
		<b>BACAKLAR</b>		
		<b>Hareket</b>	<b>Skor</b>	<b>Skor Değişimi</b>
	Bilateral (iki taraflı) ağırlık taşıma, yürüme veya oturma	1	Diz(ler)de 30°-60° arası fleksiyon +1	
	Unilateral (tek taraflı) ağırlık taşıma veya sabit olmayan duruş	2	Diz(ler)de >60° fleksiyon (oturma hariç) +2	

Çizelge 3.2, B grubu olan üst kollar, alt kollar ve bilekler için hareket biçimleri, skor ve skor değişimi verilmiştir. Üst kollar için harekete ek olarak kol dönmüş veya dışarı çekilmişse +1, omuz yükseltilmiş ise +1, hareket yerçekimi desteği ile yapılıyorsa -1 hareket puanına eklenir. Bilekler için ise bilekte yana esneme veya dönme varsa +1 eklenir.

**Çizelge 3.2. REBA Yöntemi Grup B Puan Tablosu**

<b>ÜST KOLLAR</b>			
<b>Hareket</b>	<b>Skor</b>	<b>Skor Değişimi</b>	
	20° Fleksiyon – 20° Ekstansiyon	1	Kol dönmüş veya dışarı çekilmişse <b>+1</b> Omuz yükseltilmişse <b>+1</b> Eğer hareket yerçekimi desteği ile yapılıyorsa <b>-1</b>
	20°-45° Fleksiyon > 20° Ekstansiyon	2	
	45°-90° Fleksiyon	3	
	> 90° Fleksiyon	4	
<b>ALT KOLLAR</b>			
<b>Hareket</b>	<b>Skor</b>		
	60°-100° Fleksiyon	1	
	< 60° Fleksiyon > 100° Ekstansiyon	2	
<b>BİLEKLER</b>			
<b>Hareket</b>	<b>Skor</b>	<b>Skor Değişimi</b>	
	0°-15° Fleksiyon veya Ekstansiyon	1	Bilekte yana esneme veya dönme varsa <b>+1</b>
	> 15° Fleksiyon veya Ekstansiyon	2	

*Adım 4: Puanların İşlenmesi*

Gövde, boyun ve bacaklar için hesaplanan skarlardan tek bir skor elde etmek için Çizelge 3.3'deki skor kesişimlerine denk gelen sayıya Çizelge 3.4.'de verilen Yük/kuvvet skoru eklenerek A skoru elde edilir.

**Çizelge 3.3. A Grubu Skor Kesişimleri**

		BOYUN											
		1				2				3			
		BACAKLAR				BACAKLAR				BACAKLAR			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
GÖVDE	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

**Çizelge 3.4. Yük/Kuvvet Skoru**

YÜK / KUVVET	SKOR
<5 kg	0
5 – 10 kg	1
> 10 kg	2
Ani veya hızlı kuvvet artışı	+1

Aynı yolla; üst kol, alt kol ve bilek için hesaplanan skorlardan tek bir skor elde etmek amacıyla Çizelge 3.5’deki skor kesişimlerine denk gelen sayıya Çizelge 3.6’da verilen Kavrama skoru eklenerek B skoru elde edilir.

**Çizelge 3.5. B Grubu Skor Kesişimleri**

		ALT KOL					
		1			2		
		BİLEK			BİLEK		
		1	2	3	1	2	3
ÜST KOL	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

**Çizelge 3.6.** Kavrama Skoru

DERECE	AÇIKLAMA	SKOR
İyi	İyi bir tutma kolu ve orta şiddette kavrama gücü	0
Uygun	El tutuşu uygun fakat ideal değil veya vücudun başka bir bölgesi le kavrama uygun	1
Kötü	El tutuşu uygun olmamasına rağmen mümkün	2
Uygun	Zor ve güvenli olmayan tutuş, tutma kolu yok	3
Değil	Vücudun başka bir bölgesi kullanılarak tutuş uygun değil	3

Çizelge 3.7.'de A skoru ve B skorunun kesişimine denk gelen sayı C skorunu verir. C skoruna Çizelge 3.8.'de verilen Aktivite skoru eklenerek duruşun REBA skoru elde edilir.

**Çizelge 3.7.** A Skoru ve B Skoru Kesişimi (C Skoru)

		B SKORU											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A SKORU	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

**Çizelge 3.8. Aktivite Skoru**

<b>AKTİVİTE</b>	<b>SKOR</b>
Bir veya daha fazla vücut bölgesi sabit (ör: 1 dakikadan uzun süre tutma)	+1
Kısa aralıklarla tekrar eden işler (ör: 1 dakikada 4'ten fazla tekrar eden iş )(yürüme hariç)	+1
Yapılan iş duruşta hızlı ve büyük değişikliğe neden oluyorsa veya sabit olmayan zeminde çalışılıyorsa	+1

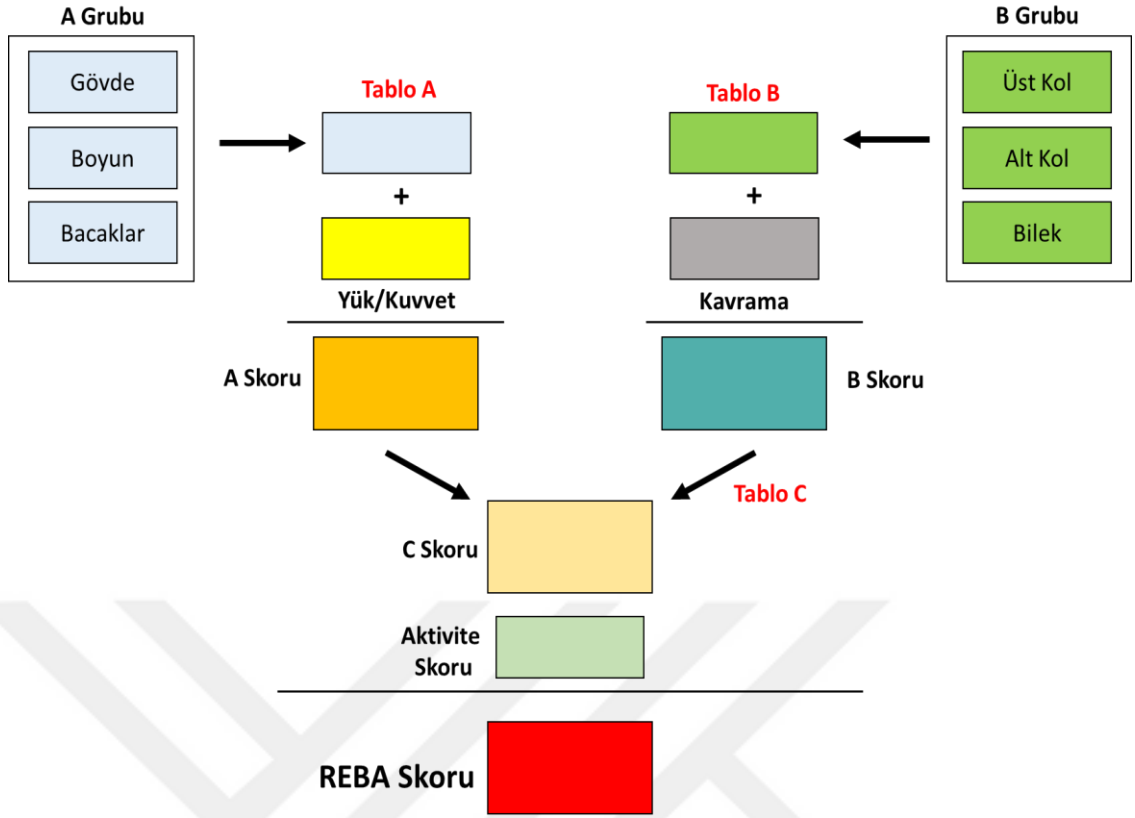
*Adım 5: Önlemlerin Belirlenmesi*

REBA skorlarının hangi risk düzeyine denk geldiği, hangi risk derecesine ve bu riski önlemek için ne yapılması gerektiği Çizelge 3.9.'de verilmiştir. Bu tabloya göre REBA Skoru 1 olan duruşun risk derecesi 0 olur ve herhangi bir önlem alınmasına gerekli değildir. Ancak REBA Skoru 11-15 olan duruşun risk derecesi 4 olur ve önlemin hemen alınmasına gereklidir.

**Çizelge 3.9. REBA Skoru**

<b>DERECE</b>	<b>REBA SKORU</b>	<b>RİSK SEVİYESİ</b>	<b>ÖNLEM</b>
0	1	İhmal Edilebilir	Gerekli değil
1	2-3	Düşük	Gerekli olabilir
2	4-7	Orta	Gerekli
3	8-10	Yüksek	Kısa zaman içerisinde gerekli
4	11-15	Çok Yüksek	Hemen gerekli

Her bir görev için REBA skoru yukarıda anlatılan adımlar ve Şekil 3.1'deki diyagram kullanılarak belirlenir. Elde edilecek REBA skorları önerilecek olan hedef programlama modelinde REBA skoru, A skoru ve B skoru olmak üzere ergonomik kısıtlar olarak kullanılacaktır. Önerilen modelin amaç fonksiyonu bu skarlardan oluşacak sapma değerlerinin en küçükleme olarak belirlenmiştir. Modelde üç skorun birden değerlendirilmesi personelin ergonomik açıdan vücut duruşundaki tüm organlara olan yükün daha dengeli dağılmasını sağlayacaktır.



Şekil 3.1. REBA Yöntemi Planlama Diyagramı

Bu çalışmanın gerçekleştirildiği firma bir savunma sanayi firması olmasından ve ağır malzemeler kullanılmasından dolayı bir görev gerçekleştirilirken birden çok pozisyon değişikliği bulunmaktadır. Görevin yapılışı esnasında çalışanın duruşunu hem sabit hem de dinamik hareketlerle bir bütün olarak dikkate alınarak tüm vücut faaliyetleri üzerinde ergonomik risk faktörünün sayısal hesabının yapılmasında REBA metodunun uygun olduğu kararı verilmiştir.

### 3.2. Hedef Programlama Modeli

İlk hedef programlama çalışması 1955 yılında Charnes vd. tarafından gerçekleştirilmiştir. Sonrasında hedef programlamayı geliştirmek amacıyla 1961 yılında Charnes ve Cooper çalışmalar yapmışlardır (Aktürk vd., 2017)

Hedef programlama, bir ya da birden fazla amaca sahip problemlerin modellenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile yapılmak istenen amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize etmek değil; var olan kısıtlar ile

ulaşılmak istenen hedeflerdeki  $d_i^+$  ve  $d_i^-$  simgeleriyle gösterilen sapma değişkenlerini minimize etmektir (Ignizio, 1985).

Karar vericiler için hedeflerin önemleri birbirinden farklı olabilmektedir. Bu durumda amaç fonksiyonu yazılırken öncelikli ya da ağırlıklı yöntemler kullanılabilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde hedef programlama; tek hedefli, eşit ağırlıklı çok hedefli, ağırlıklı çok hedefli, öncelikli çok hedefli, ağırlıklı-öncelikli çok hedefli programlama olmak üzere 5 farklı şekilde gruplandırılabilir (Bayraktar, 2019).

Gür ve Eren (2018), literatürde hedef programlama yönteminin kullanıldığı çalışmaları bir literatür taraması yaparak değerlendirmişlerdir. Ayrıca yine Gür ve Eren (2018) hedef programlama yönteminin kullanıldığı konulardan birisi olan ameliyathane çizelgeleme problemleri için de literatürde yapılan çalışmaları literatür taraması ile incelemişlerdir.

Matematiksel gösterimi şu şekildedir;

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

$$\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - d_i^+ + d_i^- = k_i \quad (3.2)$$

$$d_i^+ * d_i^- = 0 \quad (3.3)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad i = 1 \dots t \quad j = 1 \dots n \quad (3.4)$$

Değişkenler;

$x_j$  = j. karar değişkeni

$w_{ij}$  = i. hedefin j. karar değişkeni ağırlık katsayısı

$k_i$  = i. hedef için ulaşılmak istenen değer

$d_i^+$  = i. hedefin pozitif sapma değişkeni

$d_i^-$  = i. hedefin negatif sapma değişkeni

Yukarıdaki matematiksel modelde (3.1) modelin amaç fonksiyonunu, (3.2) modelin kısıtlarının kapalı formatını ifade etmektedir. (3.3) pozitif ve negatif sapmanın birisi değer aldığı anda diğerinin sıfır olacağını ifade ederken (3.4) bütün değişkenlerin sıfırdan büyük olması gerektiğini ifade etmektedir.

Hedef programlamada ilk olarak karar vericinin hedeflerini belirleyerek bu hedefleri ağırlıkları ve sapmaları ile beraber kısıt olarak yazması gerekir. Kısıtlardaki sapma değişkenlerinin negatif değer almaması ve hedefin hem üst hem de altında değer almaması için sapmalardan birisi mutlaka sıfır olmalıdır. Bu da sapmaların çarpımının sıfıra eşitlenmesi ile mümkün olmaktadır. Daha sonra amaç fonksiyonuna sapmaların önem sıralarına ya da ağırlıklarına göre yazılmasıyla hedeflerdeki sapmaların minimize edilmesi sağlanır (Ediz ve Yağdıran, 2009).



## 4. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde yer alan çizelgeleme çalışmaları incelendiğinde ergonomik personel çizelgeleme konusunun diğer çalışmalara göre daha yeni olduğu görülmektedir. Literatürde yapılan ergonomik personel çizelgelemeye ait bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Carnahan, Redfern ve Norman (2000) iş şiddeti indeksini kullanarak kaldırma işlerinin fiziksel iş yükünü hesaplamaya yarayan bir iş değişim çizelgesi modeli önermişlerdir. Bu model ile çalışanların yaralanma potansiyellerini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Modelin çözümünde optimizasyon ve sezgisel yaklaşımları bir araya getirerek bir iş değişim çizelgesi elde etmişlerdir.

Malladi ve Min (2004) , kendi buldukları deneme verilerini kullanarak ergonomik ve finansal kriterleri göz önüne alan bir çizelge bulmaya çalışmışlardır. İlk olarak ergonomik ve finansal kriterleri kullanarak her bir çizelgelemenin ağırlığını AHP ile hesaplamışlar, daha sonra da en optimal çizelgelemeyi seçmek için AHP ile bulunan ağırlıkları kullanarak tam sayılı programlama modelini çözmüşlerdir.

Seçkiner ve Kurt (2005), radyografi teknisyenleri üzerindeki iş yükünü en aza indirmek amacıyla tur ve rotasyon çizelgelerini bütünleşik bir şekilde kullanmışlardır. Tur çizelgesini kullanarak gerekli olan en az teknisyen sayısını hesaplamışlar ve bu sonucu da rotasyon çizelgelemede bir kısıt olarak kullanmışlardır. Önerdikleri modelde teknisyen başına düşen hasta sayısını en küçükmeyi amaçlamışlar ve bir haftalık çizelge elde etmek için modeli GAMS programında çözdürmüşlerdir. Kendi oluşturdukları rassal verileri kullanarak modelin geçerliliğini test etmişlerdir.

Yaoyuenyong ve Nanthavanij (2006), üretim ortamındaki gürültüyü dikkate alarak, işitme kaybının çalışanlar için çok önemli bir sorun olduğunu belirtmişlerdir. Bu sorunun iş değişimi ile ortadan kaldırılabilceği fikrini ortaya atmışlardır. Çalışmada günlük gürültü maruziyeti seviyesinin 90dBA'yı geçmeyecek şekilde gerekli olan minimum çalışan sayısını belirleyerek ve çalışma sonucunda iyileştirmeler yapmak için 4 algoritmadan oluşan bir hibrit modelleme ile çözüm yapmışlardır.

Aryanezhad, Kheirkhah, Deljoo ve Mirzapour (2009), çalışanlar için gürültü maruziyeti değeri ve sırt ağrısı potansiyelleri toplamını minimize etmeye çalışan bir iş değişim çizelgeleme modeli önerisi geliştirmişlerdir. Önerilen modelin çalışıp çalışmadığını test etmek için literatür çalışmasından aldıkları altı modelin verilerini kullanarak kesin çözüme ulaşmaya çalışmışlardır.

Asensio-Cuesta, Diego-Mas, Canos-Daros ve Andres-Romano (2011), çalışanların maruz kaldıkları ergonomik risklerin azaltılması için iş değişim çizelgelerinin çalışan ve firma için faydalarını ayrı ayrı incelemişlerdir. Çok kriterli bir genetik algoritma kullanarak iş değişim çizelgelerini hazırlamışlardır. Algoritmayı bir montaj hattı üzerinde kullanmışlar ve yorgunluktan kaynaklanan kas-iskelet hastalıklarının önlenmesini sağlayacak en optimal çalışan - iş atamasının sonucuna ulaşmışlardır.

Cheshmehgaz, Haron, Kazemipour ve Desa (2012), kötü vücut duruşunun birikimli riskini göz önüne alan montaj hattı dengeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Klasik montaj hattı dengeleme probleminin kısıtlarına ek olarak ergonomik vücut duruşlarını da modele dâhil etmişlerdir. Klasik modeldeki belirsizlikler için bulanık HP yaklaşımını benimsemişler ve çözüm için de çok kriterli bulanık genetik algoritma kullanmışlardır.

Wongwien ve Nanthavanij (2012), rotasyona tabii tutulan çalışan sayısını minimize etmeyi amaçlayan ve ergonomik tehlikeye maruz kalmayı bir kısıt olarak kullandıkları 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Rastgele her bir iş istasyonuna ergonomik risk değeri atayarak, zaman ağırlıklı ortalama ile çalışanların günlük risk maruziyetini hesaplamışlardır.

Xu, Ku, Cochran ve Jung (2012), ergonomi kriterleri ve verimlilik olgusunu göz önüne alarak montaj hatlarının tasarlanması konusu üzerinde durmuşlardır. Üst ekstremitedeki kas-iskelet sistemi hastalıklarının engellenmesi amacıyla el aktivitesi ergonomi kriterinin seviyesini ölçmüşler, bu ölçüm sonucunu modele entegre ederek tasarladıkları karışık tam sayılı matematiksel programlama yaklaşımı ile çözümlenmişlerdir.

Otto ve Scholl (2013), ergonomi kriterlerinin montaj hattı dengeleme probleminde kullanımına ilişkin bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelleme aracı olarak karışık tam sayılı matematiksel modelleme yaklaşımını benimseyen araştırmacılar,

sezgisel çözüm yöntemleri ile ergonomi açısından Occupational Repetitive Action (OCRA) indeksini dikkate aldıkları modellerini çözüme kavuşturmuşlardır.

Rattanamanee ve Nanthavanij (2013), ergonomi kısıtını işgücü çizelgeleme problemi ile incelemiştir. İş istasyonlarına belli bir ergonomik risk değeri atayıp, çalışanların günlük olarak belirlenen sınırı geçmeyecek şekilde makineler arasında iş rotasyonu sağlayacak & günlük bir çizelgeleme için model geliştirmişlerdir. Çalışmada, iş istasyonlarının operasyon çizelgesinin bilindiğini, makinenin çalışma zamanının ve boş kalacağı zamanın belirlendiğini varsaymışlardır. Problemi, işçi sayısını en küçükleyecek şekilde doğrusal tam sayılı programlama ile modellemiş ve türetilen sayısal veriler kullanılarak ILOG CPLEX programı ile çözmüşlerdir.

Wongwien ve Nanthavanij (2013), ergonomik personel çizelgelemesini verimlilik ve çalışan memnuniyeti açısından incelemeyi amaçlamışlardır. Bunun için günlük tehlike miktarını ergonomik işgücü çizelgeleme problemine bir kısıt olarak ekleyerek karışık tam sayılı programlama ile modellemişlerdir. Çalışanların yetenek seviyesinin birbirlerinde farklı olduğunu belirtmişler ve çalışanların çalışma arkadaşını seçmesine izin vermişlerdir. Toplam sistemin verimliliği ve çalışanın memnuniyetini en büyükleyecek amaç fonksiyonunu modele eklemişlerdir. Önerdikleri modelin denemesini kendi oluşturdukları rassal veriler ile tek gün için yapmışlardır.

Wang ve Liu (2014), vardiyalı çalışmanın uyku düzenini bozarak yorgunluğa ve performans düşüklüğüne neden olduğunu belirtmişlerdir. Vardiya çalışanlarının yorgunluklarını azaltmak amacıyla en uygun vardiya çizelgelemesini hazırlamak için üstel koşullu bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Kurdukları yorgunluk modelinde çalışanların tercihlerini, yasal zorunlulukları ve iş gücü gerekleri gibi durumları da göz önüne almışlardır. Problemi karışık tam sayılı programlama ile modellemişler, Xpress IVE ile kodlayıp, farklı parametrelere göre çalıştırarak çözdürmüşlerdir.

Akbari (2015), işçi maliyetlerini minimize edecek tur çizelgeleme yaklaşımı geliştirmiştir. Bu yaklaşımda yarı zamanlı çalışanların yorgunluk oranlarını dikkate alarak vardiyaların dengeli atanması problemini modellediğini belirtmiştir.

Boenzi, Mossa, Mummolo ve Romano (2015), yaş aralığı yüksek olan çalışanların olduğu bir iş yerinde ergonomik en uygun iş değişim çizelgelerini elde etmeyi amaçlamışlardır. Düşük iş yükü ve yüksek tekrarlılık içeren işlerin olduğu iş yeri için

kurdukları modelde, ergonomik açıdan OCRA indeksini kullanmışlardır. Modelin çözümü için kendi ürettikleri rassal verileri kullanarak kesin çözüm veren paket programlarda denemişlerdir.

Dewi ve Septina (2015), lojistik hizmeti veren bir şirkette fiziksel ve zihinsel iş yükünü dikkate alan işgücü çizelgeleme modeli kurmuşlardır. Zihinsel iş yükünü ölçmek için NASA TLX (Task Load Index), fiziksel iş yükünü ölçmek için ise kalori tüketimini göz önünde bulundurarak modelleme yapmışlardır.

Bautista, Garcia ve Pozo (2016), çok ürünlü montaj hatları için ergonomik risk faktörlerine göre maksimum izin verilen risk miktarını dikkate alan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu modeli endüstriyel ürünler üreten bir firmada uygulamışlardır.

Mossa, Boenzi, Digiesi, Mummolo ve Romano (2016), OCRA indeksi ve verimlilik faktörünü göz önüne alan iş-rotasyon çizelgelemesi üzerinde çalışmışlardır. Problemi karışık tam sayılı modelleme yaklaşımı ile modellemişler ve günlük çizelgeleme elde etmek üzere geliştirmişlerdir.

Moussavi, Mahdjoub ve Grunder (2016), çevrim süresinin kısaltılmasını amaçlayan ergonomik iş gücü çizelgelemesi problemini ele almışlardır. Montaj hattı özelinde kullandıkları modelde ergonomik analiz için boy, yaş, kişinin yetenek seviyesi ve tecrübesi durumlarını kullanarak tam sayılı doğrusal matematiksel modelleme yaklaşımı ile model oluşturmuşlar ve GUROBI yazılımı ile çözmüşlerdir.

Song, Lee, Lee, Bahn ve Jung (2016), ergonomik iş gücü çizelgeleme konusunda bir algoritma önermişlerdir. Görevi yaparken vücudun aktif olan bölgesine göre işlere özel puanlar atayarak, çalışanların görevlere atanmasındaki bu puanların toplamının en küçüklenmesini amaçlamışlardır. Tam sayılı programlama yöntemi ile modelledikleri problemi kesin çözüm veren paket programlar ile çözmüşlerdir.

Yoon, Ko ve Jung (2016), işlere ilişkin duruşları REBA yöntemi ile değerlendirerek, tek günlük iş değişim çizelgeleme elde etmeyi amaçlamışlardır. Bazı vücut bölümlerinin sürekli kullanımına dayalı toplam iş yükünü engellemeye amaçladıkları için REBA skorlarını içeren bir matematiksel model önerisinde bulunmuşlardır.

Battini, Glock, Grosse, Personsa ve Sgarbossa (2017), bir çalışanın hem ergonomik hem de ekonomik yönden kaldırabileceği ağırlık miktarının belirlenmesi ve çalışma-

mola sürelerini belirleyen matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri yaklaşımı ergonomik parti büyüklüğü olarak anmışlardır.

Bedir, Eren ve Dizdar (2017), Kırıkkale'deki bir hazır giyim mağazasında toplamda 5 görev yerinde çalışan 39 personel için ergonomik risk faktörlerini ve çalışma saatlerini dengeleyerek bir aylık çalışma çizelgesi oluşturmayı amaçlamışlardır. Bunun için Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ve hedef programlama yöntemlerini kullanmışlardır.

Hochdörffer, Hedler ve Lanza(2018), kısa süreli planlama çalışmalarında istasyonun tüm vücudu çalıştırması ya da yoğunluklu olarak el-parmak sistemini çalıştırması özelliğini dikkate alarak iş değişim çizelgeleri oluşturmayı amaçlamışlardır. Problemin çözümünde sezgisel yöntemleri kullanmışlardır.

Moussavi, Mahdjoub ve Grunder (2018), ergonomik iş değişim çizelgeleri oluşturmak için fiziksel iş yükü ve verimlilik amaçlarını içeren çok amaçlı bir matematiksel model önermişlerdir. İşlere 1-10 arasında bir puan vererek iş yüklerini temsil etmeye çalışmışlardır. Verimlilik açısından ise maksimum iş yükünü ve üretim çevrim zamanını en küçükleymeyi dikkate alan modeller oluşturmuşlardır.

Şenyiğit ve Atıcı (2018), çalışanların işe bağlı öğrenme indeksini göz önüne alarak çevrim zamanının en küçüklemeyi amaçlayan tek makine çizelgelemesi için bir matematiksel model geliştirmişler. Modeli RULA yöntemini ile entegre ederek atama problemine dönüştürmüşlerdir.

Alakaş, Pınarbaşı, Sönmez ve Yüksel (2019), orta gerilim sigorta üreten bir firma için ergonomik personel çizelgeleme problemini ele almışlardır. Firmadan elde edilen verilere göre çalışanların ergonomik risklerinin dengelenmesi amaçlamışlardır. Görevlerin ergonomik risklerini ölçmek için REBA yöntemini; problemi çözmek için ise hedef programlama yöntemini kullanmışlardır. Önerilen model ile firmadaki işgücünün daha etkin ve verimli kullanılmasının yanı sıra çalışanlara verilen görevlerin ergonomik risklerinin mümkün olduğunca eşit olmasını sağlamışlardır.

Sana, Ospina-Mateus, Arriesta ve Chedid (2019), sadece tek bir çalışanı değil de tüm çalışanların korunmasını sağlayan iş değişim çizelgeleme modeline OCRA, RULA ve NIOSH kaldırma yöntemlerini birer kısıt olarak eklemişler ve genetik algoritmanın özel bir çeşidi ile çözümlenmişlerdir.

Aksüt, Tüfekçi ve Eren (2020), EBSCO veri tabanı üzerinden ergonomik risk faktörleri üzerinde yapılan 59 makaleyi incelemişler ve riskleri sınıflandırmışlardır. Ergonomik riskler; fiziksel, bilişsel, örgütsel, çevresel, kişisel ve psikososyal faktörler olmak üzere altı ana sınıf ve 55 alt sınıfa ayrılmıştır.

Kaçmaz, Alakaş ve Eren (2020), bir cam fabrikasında personel vardiya çizelgeleme sorununu ele almışlardır. Çalışmada, her bir çalışana gün içinde uygun yetkinlik ve risk düzeyini tayin etmeyi amaçlamışlardır. Her personelin duruş pozisyonu ile ilgili risk değerlendirmesini REBA yöntem ile yapmışlardır. Yeteneğe göre planlama yapmak için hedef programlama kullanmışlardır. Personel becerileri ve ergonomik şartları entegre ederek kurdukları matematiksel model ile personellerin ergonomik risk faktörlerini ve personelin yeteneklerini göre atamalarını gerçekleştirmişlerdir.

Adem ve Dağdeviren (2021), çalışanların termal açıdan yaptıkları işlerin metabolik ağırlığına uygun sıcaklıklara maruz kalmalarını sağlayan, aynı zamanda klasik işletme amaçlarını da dikkate alan bir matematiksel model geliştirilmişlerdir. Termal konfor parametresinin sağlanması sırasında işlerin metabolik oran eşiti değerlerinin de dikkate alınması, çalışanların her iki parametre açısından da korunmasını sağlamışlardır.

Aksüt, Eren ve Tüfekçi (2021), tekstil fabrikasında kadın çalışanlar için Analitik Ağ Süreci(AAP) ve PROMETHEE yöntemlerini kullanarak ergonomik risk değerlerini hesaplamışlardır. En yüksek riske sahip bölüm dikimhane olarak bulunmuştur.

Pınarbaşı (2022), orta gerilim sigorta üretimi yapan bir firmadaki gerçek verileri kullanarak ergonomik personel görev çizelgeleme problemi için bir kısıt programlama modeli önermiştir. İlk olarak personel ergonomik risk skorlarını REBA yöntemi ile belirlemiş, daha sonra da elde edilen risk skorlarını en küçükleyecek şekilde görevlere personel atamasını gerçekleştirmiştir.

Aksüt, Alakaş, Eren ve Karaçam (2022), tişört üretimi yapan bir tekstil firmasında ergonomik risklere maruz kalan kadın çalışanlar için dikimden paketlemeye kadar olan bütün üretim sürecindeki 15 görevin ergonomik risk skorlarını REBA yöntemi ile belirlemişlerdir. Elde ettikleri risk skorlarını hedef programlama ile bütünleştirerek iş çizelgesi oluşturmuşlardır.

Aksüt, Alakaş ve Eren (2022), Covid-19 döneminde uzaktan çalışan öğretmenlerin cep telefonu, tablet, dizüstü bilgisayar ve masaüstü bilgisayar kullanımında maruz kalacakları riskleri Analitik Ağ Süreci (AAP) ile hesaplamışlardır.

Yapılan literatür çalışması sonucunda ergonomik faktörleri dikkate alarak yapılan personel çizelgeleme problemlerinin çözümünde matematiksel modelleme, REBA yöntemi, OCRA yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmaların özet halleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Ergonomik Personel Çizelgeleme Problemi Literatür Tablosu

YAZAR ADI	ERGONOMİK FAKTÖR	YÖNTEM
Carnahan vd. (2000)	Taşınan nesnelere ağırlığı, taşıma mesafesi, tekrarlama frekansı	TP, GA
Malladi ve Min (2004)	Ergonomik ve finansal kriterler	AHP, TP
Seçkiner ve Kurt (2005)	Radyasyon miktarı	TP
Yaoyuenyong ve Nanthavanij (2006)	Gürültü miktarı	SY
Aryanezhad vd. (2009)	Gürültü değeri ve sırt ağrısı	HP
Asensio-Cuesta vd. (2011)	Yorgunluk faktörü	ECRot
Cheshmehgaz vd. (2012)	Birikimli risk değeri	Fuzzy HP
Wongwien ve Nanthavanij (2012)	Gürültü değerleri	TP
Xu vd. (2012)	El aktivitesi	KTP
Otto ve Scholl (2013)	OCRA İndeksi	Tabu Arama
Rattanamanee ve Nanthavanij (2013)	Ergonomik tehlikeye maruz kalma risk değeri	TP
Wongwien ve Nanthavanij (2013)	Rassal risk değeri üretimi	KTP
Wang ve Liu (2014)	Yorgunluk faktörü	Yorgunluk Kısıtlı MM
Akbari (2015)	Yorgunluk faktörü	GA
Boenzi vd. (2015)	OCRA indeksi	OCRA
Dewi ve Septiana (2015)	Fiziksel ve zihinsel iş yükü	NASA TLX
Bautista vd. (2016)	Fiziksel iş yükü	KTP, GRASP
Mossa vd. (2016)	OCRA indeksi	OCRA, TP
Moussavi vd. (2016)	Fiziksel özellikler	TP
Song vd. (2016)	Fiziksel iş yükü	TP
Yoon vd. (2016)	REBA Skoru	REBA, MM
Battini vd. (2017)	Ergonomik ağırlık miktarı	MM
Bedir vd. (2017)	Ergonomik risk faktörü	AHP, HP
Hochdörffer vd. (2018)	El-parmak sistemi	TP
Moussavi vd. (2018)	Fiziksel iş yükü	HP
Şenyiğit ve Atıcı (2018)	RULA Skoru	RULA
Alakaş vd. (2019)	REBA Skoru	REBA, HP

**Çizelge 4.1.(devamı...) Ergonomik Personel Çizelgeleme Problemi Literatür Tablosu**

<b>YAZAR ADI</b>	<b>ERGONOMİK FAKTÖR</b>	<b>YÖNTEM</b>
Sana vd. (2019)	OCRA, RULA ve NIOSH değerleri	HP, GA
Aksüt vd. (2020)	Fiziksel, bilişsel, örgütsel, çevresel, bireysel ve psikososyal faktörler	-
Kaçmaz vd. (2020)	REBA Skoru	REBA, HP
Adem ve Dağdeviren (2021)	Metabolik faktörler	KTP
Aksüt vd. (2021)	Fiziksel, bilişsel, örgütsel, çevresel, bireysel ve psikososyal faktörler	AAP, PROMETHEE
Pınarbaşı (2022)	REBA Skoru	REBA, KP
Aksüt vd. (2022-a)	REBA Skoru	REBA, HP
Aksüt vd. (2022-b)	Çalışma süresi, duruş, ve fiziksel çevre, fiziksel faktörler	AAP

Yapılacak tez çalışması savunma sanayi alt tedarikçisi olan fabrikada uygulamalı olarak gerçekleştirilip, literatüre ergonomik personel çizelgeleme problemi hakkında örnek bir çalışma olarak sunulmuştur. Çalışmada ergonomik personel çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Operatörler için vardiya sapmalarını en küçükleyecek personel çizelgeleme ve diğer personeller için ergonomik risk maruziyetini en aza indireyecek ergonomik personel çizelgeleme yapılmıştır. İşletmeden alınan veriler kullanılarak, görevlerin ergonomik risk değerleri REBA yöntemi ile hesaplanmıştır. Daha sonra operatörlerin yetkinlikleri ve görevlerin ergonomik risk değerleri göz önünde bulundurularak model oluşturulmuştur. Modeller, ILOG CPLEX Optimization programı ile çözümlenerek çizelgeler elde edilmiştir. Firma içerisinde mevcut durumda çizelgeler hazırlanırken personel istekleri ve ergonomik risk değerleri göz ardı edilmekteydi. Bu çalışma ile birlikte personel istekleri ve ergonomik riskler hesaba katılarak dengeli ve adil bir çalışma ortamı hazırlanması çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; hedef programlama ile entegre edilmiş REBA çalışmalarında hedef kısıtları REBA skoru ortalaması, A skoru ortalaması ve B skoru ortalamasına göre yazıldığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma literatürdeki diğer çalışmaların aksine her departmanın kendi REBA ortalamasına hesaplanarak hedef programlamanın hedef kısıtlarında kullanılmıştır. Bu da çalışmaya literatürdeki diğer çalışmalardan farklı bir ergonomik personel çizelgeleme çalışması olma özelliğine katmıştır.

## 5. UYGULAMA

Bu bölümde savunma sanayisi için talaşlı üretim yapan işletme hakkında bilgi verilmiş olup, mevcut problemlerin çözümü için matematiksel modeller geliştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen modeller ile hem operatörler için dengeli bir çizelgeleme oluşturulmuş hem de diğer departmanlardaki personeller için risk faktörleri enküçüklenerek çizelgeleme yapılmıştır.

Ülkeler, sahip oldukları askeri ve stratejik güçlerini korumak amacıyla ordularının operasyon gücünü arttırmak için bütçelerinin önemli bir payını savunma sanayisini ayırmışlardır. Bir ülkenin kendi imkanlarını kullanarak dışarıdan hiçbir izin, bilgi ve malzemeye ihtiyaç duymadan, kendi tasarımlarını ve üretimlerini yapması hem ekonomisinin gelişmesine katkı sağlamakta hem de dışa olan bağılılığının ortadan kalkmasını sağlamaktadır. Ayrıca bir ülke savunma ve donanım açısından ne kadar güçlü olursa gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki konumu ve önemi artmaktadır. Türkiye de kara, hava ve deniz savunmasında daha çok kendi yerli ve milli ürünlerini kullanmaktadır. Bu nedenle Türk mühendisler tarafından tasarlanan ve üretilen yerli ve milli çalışmalara yatırımlar yaparak gücüne güç katmaktadır.

Türkiye’de, Savunma Sanayii Başkanlığı’na bağlı çok güçlü savunma firmalarında gerçekleştirilen; ülke savunmasına ve güvenliğine yönelik yerli ve milli imkanlar çerçevesinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sürekli olarak Türk milleti ile paylaşılmaktadır. Bu çalışmalar genel olarak “proje” adı altında toplanmakta ve her firmanın kendi prosedürlerine göre süreçler işletilmektedir. Bu projeler, bazen bütün olarak bazen de parça bazlı olarak sektördeki savunma işletmelerine dağıtılarak üretimi gerçekleştirilmektedir.

Savunma sanayisi projelerinin sürekli gelişmesi ve bu gelişmelerden doğan ihtiyaçların karşılanması amacıyla firmaların çoğu savunma sanayisine yönelmiştir. Köklü geçmişleri olan güçlü savunma firmalarının yanı sıra özel sektörde de yeni kurulmuş küçük ölçekli işletmelerin de savunma sanayisine çalışması ile birlikte ülke içindeki verimlilik önemli ölçüde artış göstermektedir. Savunmaya çalışan bütün

işletmelerin ortak amacı projeleri istenilen kalitede ve istenilen zamanda teslim etmektir. Bu da yeterli makine donanımı, sermaye ve en önemlisi de yetkin iş gücü ile sağlanmaktadır. Devletler işletmelerin personel istihdamı sağlaması, makine-teçhizat yatırımları yapması ve taşınmaz mal teşviği gibi destekler ile işletmelere yardım etmektedir.

Savunma sanayisine iş yapan firmaların çok dikkatli ve kaliteli üretim yapmalarının yanı sıra; iş güvenliğine önem vermeleri ve personelin verimli çalışabileceği ortamları doğru planlaması verimliliklerinin artmasını sağlamaktadır. İş güvenliği, kalite standartları, personel konforu ve çalışma ortamı şartlarına dikkat ederek üretim yapan firmaların sektördeki bilinirliği ve güvenilirliğini de artmaktadır. Ergonomik riskler göz önüne alınarak yapılan çizelgelemeler meslek hastalıklarını ve iş kazalarını azaltmakta, gerekli işçilik maliyetlerini azaltmakta ve çalışanların verimliliğini arttırmaktadır.

## **5.1. Uygulama Yeri**

Tez çalışması, Ankara İvedik OSB'de 1500 m<sup>2</sup>'lik kapalı alana sahip Türk savunma sanayisine talaşlı üretim yapan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Fabrika 2007 yılında ilk olarak madencilik sektörü için üretimler yapmak amacıyla kurulmuştur. Ancak sürekli gelişen savunma sanayisinin ihtiyaçlarını karşılamak ve büyüme elde etmek amacıyla devlet teşviği yardımıyla 2017 yılında itibaren üretim hattını baştan tasarlamıştır. İşletme 34'ü operatör, 8'i tesviye personeli, 10'u kalite kontrol personeli ve 8'i temizlik personeli olmak üzere toplam 60 personel haftanın 6 günü üç vardiya şeklinde üretim yapmaktadır. Gerekli durumlarda ek mesai yapılmaktadır. İşletmenin üretim tipi siparişe göre üretimdir.

Firmanın üretim bölümünde torna, freze ve beş eksen olmak üzere 3 makine grubundan toplam 15 makine bulunmaktadır. Üretilen parçaların savunma sanayinde kullanılmasından dolayı üretimde çalışan operatörler titiz ve kaliteli iş çıkarmak zorundadır. Bu nedenle operatör seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus operatörün makine bilgisi ve kullanım yetkinliğidir.

Üretimin yanı sıra üretilen parçaların son temizliklerinin yapıldığı tesviye bölümü ve hassas ölçümlerin yapılarak teslimat için hazırlandığı kalite kontrol bölümü de büyük öneme sahiptirler. Ayrıca firmaya sürekli müşteri ziyaretleri olduğu için firma

içerisindeki temizliğe de önem verilmektedir. Bu sebeple bu bölümlerde çalışan personellerin verimlilikleri ve rahat bir ortamda çalışmaları firma için çok önemlidir. Aylık olarak çalışma çizelgeleri hazırlanırken; operatörlerin yetkinlikleri, personellerin özel istekleri ve görevlerin ergonomik risk faktörleri göz önünde bulundurulmaktadır.

## **5.2. Probleminin Tanımı**

Bu çalışmada, 2 ayrı matematiksel model ve 2 amaç bulunmaktadır. Birinci amaç, operatörleri yetkinliklerine göre makinelere atayarak dengeli bir çizelge elde etmektir. Bunun için ilk olarak operatörlerin makinelerdeki yetkinlikleri ve özel istekleri tespit edilmiştir. Her bir operatörün fabrika içerisindeki makinelerde yetkinlikleri farklıdır. Bazı operatörler tüm makinelerde çalışırken bazı operatörler sadece belli makinelerde çalışabilmektedir. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak bir aylık vardiyalara atanmalarındaki sapmaları minimize edecek matematiksel model kurulmuştur. Problemin ikinci amacı da üretim dışındaki tesviye, kalite kontrol ve temizlik departmanlarındaki çalışan personellerin görevlere atanmasında risk değerini en küçükleyecek çizelge oluşturmaktır. Bu nedenle, ilk olarak departmanlardaki görevler belirlenmiştir. İkinci olarak REBA yöntemi görevlerin risk değerleri hesaplanarak bu değerler hedef programlama ile modellenmiştir. Model, personel üzerinde oluşacak A, B ve toplam ergonomik yüklerin en küçüklenmesini amaçlayan çok amaçlı bir model olarak kurularak çözülmüştür.

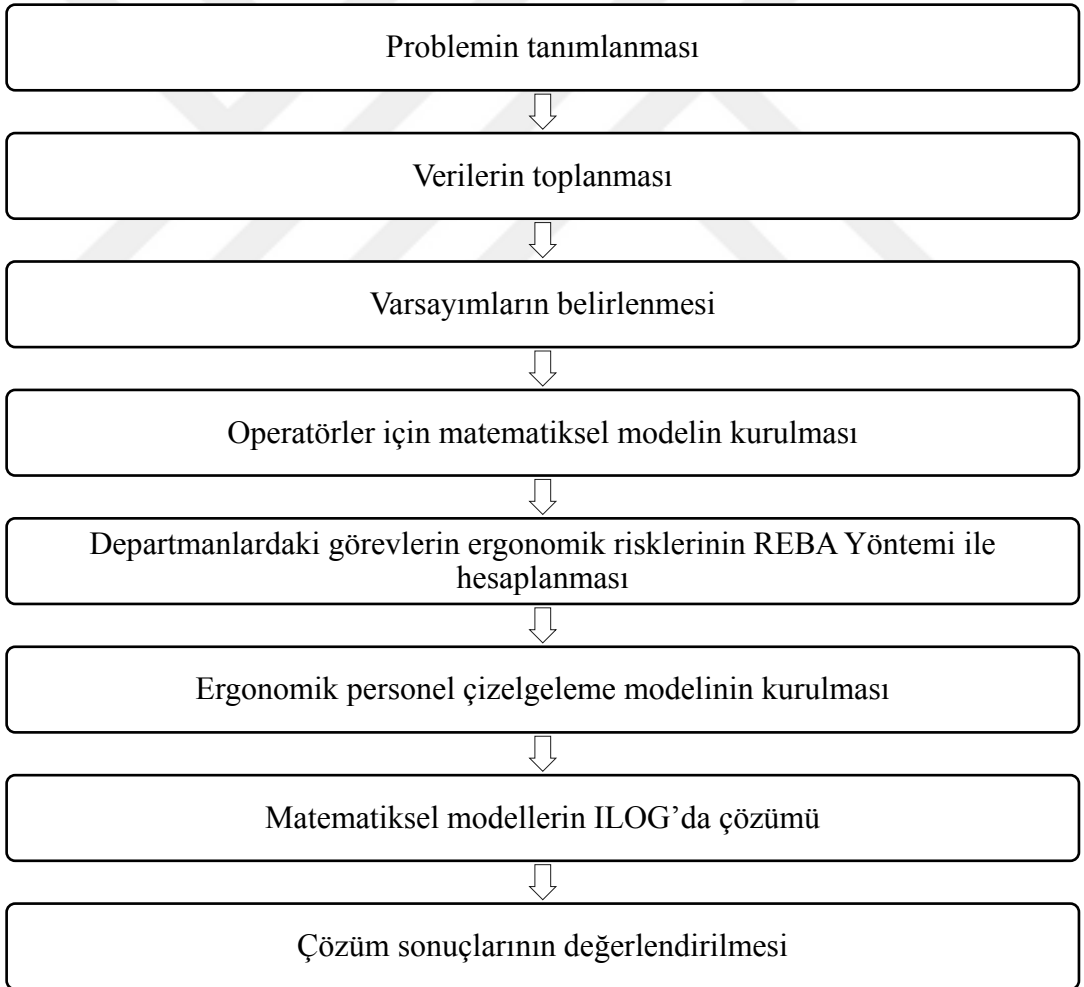
### **5.2.1. Problemin Varsayımları**

Modeller geliştirilirken dikkate alınan varsayımlar şu şekildedir:

- Bir personelin günlük maksimum çalışma süresi 480 dakikadır.
- Operatörler her gün yetkinlikleri oldukları makinelerden sadece birine atanabilmektedir.
- Kalite kontrol, tesviye ve temizlik bölümünde çalışan personeller her gün sadece bir göreve atanabilmektedir.
- Her personel sadece çalıştığı departmandaki görevlere atanabilmektedir.
- Görevlerin gerçekleştirilme süresi önceden belirlenmiştir.

- İşletmenin süreçleri dikkate alınarak bir görevin yerine getirilmesi için gerekli personel sayısı dikkate alınmıştır.
- Her bir görevin ergonomik değerlendirilmesi yapılmış ve REBA yönteminden elde edilen skorlar tespit edilmiştir.
- Problemden REBA skorlarından A, B ve toplam REBA skorunun en küçüklenmesi amaçlanmıştır.
- Her personel çalıştıkları hafta boyunca aynı vardiyaya atanmaktadır.

Problemin akış şeması Şekil 5.1’de verilmiştir. Bu şemaya göre önce uygulama için veriler toplanmıştır. Verilerin toplanmasından sonra varsayımlar belirlenmiştir. Departmanlardaki görevlerin ergonomik riskleri REBA yöntemi ile belirlendikten sonra matematiksel modeller kurulmuştur. Modellerin ILOG Cplex Optimization programında çözülmesi ile elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.



**Şekil 5.1.** Uygulama Akış Şeması

### 5.2.2. Problemin Verileri

Bu tez çalışmasının yapıldığı firmada çalışan toplamda 60 personel kolay ifade edilmesi amacıyla sayılar ile temsil edilmiştir. Bu sayıların hangi personele karşılık geldiği Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Personeller ve Karşılık Gelen Numaralar

Personeller	Personel Numaraları
Operatörler	1,2,...,34
Tesviye Personelleri	35,36,...,42
Kalite Kontrol Personelleri	43,44,...,52
Temizlik Personelleri	53,54,...,60

### 5.2.3. Operatörler İçin Çizelgeleme

Firma, torna-freze ve beş eksen olmak üzere 3 makine grubundan toplam 15 makineye sahiptir. Bu makinelerde toplamda 34 operatör çalışmaktadır. Her makinenin kendine özgü farklı özellikleri bulunduğu için her operatör her makine hakkında yeterli bilgi birikimi ve kullanma tecrübesine sahip değildir. Aşağıda verilen Çizelge 5.2.'de hangi operatörlerin hangi makinelerde yetkinliği olduğu gösterilmiştir. Bu tabloda 1-4 arası makine torna grubunu, 5-12 freze grubunu ve 13-15 beş eksen CNC makinelerini temsil etmektedir.

Çizelge 5.2. Operatörlerin Makine Yetkinlikleri

		OPERATÖRLER																																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
MAKİNELER	1	√	√	√	√		√	√	√	√		√																										
	2	√	√	√	√		√	√	√	√		√																										
	3	√	√	√	√	√	√	√			√	√	√																									
	4	√	√	√	√	√	√				√	√	√																									
	5	√	√	√										√	√	√	√	√	√		√	√	√	√		√			√		√				√			
	6	√	√	√										√	√	√	√	√	√		√	√	√	√		√			√		√				√			
	7	√	√	√										√	√	√	√	√	√		√	√	√	√		√			√		√	√			√			
	8	√	√	√										√	√	√	√	√	√		√	√	√	√		√			√		√	√			√			
	9	√	√	√										√	√	√	√	√	√		√	√	√	√		√			√		√	√			√			
	10	√	√	√											√	√	√		√	√	√		√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	
	11	√	√	√											√		√		√	√	√		√	√	√	√	√	√		√		√	√	√	√	√	√	
	12	√	√	√											√		√		√	√	√		√	√	√	√	√	√		√		√	√	√	√	√	√	
	13	√	√	√																										√	√	√	√				√	
	14	√	√	√																										√	√	√	√				√	√
	15	√	√	√																										√	√	√	√	√	√	√	√	√

**Parametreler:**

i=operatör (1,...34)

j= gün (1,...,28)

k= vardiya (1,2,3)

l= makine (1,...,15)

**Karar Değişkenleri:**

$x_{ijkl} = \begin{cases} \text{i. operatör j. gün k. vardiyada l. makineye atanırsa 1,} \\ \text{diğer durumlarda 0} \end{cases}$

$\forall i, \forall j, \forall k, \forall l$

$h_{ij} = \begin{cases} \text{i. operatör j. gün izinliyse 1,} \\ \text{diğer durumlarda 0} \end{cases}$

$\forall i, \forall j$

$d1_i^+ = \text{Hedef 1'in pozitif sapması}$

$d2_i^+ = \text{Hedef 2'nin pozitif sapması}$

$d3_i^+ = \text{Hedef 3'ün pozitif sapması}$

$d1_i^- = \text{Hedef 1'in negatif sapması}$

$d2_i^- = \text{Hedef 2'nin negatif sapması}$

$d3_i^- = \text{Hedef 3'ün negatif sapması}$

**Amaç Fonksiyonu:**

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{34} (d1_i^+ + d1_i^- + d2_i^+ + d2_i^- + d3_i^+ + d3_i^-) \quad (5.1)$$

**Kısıtlar:**

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{15} x_{ijkl} \leq 1 \quad \forall i, j \mid j=7,14,21,28 \quad (5.2)$$

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{k=1}^3 x_{ijkl} \leq 5 \quad \forall l, j \mid 7,14,21,28 \quad (5.3)$$

$$x_{ijkl} \leq T_{il} \quad \forall i, k, l, j \mid 7,14,21,28 \quad (5.4)$$

$$x_{4j3l} = 0 \quad \forall l, j \mid 7,14,21,28 \quad (5.5)$$

$$x_{13j3l} = 0 \quad \forall l, j \mid 7,14,21,28 \quad (5.6)$$

$$x_{28j3l} = 0 \quad \forall l, j \mid 7,14,21,28 \quad (5.7)$$

$$(h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)}) \geq 1$$

$$\forall i \quad j = 1, \dots, 22 \mid 7,14,21 \quad (5.8)$$

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{15} x_{ijkl} = (1 - h_{ij}) \quad \forall i, j \mid 7,14,21,28 \quad (5.9)$$

$$\sum_{l=1}^{15} (x_{ijkl} - x_{i(j+1)kl} - h_{i(j+1)}) \leq 0 \quad \forall i, j \mid 7,14,21,28, k \quad (5.10)$$

$$h_{8j} = 1 \quad j = 8, \dots, 13 \quad (5.11)$$

$$h_{12j} = 1 \quad j = 15, \dots, 27 \quad (5.12)$$

$$\sum_{j=1}^{28} \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{15} x_{ijkl} - d1_i^+ + d1_i^- = 24 \quad \forall i \quad (5.13)$$

$$\sum_{j=1}^{28} \sum_{l=1}^{15} x_{ij2l} - d2_i^+ + d2_i^- = 6 \quad \forall i \quad (5.14)$$

$$\sum_{j=1}^{28} \sum_{l=1}^{15} x_{ij3l} - d3_i^+ + d3_i^- = 6 \quad \forall i \quad (5.15)$$

Önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu (5.1) operatörlerin bir aylık çizelgede atandıkları vardiya 1, vardiya 2 ve toplam vardiya sayısındaki sapmaları en küçüklemeyi hedeflemektedir. Kısıt (5.2) her operatörün her gün sadece bir vardiyaya ve bir makineye atanması gerektiğini göstermektedir. Her gün her makineye bütün vardiyalar boyunca atanacak operatör sayısı (5.3) ile sağlanmaktadır. Operatörlerin yetkinliğinin olduğu makine/makinelere atanması (5.4) kısıtı ile gerçekleşmektedir. 4'üncü, 13'üncü ve 28'inci personeller özel sebeplerden dolayı vardiya 3'e atanmak istememektedir. Bu özel durum (5.5), (5.6) ve (5.7) kısıtı ile sağlanmaktadır. (5.8) ile operatörün ardı ardına 6 günden fazla çalışmaması ve operatörün izinli olduğu gün çalışmaması (5.9) ile sağlanmaktadır. Operatörlerin haftalık olarak tek vardiyaya

atanması (5.10) ile gerçekleşmektedir. (5.11) kısıtı 8'inci operatörün 8-13. günler arasında senelik izinde olmasını ve (5.12) 12'inci operatörün 15-27. günler arası senelik izinde olmasını sağlamaktadır. (5.13), (5.14) ve (5.15) amaç fonksiyonunu etkileyen kısıtlardır ve bu kısıtlarda oluşacak negatif ve pozitif sapmalar operatörlerin bir aylık çalışmasında vardiyalardan sapmaları belirlemeyi sağlayacaktır.

#### **5.2.4. Departmanlar İçin Çizelgeleme**

Üretimden sonra parçaların son temizlik işlemleri tesviye bölümünde yapılmaktadır. Tesviye bölümünde toplamda 8 personel, 3 vardiyada görev almaktadır. Hassas ölçümlerin yapılarak teslimat için hazırlandığı kalite kontrol bölümünde 10 personel 2 vardiya şeklinde çalışmaktadır. Firma sürekli müşterilerin uğrak yeri olduğu için temizliğe büyük önem verilmektedir. Temizlik için 8 personel vardiya 1 ve vardiya 2'de görev yapmaktadır. Bu 3 departmanda yapılan toplam 10 görev aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

Firmada üretimi yapılan parçaların kenarlarında çapaklar kalmaktadır ve bu da üretilen parçanın hem ölçümünde hata yapılmasına hem de diğer dış proseslerde (kaplama, kumlama, boya, tahribatsız muayene gibi) sorun çıkmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle tesviye bölümünde son çapak alma işlemi yapılmaktadır. Ayrıca parçalara diş açmak için kılavuz çekilmekte ve açılan dişlinin uzun süre kullanılması için helicoil takılmaktadır. Bu görevlerin gerçekleşmesinde daha çok kol gücü gereklidir. Bu nedenle bu 3 görevin Grup B puanı ( üst kol- alt kol- bilek) daha yüksek çıkmıştır.

Firmada üretilen her parça her aşamada kalite kontrolden geçmektedir. Firmaya giriş yapan hammaddelere ilk olarak giriş kalite kontrol yapılmaktadır. Giriş kalite kontrolde hammaddeler kaldırılır, taşınır ve ölçümü yapılır. Hammaddelerin giriş alanından alınıp ölçüm noktasına taşınmasında beden gücü çok fazla gereklidir. Daha sonra hammaddeler teknik resimlere uygun şekilde makinelerde işlem görmektedir. Makine başında operatör ile birlikte üretilen parçaların ara kontrolleri yapılmaktadır. Bu ara kontrolün yapılmasındaki en büyük amaç oluşabilecek hataya yerinde ve anında müdahale etmektir. Üretimi bitip tesviye bölümünde temizlikleri yapılan tüm parçalar %100 ölçüme tabi tutulmaktadır. Ölçüm yapılırken; parçanın hassas, manuel olarak ölçümü zor ölçüleri hassas ölçüm cihazı olan CMM cihazıyla ölçülürken manuel ölçümleri yapılacak ölçüler kumpas, mikrometre, mihengir gibi ölçüm aletleri ile yapılmaktadır. Ölçümü ve kaynağında muayenesi tamamlanan ürünler sevkiyata

hazırlanır. Hassas olan parçaların sevkiyatta herhangi bir zarar görmemesi için özenle paketlenmesi ve her ürünün izlenebilirliğinin sağlanması için ayrı ayrı etiketlenmesi gerekir. Paketleme ve etiketleme işlemi daha çok eğilip doğrulama eylemi gerektirdiği için REBA puanı çok yüksek çıkmaktadır. Bu 4 görevin yapılmasında daha çok beden gücüne ihtiyaç duyulduğu için REBA skorları ortalamanın üzerindedir.

Firma savunma sanayisine çalışmakta olduğu için en küçük hataya karşı hem müşteriler hem de firma çalışanları büyük özveriyle çalışmaktadır. Üretilen parçalar büyük projelerin parçaları olduğu için müşteriler üretimi yalından takip etmek, hataları minimize seviyede tutmak ve kaliteyi ön plana çıkarmak için sık sık firma ziyaretinde bulunmaktadır. Bu ziyaretlerde müşterilerin gözünde firma imajını arttırmak için temizliğe büyük önem verilmektedir. Her gün tüm firma süpürülmekte, paspaslanmakta ve toz alınmaktadır. Bu görevlerden yer süpürme diğer iki göreve nazaran daha çok beden gücü gerektirmektedir. Yer süpürme görevinin REBA skoru ortalamanın üzerindedir.

3 departmanda toplamda yapılan 10 görevin; hangi departmanlara ait olduğu, görev numaraları, hangi vardiyalarda yapılacağı ve her görev için vardiyalarda kaç personelin bulunması gerektiği Çizelge 5.3.'de belirtilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Tesviye, Kalite Kontrol ve Temizlik Departmanları Görev, Vardiya ve Gerekli Personel Bilgisi

Departman	Görev No.	Görevler	Vardiyalar			Gerekli Personel Sayısı
			1	2	3	
Tesviye	1	Çapak alma	√	√		2
	2	Kılavuz çekme	√		√	1
	3	Yüzey parlatma		√	√	1
Kalite Kontrol	4	Giriş kalite kontrol	√	√		1
	5	Operatörler ile ara kontrol	√	√		1
	6	Parçaların ölçülmesi	√			2
	7	Etiketleme ve kolileme	√	√		2
Temizlik	8	Yer süpürme	√			2
	9	Paspaslama	√	√		2
	10	Toz alma	√			2

Bu görevlerin Grup A (Gövde – boyun – bacaklar), Grup B (üst kol – alt kol – bilek) ve REBA skorları ile görev süreleri Çizelge 5.4.'de verilmiştir. 10 görevin Skor A ortalaması 5 ve Skor B ortalaması 5 bulunmuştur. Skor A ve Skor B'nin REBA yöntemindeki tablosu kullanılarak elde edilen Skor C'ye Aktivite skoru da eklenerek her görevin REBA puanı hesaplanmıştır. 10 görevin REBA ortalaması da 7 bulunmuştur. Matematiksel modelin hedef kısıtları için her bir departmanın REBA ortalaması ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tesviye departmanının REBA ortalaması 7; kalite kontrol departmanının REBA ortalaması 9 ve temizlik departmanının REBA ortalaması 6 olarak bulunmuştur.



Çizelge 5.4. Görevlerin REBA Skorları

Görev No.	Görevler	Grup A			Toplam	Yük Kuvvet	Skor A	Grup B			Toplam	Kavrama	Skor B	Skor C	Aktivite Skoru	REBA Skoru	REBA Ortalaması	Görev Süresi (Dk)	
		Gövde	Boyun	Bacaklar				Üst Kol	Alt Kol	Bilek									
1	Çapak alma	2	2+1	1	4	0	4	3	2	1+1	5	0	5	5	1+1	7	7	475	
2	Kılavuz çekme	2+1	1+1	1	4	0	4	3+1	2	2+1	7	0	7	7	1	8		390	
3	Yüzey parlatma	2+1	2+1	1	5	0	5	2	2	1	2	0	2	4	1+1	6		430	
4	Giriş kalite kontrol	4	1	1+2	6	0	6	2	1	1+1	2	2	4	7	1	8	9	360	
5	Operatörler ile ara kontrol	1	2+1	1+2	5	0	5	3+1	2	2+1	7	1	8	8	0	8		383	
6	Parçaların ölçülmesi	2	2+1	1	4	0	4	3+1	2	2+1	7	1	8	8	1	9		473	
7	Etiketleme ve kolileme	3+1	2+1	1+1	7	1	8	3+1	1	1+1	5	1	6	10	1+1	12		310	
8	Yer süpürme	3+1	2+1	1+1	7	0	7	2+1	1	1	3	0	3	7	1+1	9	6	253	
9	Paspaslama	2+1	1	1	2	0	2	2+1	2	2+1	5	0	5	4	1	5		280	
10	Toz alma	2	1	1	2	0	2	1+1	1	1+1	2	0	2	2	1	3		440	
							5								5				7

**Parametreler:**

i=personel (35,...,60)

j= gün (1,...,28)

k= vardiya (1,2,3)

l= görev (1,...,10)

**Karar Değişkenleri:**

$y_{ijkl} = \begin{cases} \text{i. personel j. gün k. vardiyada l. göreve atanırsa 1,} \\ \text{diğer durumlarda 0} \end{cases}$

$\forall i, \forall j, \forall k, \forall l$

$h_{ij} = \begin{cases} \text{i. personel j. gün izinliyse 1,} \\ \text{diğer durumlarda 0} \end{cases}$

$\forall i, \forall j$

$T_{kl} = \text{k. vardiyada l. görev için gerekli personel sayısı}$

$d1_i^+ = \text{Tesviye departmanı REBA puan hedefinden pozitif sapma}$

$d2_i^+ = \text{Kalite kontrol departmanı REBA puan hedefinden pozitif sapma}$

$d3_i^+ = \text{Temizlik departmanı REBA puan hedefinden pozitif sapma}$

$d1_i^- = \text{Tesviye departmanı REBA puan hedefinden negatif sapma}$

$d2_i^- = \text{Kalite kontrol departmanı REBA puan hedefinden negatif sapma}$

$d3_i^- = \text{Temizlik departmanı REBA puan hedefinden negatif sapma}$

$R1_j = \text{Tesviye departmanı REBA puan ortalaması}$

$R2_j = \text{Kalite Kontrol departmanı REBA puan ortalaması}$

$R3_j = \text{Temizlik departmanı REBA puan ortalaması}$

**Amac Fonksiyonu:**

$$\text{Min } z = \sum_{i=35}^{60} (d1_i^+ + d2_i^+ + d3_i^+) \quad (5.16)$$

### **Kısıtlar:**

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{10} y_{ijkl} = 1 \quad \forall i, j \mid 7,14,21,28 \quad (5.17)$$

$$y_{ijkl} = 0 \quad i = 35, \dots, 42 \quad \forall j \mid 7,14,21,28 \quad \forall k, \quad \forall l \mid 1,2,3,4 \quad (5.18)$$

$$y_{ijkl} = 0 \quad i = 43, \dots, 52 \quad \forall j \mid 7,14,21,28 \quad \forall k, \quad \forall l \mid 5,6,7 \quad (5.19)$$

$$y_{ijkl} = 0 \quad i = 53, \dots, 60 \quad \forall j \mid 7,14,21,28 \quad \forall k, \quad \forall l \mid 8,9,10 \quad (5.20)$$

$$\sum_{i=35}^{60} y_{ijkl} \geq T_{kl} \quad \forall j \mid 7,14,21,28 \quad \forall k \quad (5.21)$$

$$h_{i7} = 1 \quad \forall i \quad (5.22)$$

$$h_{i14} = 1 \quad \forall i \quad (5.23)$$

$$h_{i21} = 1 \quad \forall i \quad (5.24)$$

$$h_{i28} = 1 \quad \forall i \quad (5.25)$$

$$\sum_{l=1}^{10} (y_{ijkl} - y_{i(j+1)kl}) - h_{i(j+1)} \leq 0 \quad \forall i \quad \forall j \mid 7,14,21,28 \quad \forall k \quad (5.26)$$

$$y_{42j3l} = 0 \quad \forall j \mid 7,14,21,28 \quad \forall l \quad (5.27)$$

$$y_{55jk10} = 1 \quad \forall j \mid 7,14,21,28 \quad \forall k \quad (5.28)$$

$$\sum_{j=1}^{28} \sum_{l=1}^{10} y_{ij2l} \leq 12 \quad \forall i \quad (5.29)$$

$$\sum_{j=1}^{28} \sum_{l=1}^{10} y_{ij3l} \leq 12 \quad \forall i \quad (5.30)$$

### **Hedef Kısıtları:**

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{10} y_{ijkl} * t_l * R1_j - d1_i^+ + d1_i^- = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{10} y_{ijkl} * t_l * 7 \quad (5.31)$$

$$i = 35,36, \dots, 42, j \mid 7,14,21,28$$

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{10} y_{ijkl} * t_l * R2_j - d2_i^+ + d2_i^- = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{10} y_{ijkl} * t_l * 9 \quad (5.32)$$

$$i = 43,44, \dots, 52, j \mid 7,14,21,28$$

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{10} y_{ijkl} * t_l * R3_j - d3_i^+ + d3_i^- = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{10} y_{ijkl} * t_l * 6 \quad (5.33)$$

$$i = 53,54, \dots, 60, j | 7,14,21,28$$

Önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu (5.16) tesviye, kalite kontrol ve tesviye departmanlarındaki REBA puanlarındaki pozitif sapmayı enküçükleyecek ergonomik risk değerleri minimum olacak görevlere atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (5.17) her personelin her gün sadece bir vardiyaya atanması gerektiğini göstermektedir. (5.18), (5.19) ve (5.20) kısıtları ile her personelin kendi departmanı dışındaki görevlere atanmaması sağlanmaktadır. Her gün her vardiyada her görev için gerekli olan personel sayısı (5.21) ile karşılanmaktadır. Her personelin ayın 7'inci, 14'üncü, 21'inci ve 28'inci günlerinde çalışmaması (5.22), (5.23), (5.24), (5.25) kısıtları ile sağlanmaktadır. Personellerin haftalık olarak tek vardiyaya atanması (5.26) ile gerçekleşmektedir. 42'inci personel özel sebeplerden dolayı vardiya 3'e atanmak istememektedir. Bu özel durum (5.27) kısıtı ile sağlanmaktadır. 55'inci personelin isteği doğrultusunda sadece 10'uncu göreve atanması (5.28) ile gerçekleşmektedir. Her personelin aylık olarak Vardiya 2'ye 12 kez atanması (5.29) kısıtı ile, Vardiya 3'e 12 kez atanması (5.30) kısıtı ile sağlanmaktadır. (5.31), (5.32) ve (5.33) amaç fonksiyonunu etkileyen kısıtlardır ve bu kısıtlarda oluşacak negatif ve pozitif sapmalar personelin ergonomik risk değerini enküçükleyecek görevlere atanmasındaki sapmaları belirlemeyi sağlayacaktır.

### 5.2.5. Matematiksel Modellerin Sonuçları

Problemler için kurulan matematiksel modellerin çözümünde “Intel (R) Core (TM) i5-4210U CPU@1.70 GHz 2.40 GHz” işlemcisi, 8.00GB belleği, 64 bit İşletim Sistemi ve Windows 10 sürümüne sahip bilgisayar kullanılmıştır. İlgili verilerin girilmesiyle modeller ILOG CPLEX Studio IDE programına yazılmış ayrı ayrı yazılmış ve CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür.

Modellerin sonuçlarına göre operatörler için yapılan yeni aylık ergonomik çizelge Çizelge 5.5'de verilmiştir. Çizelge 5.5'e bakıldığında her bir operatörün bir aylık çizelgede hangi gün hangi vardiyada hangi makinaya atandığı net olarak görülmektedir. Tablodaki “V1” Vardiya-1'e, “V2” Vardiya-2'ye ve “V3” Vardiya-3'e denk gelmektedir. Operatörlerin hangi makinalara atandığı 1-15 arasında makinalara

karşılık gelen sayılar ile ifade edilmiştir. 1-4 arası makine torna grubunu, 5-12 freze grubunu ve 13-15 beş eksen CNC makinelerini temsil etmektedir.

**Çizelge 5.5. Operatörler İçin Aylık Vardiya Çizelgesi**

		GÜNLER																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1	V 1	5	4	9	7	6	10									9	4	10	12	3	14									
	V 2							2	9	11	2	8	1																	
	V 3																						3	11	14	1	1	1	1	
2	V 1	5	12	1	7	9	13																2	11	11	12	12	9		
	V 2															12	9	13	9	13	11									
	V 3							15	8	8	11	14	12																	
3	V 1	1	10	13	12	11	3	6	14	13	11	11	3																	
	V 2																						7	14	1	15	3	1		
	V 3															4	9	2	7	3	4									
4	V 1							1	2	1	3	1	4		4	3	4	1	2	2		3	4	2	4	2	3			
	V 2	1	2	1	4	3	1																							
	V 3																													
5	V 1							3	3	3	4	4	3										3	4	4	4	3	4		
	V 2															4	4	3	4	4	4									
	V 3	3	3	4	4	3	3																							
6	V 1	1	2	2	4	3	4	4	3	4	4	2	2																	
	V 2																						4	2	4	2	2	4		
	V 3															2	3	1	1	1	2									
7	V 1	1	3	2	3	2	2									1	3	1	2	3	3									
	V 2																						1	2	2	3	1	1		
	V 3							3	3	1	3	2	3																	
8	V 1	1	1	2	1	2	2																							
	V 2																						2	2	2	2	2	1		
	V 3															1	2	2	1	2	2									

Çizelge 5.5. (devamı...) Operatörler İçin Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
9	V 1								3	3	4	4	4	1		4	1	3	3	3	2								
	V 2																						3	2	4	2	4	3	
	V 3	4	3	2	3	2	3																						
10	V 1															4	3	3	3	4	3		4	4	3	4	4	4	
	V 2								3	4	3	3	3	3															
	V 3	3	4	4	3	4	3																						
11	V 1	2	3	2	2	1	1		2	2	3	3	2	2															
	V 2															1	4	3	2	3	2								
	V 3																						3	2	2	3	4	1	
12	V 1																												
	V 2	7	6	9	8	6	7																						
	V 3								7	5	8	6	9	6															
13	V 1	1	0	8	7	1	6	1	7	8	1	1	1	0	8		5	1	1	7	7	7							
	V 2																						9	6	6	1	9	1	0
	V 3																												
14	V 1								9	9	6	5	7	8									6	6	1	9	1	9	
	V 2	9	1	0	7	8	7	9																					
	V 3															1	1	5	9	7	9								
15	V 1	1	1	1	1	7	6																7	1	1	6	1	7	
	V 2															5	1	1	1	0	6	5							
	V 3								5	6	7	5	1	1															
16	V 1	5	8	8	9	5	8																5	6	6	8	6	7	
	V 2								6	7	5	9	5	8															
	V 3															6	8	7	9	5	5								

Çizelge 5.5. (devamı...) Operatörler İçin Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
17	V 1	9	5	7	1	1	1									9	5	8	7	1	2	5								
	V 2								6	8	6	5	1	1																
	V 3																							1	0	8	1	7	1	6
18	V 1								1	1	1	1	1	1										1	1	1	1	1	1	
	V 2	1	1	1	1	1	1																							
	V 3																1	1	1	1	1	1								
19	V 1								1	8	1	9	9	6										5	9	8	1	1	7	
	V 2															9	1	1	1	9	5	8								
	V 3	1	1	5	1	1	6																							
20	V 1	8	8	5	7	5	8		7	5	7	9	7	6																
	V 2																							6	8	6	8	6	6	
	V 3																5	9	5	8	6	5								
21	V 1	5	7	8	1	1	5																1	2	5	8	1	1	2	
	V 2															6	1	1	2	5	8	5								
	V 3								1	8	7	6	5	9																
22	V 1	5	2	7	7	2	2																1	2	1	0	9	7	1	1
	V 2								1	1	5	5	1	6																
	V 3															1	6	8	6	1	2	8								
23	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1																
	V 2															1	2	2	2	1	1	1								
	V 3																							1	1	1	1	2	1	2
24	V 1								5	7	5	9	1	2									8	1	2	2	6	7	9	
	V 2															1	1	5	1	1	1									
	V 3	9	1	5	1	2	1																							

Çizelge 5.5. (devamı...) Operatörler İçin Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
25	V 1								1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	
	V 2															1	1	1	1	1	1								
	V 3	1	1	1	1	1	1																						
26	V 1	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1								
	V 2																						1	1	1	1	1	1	1
	V 3								1	1	1	1	1	1															
27	V 1															7	6	8	9	6	8		5	5	4	7	3	3	
	V 2								9	6	5	6	5	5															
	V 3	9	7	8	3	4	3																						
28	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1								
	V 2																						1	1	1	1	1	1	1
	V 3																												
29	V 1															1	1	1	1	1	1		1	1	1	6	7	4	
	V 2	1	1	7	5	3	8																						
	V 3								9	3	4	0	9	4															
30	V 1								1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	
	V 2															1	2	9	1	1	5	7	7						
	V 3	1	7	8	7	0	9																						
31	V 1								1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	
	V 2															1	5	1	0	1	5	0	1	1					
	V 3	1	1	1	1	1	1																						
32	V 1															1	5	6	1	5	8	6	1	1	1	1	1	1	
	V 2								1	2	9	8	8	8	1	0													
	V 3	9	5	2	1	5	8																						
33	V 1								1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	
	V 2															1	4	1	3	1	3	4	1	1					
	V 3	1	1	1	1	1	1																						

**Çizelge 5.5. (devamı...) Operatörler İçin Aylık Vardiya Çizelgesi**

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
34	V1								1	1	1	1	1	1															
	V2	1	1	1	1	1	1																						
	V3															1	1	1	1	1	1								

Çizelge 5.5'e bakıldığında 34 operatörün kurulan matematiksel modeldeki kısıtları sağlayacak şekilde her bir operatörün bir aylık çizelgede hangi gün hangi vardiyada hangi makineye atandığı net olarak görülmektedir. Tablodaki "V1" Vardiya-1'e, "V2" Vardiya-2'ye ve "V3" Vardiya-3'e denk gelmektedir. Operatörlerin hangi makinalara atandığı 1-15 arasında makinalara karşılık gelen sayılar ile ifade edilmiştir. 1-4 arası makine torna grubunu, 5-12 freze grubunu ve 13-15 beş eksen CNC makinelerini temsil etmektedir.

Her operatör sadece yetkin olduğu makinelere haftanın 6 günü 3 vardiya şeklinde atanmıştır. 7'inci, 14'üncü, 21'inci ve 28'inci günler tüm operatörler için izin günüdür ve hiçbir şekilde atama yapılmamıştır. 8'inci operatörün 8-13'üncü günler arası izinli olması ve 12'inci operatörün 15-27'inci günler arası izinli olması kısıtı sağlanmıştır. Her operatörün çalışma haftası boyunca sadece tek vardiyaya atandığı görülmüştür. Ayrıca 4'üncü, 13'üncü ve 28'inci operatörler istekleri üzerine 3'üncü vardiyaya atanmadıkları kısıtının sağlandığı görülmektedir.

**Çizelge 5.6.Operatörlerin Aylık Atandıkları Vardiya Sayıları**

Operatör	V1	V2	V3	Toplam Vardiya
1	12	6	6	24
2	12	6	6	24
3	12	6	6	24
4	18	6	-	24
5	12	6	6	24
6	12	6	6	24
7	12	6	6	24
8	6	6	6	18
9	12	6	6	24

**Çizelge 5.6. (devamı...) Operatörlerin Aylık Atandıkları Vardiya Sayıları**

<b>Operatör</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>Toplam Vardiya</b>
10	12	6	6	24
11	12	6	6	24
12	-	6	6	12
13	18	6	-	24
14	12	6	6	24
15	12	6	6	24
16	12	6	6	24
17	12	6	6	24
18	12	6	6	24
19	12	6	6	24
20	12	6	6	24
21	12	6	6	24
22	12	6	6	24
23	12	6	6	24
24	12	6	6	24
25	12	6	6	24
26	12	6	6	24
27	12	6	6	24
28	18	6	-	24
29	12	6	6	24
30	12	6	6	24
31	12	6	6	24
32	12	6	6	24
33	12	6	6	24
34	12	6	6	24

Operatörlerin aylık olarak vardiyalara atanma sayıları ve toplam atandıkları vardiya sayısı Çizelge 5.6'da gösterilmiştir. Çizelgede verilen toplam vardiya sayılarına bakıldığında tüm operatörler için aylık toplam vardiya sayıları mümkün olduğunca eşit ve dengeli olarak dağıtılmıştır. Bu tabloda görüldüğü üzere vardiya sayısı hedefindeki en büyük negatif sapma 12 iken en küçük negatif sapma 0'dır. 4'üncü, 13'üncü ve 28'inci operatörlerin özel isteği olan 3'üncü vardiyalara atanmaması matematiksel modelle sağlanmıştı. Bu çizelgeye bakıldığında eşit ve dengeli atanmaları için diğer operatörler gibi toplam vardiya sayısı 24 olacak şekilde bir atanmanın gerçekleştiği görülmektedir. Modelin amaç fonksiyonu değeri 36 olarak bulunmuştur.

Departmanlardaki diğer personeller için ergonomik risk değerleri göz önünde bulundurularak kurulan matematiksel modellin çözdürülmesi sonucu elde edilen yeni aylık personel çizelgesi Çizelge 5.7’de verilmiştir.

**Çizelge 5.7.** Departmanlardaki Personeller İçin Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
35	V 1	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	1							
	V 2								1	1	1	1	1	1										1	1	1	1	1	1
	V 3																												
36	V 1								1	1	1	1	1	1										1	1	1	1	1	1
	V 2	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	1							
	V 3																												
37	V 1								2	2	2	2	2	2										2	2	2	2	2	2
	V 2																												
	V 3	2	2	2	2	2	2									2	2	2	2	2	2	2							
38	V 1																												
	V 2								3	3	3	3	3	3										3	3	3	3	3	3
	V 3	3	3	3	3	3	3									3	3	3	3	3	3	3							
39	V 1																												
	V 2	3	3	3	3	3	3									3	3	3	3	3	3	3							
	V 3								3	3	3	3	3	3										3	3	3	3	3	3
40	V 1	2	2	2	2	2	2									2	2	2	2	2	2								
	V 2																												
	V 3								2	2	2	2	2	2										2	2	2	2	2	2
41	V 1	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	1							
	V 2								1	1	1	1	1	1										1	1	1	1	1	1
	V 3																												

**Çizelge 5.7. (devamı...) Departmanlardaki Personeller İçin Aylık Vardiya Çizelgesi**

		GÜNLER																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
42	V 1								1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1		
	V 2	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1									
	V 3																													
43	V 1	4	4	4	4	4	4																4	4	4	4	4	4	4	
	V 2							4	4	4	4	4	4	4		4	4	4	4	4	4	4								
	V 3																													
44	V 1	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5																
	V 2															5	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5	
	V 3																													
45	V 1	6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6	6	
	V 2																													
	V 3																													
46	V 1	6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6	6	
	V 2																													
	V 3																													
47	V 1	7	7	7	7	7	7																7	7	7	7	7	7	7	
	V 2							7	7	7	7	7	7	7		7	7	7	7	7	7	7								
	V 3																													
48	V 1	7	7	7	7	7	7		7	7	7	7	7	7																
	V 2															7	7	7	7	7	7	7		7	7	7	7	7	7	
	V 3																													
49	V 1							4	4	4	4	4	4	4		4	4	4	4	4	4									
	V 2	4	4	4	4	4	4																4	4	4	4	4	4	4	
	V 3																													

Çizelge 5.7. (devamı...) Departmanlardaki Personeller İçin Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
50	V 1															5	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5		
	V 2	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5																
	V 3																													
51	V 1															7	7	7	7	7	7		7	7	7	7	7	7		
	V 2	7	7	7	7	7	7		7	7	7	7	7	7																
	V 3																													
52	V 1								7	7	7	7	7	7		7	7	7	7	7	7									
	V 2	7	7	7	7	7	7																7	7	7	7	7	7		
	V 3																													
53	V 1	8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8		
	V 2																													
	V 3																													
54	V 1	9	9	9	9	9	9																9	9	9	9	9	9		
	V 2								9	9	9	9	9	9		9	9	9	9	9	9									
	V 3																													
55	V 1	8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8		
	V 2																													
	V 3																													
56	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		
	V 2	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		
	V 3																													
57	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		
	V 2	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		
	V 3																													

**Çizelge 5.7. (devamı...) Departmanlardaki Personeller İçin Aylık Vardiya Çizelgesi**

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
58	V 1							9	9	9	9	9	9		9	9	9	9	9	9									
	V 2	9	9	9	9	9	9																9	9	9	9	9	9	
	V 3																												
59	V 1														9	9	9	9	9	9			9	9	9	9	9	9	
	V 2	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9																
	V 3																												
60	V 1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9																	
	V 2														9	9	9	9	9	9			9	9	9	9	9	9	
	V 3																												

Çizelge 5.7’ e bakıldığında tesviye, kalite kontrol ve temizlik departmanlarında çalışan toplamda 26 personelin yapmış oldukları görevlerin ergonomik risk değerleri göz önünde bulundurularak kurulan matematiksel modeldeki kısıtları sağlayacak şekilde her bir personelin bir aylık çizelgede hangi gün hangi vardiyada hangi göreve atandığı net olarak görülmektedir. Tablodaki “V1” Vardiya-1’e, “V2” Vardiya-2’ye ve “V3” Vardiya-3’e denk gelmektedir. Personellerin hangi görevlere atandığı 1-10 arasında görevlere karşılık gelen sayılar ile ifade edilmiştir. Tesviye departmanındaki çapak alma, kılavuz çekme ve yüzey parlatma görevleri 1-3 arası sayılarla; kalite kontrol departmanındaki giriş kalite kontrol, operatörler ile ara kontrol, parçaların ölçülmesi ve etiketleme ve kolileme görevleri 4-7 arası sayılarla; temizlik departmanındaki yer süpürme, paspaslama ve toz alma görevleri 8-10 arası sayılarla ifade edilmektedir.

Her personel sadece bulunduğu departmandaki görevleri yerine getirecek şekilde haftanın 6 günü 3 vardiya şeklinde atanmıştır. Her görev için her gün her vardiyada gerekli olan personel sayısının karşılanacak şekilde atamanın yapıldığı görülmüştür. 7’inci, 14’üncü, 21’inci ve 28’inci günler tüm personeller için izin günüdür ve hiçbir şekilde atama yapılmamıştır. Her personelin çalışma haftası boyunca sadece tek vardiyaya atandığı görülmüştür. 55’inci personelin kendi isteğiyle sadece 10’uncu göreve atandığı kısıtının sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 5.8'e bakıldığında departmanlardaki personellerin bir aylık çalışma çizelgesinde vardiyalara kaç kez atandığı ve bir ayın sonunda toplam kaç vardiyaya atandığı görülmektedir. Hedef değerler bu ergonomik risk değerine bağlı olduğu için ne kadar düşük ortalama değer elde edilirse modelin sonucunda o kadar düşük bir ergonomik risk personellere yüklenmiş olacaktır.

**Çizelge 5.8. Personellerin Aylık Atandıkları Vardiya Sayıları ve REBA Değerleri**

Departman	Personel	V1	V2	V3	Toplam Vardiya	Görev ve Çalışma Süreleri	Toplam REBA Değeri
Tesviye Departmanı	35	12	12	-	24	1 (475)	11400
	36	12	12	-	24	1 (475)	11400
	37	12	-	12	24	2 (390)	9360
	38	-	12	12	24	3 (430)	10320
	39	-	12	12	24	3 (430)	10320
	40	12	-	12	24	2 (390)	9360
	41	12	-	12	24	1 (475)	11400
	42	12	12	-	24	1 (475)	11400
Kalite Kontrol Departmanı	43	12	12	-	24	4 (360)	8640
	44	12	12	-	24	5 (383)	9192
	45	24	-	-	24	6 (473)	11352
	46	24	-	-	24	6 (473)	11352
	47	12	12	-	24	7 (310)	7440
	48	12	12	-	24	7 (310)	7440
	49	12	12	-	24	4 (360)	8640
	50	12	12	-	24	5 (383)	9192
	51	12	12	-	24	7 (310)	7440
	52	12	12	-	24	7 (310)	7440
Temizlik Departmanı	53	24	-	-	24	8 (253)	6072
	54	12	12	-	24	9 (280)	6720
	55	24	-	-	24	8 (253)	6072
	56	24	-	-	24	10 (440)	10560
	57	24	-	-	24	10 (440)	10560
	58	12	12	-	24	9 (280)	6720
	59	12	12	-	24	9 (280)	6720
	60	12	12	-	24	9 (280)	6720

Personellerin aylık olarak vardiyalara atanma sayıları, toplam atandıkları vardiya sayısı, hangi göreve atandıkları ve aylık çalışma boyunca maruz kaldıkları risk değerleri Çizelge 5.8'de gösterilmiştir. Çizelgede verilen toplam vardiya sayılarına

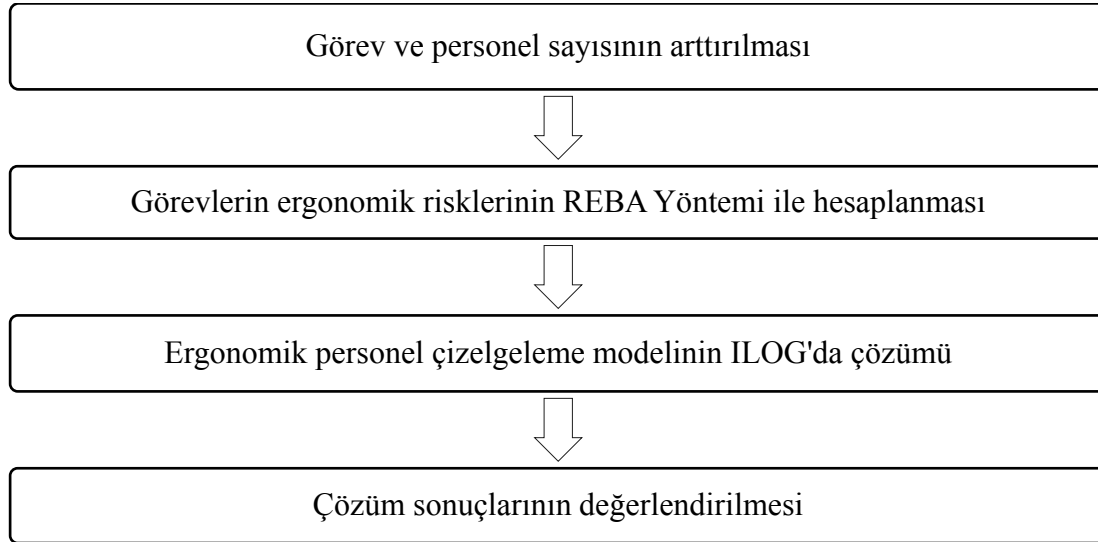
bakıldığında tüm personeller için aylık toplam vardiya sayıları eşit ve dengeli olarak dağıtıldığı görülmektedir. Bu çizelgede görüldüğü üzere vardiya 2 ve vardiya 3'te yapılacak görevler için aylık toplam atama sayısının 12 olduğu görülmektedir. Ayrıca 42'inci personelin 3'üncü vardiyaya atanmadığı görülmektedir. Modelin amaç fonksiyonu değeri 6.018 olarak bulunmuştur.

### 5.3. Görev Sayısı ve Personel Sayısı Arttırılmış Ergonomik Personel Çizelgeleme Problemi

Bu çalışmada; tesviye, kalite kontrol ve temizlik departmanlarındaki 10 görev sayısı 17'ye ve 26 personel sayısı 56'ya yükseltılarak gerçekleştirilmiştir. 17 görevin risk değeri REBA yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu değerler hedef programlama yönteminde kullanılarak personel üzerinde oluşacak A, B ve toplam ergonomik yüklerin en küçüklenmesini amaçlayan model oluşturulmuştur.

#### 5.3.1. Problemin Tanımı

Problemin akış şeması Şekil 5.2'de verilmiştir. İlk uygulamada elde edilen sonuçlar değerlendirilerek personel ve görev sayısı arttırılırsa elde edilen sonucun problemin çözümünü nasıl etkileyeceğini belirlemek amaçlanmıştır. İlk uygulamada kurulan matematiksel modeller görev ve personel sayıları arttırılarak tekrar çözdürülmüştür.



Şekil 5.2. Uygulama Akış Şeması

Personel sayısı arttırıldıktan sonra 3 departmandaki toplamda 56 personel kolay ifade edilmesi amacıyla sayılar ile temsil edilmiştir. Bu sayıların hangi personele karşılık geldiği Çizelge 5.9’da verilmiştir.

**Çizelge 5.9.** Yeni Personeller ve Karşılık Gelen Numaralar

Personeller	Personel Numaraları
Tesviye Personelleri	35,36,...,59
Kalite Kontrol Personelleri	60,61,...,77
Temizlik Personelleri	78,79,...,90

3 departmanda toplamda yapılan 17 görevin; hangi departmanlara ait olduğu, görev numaraları, hangi vardiyalarda yapılacağı ve her görev için vardiyalarda kaç personelin bulunması gerektiği Çizelge 5.10.’da belirtilmiştir.

**Çizelge 5.10.** Tesviye, Kalite Kontrol ve Temizlik Departmanları Görev, Vardiya ve Gerekli Personel Bilgisi

Departman	Görev No.	Görevler	Vardiyalar			Gereken Personel Sayısı
			1	2	3	
Tesviye	1	Çapak alma	√	√		2
	2	Skoçlama	√	√	√	2
	3	Kılavuz çekme	√		√	1
	4	Havşa basma	√	√	√	1
	5	Yüzey parlatma		√	√	1
	6	Helicoil takma	√			1
	7	Parçaları yıkama			√	2
Kalite Kontrol	8	Giriş kalite kontrol	√			1
	9	Operatörler ile ara kontrol	√	√	√	1
	10	Parçaların CMM tezgahına bağlanması	√	√		2
	11	Parçaların manuel ölçülmesi	√			1
	12	Etiketleme ve paketleme	√	√		2
	13	Kolileme ve depolama			√	2
Temizlik	14	Yer süpürme	√	√		2
	15	Paspaslama	√			2
	16	Cam silme	√			2
	17	Toz alma	√	√		2

Eklenen görevler belirlenirken departmanlarda gözlemler yapılmıştır. Tesviye departmanına skoçlama, havşa basma, helicoil takma ve parçaların yıkanması görevleri eklenmiştir. Parçaların yüzeylerindeki pürüzlülüğü almak için sert skoç zımpara ile yapılan işleme skoçlama denilmektedir. Kolların daha sıklıkla kullanıldığı bir işlemdir. Parlatma öncesi yapılması gereken bir işlem olduğundan dolayı bütün vardiyalarda gerçekleştirilebilir. Skoç zımpara ile sürekli olarak ileri-geri işlemi yapılmaktadır. İşleme esnasında delinen deliklerin konik hale getirilmesi işleme havşa basma denir. Ucu konik vida başlığı ile sağa sola çevirme hareketi yapılan bir işlemdir. İmalat ve montaj sırasında çok fazla sök-tak işlemi olan cıvata yataklarının deforme olmasını önlemek amacıyla yataklara helicoil takma işlemi yapılmaktadır. Vida yatağına konulan helicoil çekik yardımıyla vurularak yuvasına yerleştirilmektedir. Yuvasına yerleştirildikten sonra uç kısmındaki parça kırılarak çıkarılmaktadır. İşğe ihtiyaç duyulan bir işlem olmasından dolayı sadece vardiya 1’de gerçekleştirilmektedir. En son parçaların üzerinde kalan yağ, kir, çapak gibi yabancı maddelerden arındırmak için yıkama işlemi eklenmiştir. Yıkama işlemi vardiya 1 ve vardiya 2 de alanı çok meşgul etmemek için sadece vardiya 3’de yapılan bir işlemdir.

Kalite kontrol departmanına parçaların CMM cihazına bağlanması, parçaların manuel ölçülmesi ve kolileme ve depolama işlemleri eklenmiştir. Hassas ölçümlerin yapılmasına olanak sağlayan CMM tezgahına parçaların bağlanması işlemi eklenmiştir. Parçalar ölçüm sonuçlarının doğru olarak alınması için dikkatli ve özenli bir şekilde gerekli aparatlar yardımıyla CMM tezgahına bağlanmaktadır. CMM tezgahının ortamın sıcaklığından etkilenmesinden ve doğru sonuçlar vermemesinden dolayı vardiya 3’de ölçümler yapılamamaktadır. Parçaların manuel olarak ölçülmesi işlemi; CMM tezgahın yardımıyla elde edilemeyen ölçümler gerekli ölçüm aletleri kullanılarak yapılmasıdır. Çok dikkat gerektiren bir işlem olduğu için sadece vardiya 1’de yapılması tercih edilmektedir. Parçaların denetimler sonrası sevk edilmeden önce kolilenmesi ve depolanması işlemi gerçekleştirilmektedir. Kolileme ve depolama işleminde ortamın daha sakin ve alanın geniş olması tercih edildiği için vardiya 3’de gerçekleştirilmektedir. Bu üç görev kalite kontrol departmanına eklenmiştir.

Temizlik bölümüne yer süpürme, paspaslama ve toz alma görevlerine ek olarak cam silme görevi eklenmiştir. Cam silme, daha çok üst vücut kısımlarının çalıştığı bir işlemdir. Sabah mesai süresi başladığında yapılması tercih edilen bir işlem olduğu için sadece vardiya 1’de gerçekleştirilmektedir.

Gözlemler sonucunda eklenen görevlerin REBA skorları hesaplanmıştır. Bu 17 görevin Grup A (Gövde – boyun – bacaklar), Grup B (üst kol – alt kol – bilek) ve REBA skorları ile görev süreleri Çizelge 5.11’de verilmiştir. 17 görevin Skor A ortalaması 5 ve Skor B ortalaması 5 bulunmuştur. Skor A ve Skor B’nin REBA yöntemindeki tablosu kullanılarak elde edilen Skor C’ye Aktivite skoru da eklenerek her görevin REBA puanı hesaplanmıştır. 17 görevin REBA ortalaması da 8 bulunmuştur.

Matematiksel modelin hedef kısıtları için her bir departmanın REBA ortalaması ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tesviye departmanının REBA ortalaması 7; kalite kontrol departmanının REBA ortalaması 9 ve temizlik departmanının REBA ortalaması 7 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.11. Bütün Görevlerin REBA Skorları

Görev No.	Görevler	Grup A			Toplam	Yük Kuvvet	Skor A	Grup B			Toplam	Kavrama	Skor B	Skor C	Aktivite Skoru	REBA Skoru	REBA Ortalaması	Görev Süresi (Dk)	
		Gövde	Boyun	Bacaklar				Üst Kol	Alt Kol	Bilek									
1	Çapak alma	2	2+1	1	4	0	4	3	2	1+1	5	0	5	5	1+1	7	7	475	
2	Skoçlama	2	2+1	1	4	0	4	3	2	2+1	5	0	5	5	1+1	7	7	420	
3	Kılavuz çekme	2+1	1+1	1	4	0	4	3+1	2	2+1	7	0	7	7	1	8	7	390	
4	Havşa basma	2	2+1	1	4	0	4	2+1	2	1+1	5	1	6	6	1+1	8	7	453	
5	Yüzey parlatma	2+1	2+1	1	5	0	5	2	2	1	2	0	2	4	1+1	6	7	430	
6	Helicoil takma	2+1	2	1+1	5	0	5	2	1	1+1	2	2	4	5	1	6	7	421	
7	Parçaları yıkama	2	2+1	1+1	5	1	6	3+1	1	1+1	5	1	6	8	1	9	7	465	
8	Giriş kalite kontrol	4	1	1+2	6	0	6	2	1	1+1	2	2	4	7	1	8	9	360	
9	Operatörler ile ara kontrol	1	2+1	1+2	5	0	5	3+1	2	2+1	7	1	8	8	0	8	9	455	
10	Parçaların CMM tezgahına bağlanması	2+1	2+1	1	5	0	5	2+1	2	2+1	5	0	5	6	0	6	9	440	
11	Parçaların manuel ölçülmesi	2	2+1	1	4	0	4	3+1	2	2+1	7	1	8	8	1	9	9	450	
12	Etiketleme ve paketleme	3+1	2+1	1+1	7	1	8	3+1	1	1+1	5	1	6	10	1+1	12	9	472	
13	Kolileme ve depolama	3+1	2+1	1+2	8	1+1	10	3+1	2	2+1	7	1	8	12	1+1	14	9	435	
14	Yer süpürme	3+1	2+1	1+1	7	0	7	2+1	1	1	3	0	3	7	1+1	9	7	253	
15	Paspaslama	2+1	2+1	1+1	6	0	6	2+1	2	2+1	5	0	5	8	1+1	10	7	280	
16	Cam silme	1	1	1+2	3	0	3	3+1	2	1	5	0	5	4	1	5	7	415	
17	Toz alma	2	1	1	2	0	2	1+1	1	1+1	2	0	2	2	1	3	7	453	
							5						5				8		

### 5.3.2. Problemin Matematiksel Modeli

#### Parametreler:

$i$ =personel (35,...,90)

$j$ = gün (1,...,28)

$k$ = vardiya (1,2,3)

$l$ = görev (1,...,17)

#### Karar Değişkenleri:

$$y_{ijkl} = \begin{cases} \text{i. personel j. gün k. vardiyada l. göreve atanırsa 1,} \\ \text{diğer durumlarda 0} \end{cases}$$

$$\forall i, \forall j, \forall k, \forall l$$

$$h_{ij} = \begin{cases} \text{i. personel j. gün izinliyse 1,} \\ \text{diğer durumlarda 0} \end{cases}$$

$$\forall i, \forall j$$

$T_{kl}$  = k. vardiyada l. görev için gerekli personel sayısı

$d1_i^+$  = Tesviye departmanı REBA puan hedefinden pozitif sapma

$d2_i^+$  = Kalite kontrol departmanı REBA puan hedefinden pozitif sapma

$d3_i^+$  = Temizlik departmanı REBA puan hedefinden pozitif sapma

$d1_i^-$  = Tesviye departmanı REBA puan hedefinden negatif sapma

$d2_i^-$  = Kalite kontrol departmanı REBA puan hedefinden negatif sapma

$d3_i^-$  = Temizlik departmanı REBA puan hedefinden negatif sapma

$R1_j$  = Tesviye departmanı REBA puan ortalaması

$R2_j$  = Kalite Kontrol departmanı REBA puan ortalaması

$R3_j$  = Temizlik departmanı REBA puan ortalaması

#### Amac Fonksiyonu:

$$\text{Min } z = \sum_{i=35}^{90} (d1_i^+ + d2_i^+ + d3_i^+) \quad (5.34)$$

**Kısıtlar:**

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{17} y_{ijkl} = 1 \quad \forall i, j | 7,14,21,28 \quad (5.35)$$

$$y_{ijkl} = 0 \quad i = 35, \dots, 59 \quad \forall j | 7,14,21,28 \quad \forall k, \quad \forall l | 1,2,3,4 \quad (5.36)$$

$$y_{ijkl} = 0 \quad i = 60, \dots, 77 \quad \forall j | 7,14,21,28 \quad \forall k, \quad \forall l | 5,6,7 \quad (5.37)$$

$$y_{ijkl} = 0 \quad i = 78, \dots, 90 \quad \forall j | 7,14,21,28 \quad \forall k, \quad \forall l | 8,9,10 \quad (5.38)$$

$$\sum_{i=35}^{90} y_{ijkl} \geq T_{kl} \quad \forall j | 7,14,21,28 \quad \forall k \quad (5.39)$$

$$h_{i7} = 1 \quad \forall i \quad (5.40)$$

$$h_{i14} = 1 \quad \forall i \quad (5.41)$$

$$h_{i21} = 1 \quad \forall i \quad (5.42)$$

$$h_{i28} = 1 \quad \forall i \quad (5.43)$$

$$\sum_{l=1}^{17} (y_{ijkl} - y_{i(j+1)kl}) - h_{i(j+1)} \leq 0 \quad \forall i \quad \forall j | 7,14,21,28 \quad \forall k \quad (5.44)$$

$$\sum_{j=1}^{28} \sum_{l=1}^{17} y_{ijzl} \leq 12 \quad \forall i \quad (5.45)$$

$$\sum_{j=1}^{28} \sum_{l=1}^{17} y_{ijzl} \leq 12 \quad \forall i \quad (5.46)$$

**Hedef Kısıtları:**

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{17} y_{ijkl} * t_l * R1_j - d1_i^+ + d1_i^- = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{17} y_{ijkl} * t_l * 7 \quad (5.47)$$

$$i = 35,36, \dots, 59, j | 7,14,21,28$$

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{17} y_{ijkl} * t_l * R2_j - d2_i^+ + d2_i^- = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{17} y_{ijkl} * t_l * 9 \quad (5.48)$$

$$i = 60,61, \dots, 77, j | 7,14,21,28$$

$$\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{17} y_{ijkl} * t_l * R3_j - d3_i^+ + d3_i^- = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^{17} y_{ijkl} * t_l * 7 \quad (5.49)$$

$$i = 78,79, \dots, 90, j | 7,14,21,28$$

Önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu (5.34) tesviye, kalite kontrol ve tesviye departmanlarındaki REBA puanlarındaki pozitif sapmayı enküçükleyecek ergonomik risk değerleri minimum olacak görevlere atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (5.35) her personelin her gün sadece bir vardiyaya atanması gerektiğini göstermektedir. (5.36), (5.37) ve (5.38) kısıtları ile her personelin kendi departmanı dışındaki görevlere atanmaması sağlanmaktadır. Her gün her vardiyada her görev için gerekli olan personel sayısı (5.39) ile karşılanmaktadır. Her personelin ayın 7'inci, 14'üncü, 21'inci ve 28'inci günlerinde çalışmaması (5.40), (5.41), (5.42), (5.43) kısıtları ile sağlanmaktadır. Personellerin haftalık olarak tek vardiyaya atanması (5.44) ile gerçekleştirilmektedir. Her personelin aylık olarak Vardiya 2'ye 12 kez atanması (5.45) kısıtı ile, Vardiya 3'e 12 kez atanması (5.46) kısıtı ile sağlanmaktadır. (5.47), (5.48) ve (5.49) amaç fonksiyonunu etkileyen kısıtlardır ve bu kısıtlarda oluşacak negatif ve pozitif sapmalar personelin ergonomik risk değerini enküçükleyecek görevlere atanmasındaki sapmaları belirlemeyi sağlayacaktır.

### **5.3.3. Matematiksel Modellerin Sonuçları**

Problemler için kurulan matematiksel modellerin çözümünde “Intel (R) Core (TM) i5-4210U CPU@1.70 GHz 2.40 GHz” işlemcisi, 8.00GB belleği, 64 bit İşletim Sistemi ve Windows 10 sürümüne sahip bilgisayar kullanılmıştır. İlgili verilerin girilmesiyle modeller ILOG CPLEX Studio IDE programına yazılmış ayrı ayrı yazılmış ve CPLEX çözücü ile çözülmüştür.

Modellerin sonuçlarına göre görev süreleri ve personel sayısı arttırılmış şekilde yapılan yeni aylık ergonomik çizelge Çizelge 5.12'de verilmiştir.

**Çizelge 5.12.** Departmanlardaki Personeller İçin Yeni Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
35	V 1	4	4	4	4	4	4		4	4	4	4	4	4															
	V 2																												
	V 3															4	4	4	4	4	4	4		4	4	4	4	4	4
36	V 1	6	6	6	6	6	6																						
	V 2								6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6	6							
	V 3																						6	6	6	6	6	6	6
37	V 1	1	1	2	1	1	1		1	2	1	2	1	2		2	2	2	1	2	1								
	V 2																						2	2	2	2	1	2	
	V 3																												
38	V 1	1	2	2	2	2	2									2	1	1	1	2	1								
	V 2								1	1	1	2	1	2									2	2	2	2	2	2	2
	V 3																												
39	V 1								2	1	2	1	2	1															
	V 2	1	2	1	2	2	2																2	1	2	1	2	1	
	V 3															2	2	2	2	2	2	1							
40	V 1																												
	V 2	2	1	2	1	2	1									2	2	1	2	1	2								
	V 3								2	2	1	2	1	2									2	1	2	2	2	1	
41	V 1																						1	1	2	1	2	1	
	V 2								2	2	2	1	2	2		1	1	2	1	2	1								
	V 3	2	1	2	1	2	1																						
42	V 1																						1	2	1	2	1	2	
	V 2	2	2	2	2	1	2		2	1	2	2	2	1															
	V 3															2	1	2	1	2	2								

Çizelge 5.12. (devamı...) Departmanlardaki Personeller İçin Yeni Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
43	V 1															1	1	1	2	1	2								
	V 2	1	1	1	1	1	1																						
	V 3								2	2	2	2	2	2									2	2	1	1	1	2	
44	V 1	2	1	1	2	1	1																2	1	2	2	1	2	
	V 2																												
	V 3							1	1	2	1	2	1			1	2	1	2	1	2								
45	V 1	2	2	1	1	2	2		2	1	1	2	2	2		1	2	2	2	1	2								
	V 2																						1	2	1	2	2	2	
	V 3																												
46	V 1																												
	V 2	3	3	3	3	3	3									3	3	3	3	3	3								
	V 3								3	3	3	3	3	3									3	3	3	3	3	3	
47	V 1																												
	V 2								3	3	3	3	3	3									3	3	3	3	3	3	
	V 3	3	3	3	3	3	3									3	3	3	3	3	3								
48	V 1																												
	V 2	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5															
	V 3															5	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5	
49	V 1																						4	4	4	4	4	4	
	V 2	4	4	4	4	4	4									4	4	4	4	4	4								
	V 3								4	4	4	4	4	4															
50	V 1															4	4	4	4	4	4								
	V 2								4	4	4	4	4	4									4	4	4	4	4	4	
	V 3	4	4	4	4	4	4																						

Çizelge 5.12. (devamı...) Departmanlardaki Personeller İçin Yeni Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
51	V 1																												
	V 2							7	7	7	7	7	7										7	7	7	7	7	7	
	V 3	7	7	7	7	7	7									7	7	7	7	7	7								
52	V 1																						7	7	7	7	7	7	
	V 2							7	7	7	7	7	7																
	V 3	7	7	7	7	7	7									7	7	7	7	7	7								
53	V 1							5	5	5	5	5	5										5	5	5	5	5	5	
	V 2															5	5	5	5	5	5								
	V 3	5	5	5	5	5	5																						
54	V 1																												
	V 2	7	7	7	7	7	7									7	7	7	7	7	7								
	V 3							7	7	7	7	7	7										7	7	7	7	7	7	
55	V 1							1	2	2	1	1	1										2	2	1	1	2	1	
	V 2															2	1	2	1	2	1								
	V 3	2	2	2	2	2	2																						
56	V 1	5	5	5	5	5	5									5	5	5	5	5	5								
	V 2																							5	5	5	5	5	5
	V 3							5	5	5	5	5	5																
57	V 1																												
	V 2							1	2	1	1	1	1			1	2	1	2	1	2								
	V 3	1	2	1	2	1	2																1	2	2	2	2	2	
58	V 1							6	6	6	6	6	6			6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6	
	V 2	6	6	6	6	6	6																						
	V 3																												

Çizelge 5.12. (devamı...) Departmanlardaki Personeller İçin Yeni Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
59	V 1																												
	V 2	7	7	7	7	7	7									7	7	7	7	7	7								
	V 3								7	7	7	7	7	7									7	7	7	7	7	7	7
60	V 1	9	9	9	9	9	9		9	9	9	9	9	9															
	V 2															9	9	9	9	9	9								
	V 3																						9	9	9	9	9	9	9
61	V 1								1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	1
	V 2	1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0								1	1	1	1	1	1	1	1
	V 3																												
62	V 1	8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8															
	V 2																												
	V 3																												
63	V 1								1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	1
	V 2	1	1	1	1	1	1		2	2	2	2	2	2								1	1	1	1	1	1	1	1
	V 3																												
64	V 1	1	1	1	1	1	1																1	1	1	1	1	1	1
	V 2																												
	V 3								1	1	1	1	1	1								1	1	1	1	1	1	1	1
65	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1															
	V 2	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0								1	1	1	1	1	1	1	1
	V 3																												
66	V 1																						9	9	9	9	9	9	9
	V 2	9	9	9	9	9	9																						
	V 3								9	9	9	9	9	9															

Çizelge 5.12. (devamı...) Departmanlardaki Personeller İçin Yeni Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
67	V 1	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1								
	V 2	2	2	2	2	2	2		1	1	1	1	1	1		2	2	2	2	2	2		1	1	1	1	1	1	1
	V 3																												
68	V 1															9	9	9	9	9	9								
	V 2								9	9	9	9	9	9									9	9	9	9	9	9	9
	V 3	9	9	9	9	9	9																						
69	V 1															1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	V 2	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		2	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2	2
	V 3																												
70	V 1	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1								
	V 2	0	0	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1
	V 3																												
71	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1															
	V 2	2	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	V 3																												
72	V 1															1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	V 2	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
	V 3																												
73	V 1																												
	V 2								1	1	1	1	1	1		3	3	3	3	3	3								
	V 3	1	1	1	1	1	1																1	1	1	1	1	1	1
74	V 1																												
	V 2	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1								
	V 3	3	3	3	3	3	3		1	1	1	1	1	1		3	3	3	3	3	3		1	1	1	1	1	1	1

Çizelge 5.12. (devamı...) Departmanlardaki Personeller İçin Yeni Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
75	V 1	1	1	1	1	1	1																						
	V 2	3	3	3	3	3	3																1	1	1	1	1	1	1
	V 3								1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1								
76	V 1																												
	V 2								1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1	1
	V 3	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1								
77	V 1								1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1								
	V 2								1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1								
	V 3	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
78	V 1								1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1								
	V 2	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	V 3	4	4	4	4	4	4									4	4	4	4	4	4								
79	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1															
	V 2	4	4	4	4	4	4									1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	V 3															4	4	4	4	4	4								
80	V 1	1	1	1	1	1	1																1	1	1	1	1	1	1
	V 2	4	4	4	4	4	4		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1								
	V 3								4	4	4	4	4	4		4	4	4	4	4	4								
81	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	V 2	6	6	6	6	6	6																						
	V 3																												
82	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	V 2	5	5	5	5	5	5																						
	V 3																												

Çizelge 5.12. (devamı...) Departmanlardaki Personeller İçin Yeni Aylık Vardiya Çizelgesi

		GÜNLER																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
83	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		
	V 2																													
	V 3																													
84	V 1															1	1	1	1	1	1									
	V 2	1	1	1	1	1	1																1	1	1	1	1	1		
	V 3								1	1	1	1	1	1																
85	V 1															1	1	1	1	1	1									
	V 2	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1																
	V 3																						1	1	1	1	1	1		
86	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		
	V 2																													
	V 3																							1	1	1	1	1	1	
87	V 1	1	1	1	1	1	1																1	1	1	1	1	1		
	V 2								1	1	1	1	1	1																
	V 3															1	1	1	1	1	1	1								
88	V 1															1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		
	V 2	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1		
	V 3																													
89	V 1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1		
	V 2															1	1	1	1	1	1	1								
	V 3																													
90	V 1								1	1	1	1	1	1																
	V 2															1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		
	V 3	1	1	1	1	1	1																							

Çizelge 5.12'e tesviye, kalite kontrol ve temizlik departmanlarında çalışan toplamda 59 personelin yapmış oldukları görevlerin ergonomik risk değerleri göz önünde bulundurularak kurulan matematiksel modeldeki kısıtları sağlayacak şekilde her bir personelin bir aylık çizelgede hangi gün hangi vardiyada hangi göreve atandığı net olarak görülmektedir. Tablodaki "V1" Vardiya-1'e, "V2" Vardiya-2'ye ve "V3" Vardiya-3'e denk gelmektedir. Personellerin hangi görevlere atandığı 1-10 arasında görevlere karşılık gelen sayılar ile ifade edilmiştir. Tesviye departmanındaki çapak alma, skoçlama, kılavuz çekme, havşa basma, yüzey parlatma, helicoil takma ve parçaları yıkama görevleri 1-7 arası sayılarla ifade edilmektedir. Kalite kontrol departmanındaki giriş kalite kontrol, operatörler ile ara kontrol, parçaların CMM tezgahına bağlanması, parçaların manuel ölçülmesi, etiketleme ve paketleme, kolileme ve depolama görevleri 8-13 arası sayılarla ifade edilmektedir. Temizlik departmanındaki yer süpürme, paspaslama, cam silme ve toz alma görevleri 13-17 arası sayılarla ifade edilmektedir.

Her personel sadece bulunduğu departmandaki görevleri yerine getirecek şekilde haftanın 6 günü 3 vardiya şeklinde atanmıştır. Her görev için her gün her vardiyada gerekli olan personel sayısının karşılanacak şekilde atamanın yapıldığı görülmüştür. 7'inci, 14'üncü, 21'inci ve 28'inci günler tüm personeller için izin günüdür ve hiçbir şekilde atama yapılmamıştır. Her personelin çalışma haftası boyunca sadece tek vardiyaya atandığı görülmüştür.

Çizelge 5.13'e bakıldığında departmanlardaki personellerin bir aylık çalışma çizelgesinde vardiyalara kaç kez atandığı ve bir ayın sonunda toplam kaç vardiyaya atandığı görülmektedir. Hedef değerler bu ergonomik risk değerine bağlı olduğu için ne kadar düşük ortalama değer elde edilirse modelin sonucunda o kadar düşük bir ergonomik risk personellere yüklenmiş olacaktır. Modelin amaç fonksiyonu değeri 23.927 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.13. Personellerin Aylık Atandıkları Vardiya Sayıları ve REBA Değerleri

Departman	Personel	V1	V2	V3	Toplam Vardiya	Görev ve Çalışma Süreleri	Toplam REBA Değeri
Tesviye Departmanı	35	12	-	12	24	4 (453)	10872
	36	6	12	6	24	6 (421)	10104
	37	18	6	-	24	1 (475), 2 (420)	10685
	38	12	12	-	24	1 (475), 2 (420)	10575
	39	6	12	6	24	1 (475), 2 (420)	10575
	40	-	12	6	24	1 (475), 2 (420)	10575
	41	6	12	6	24	1 (475), 2 (420)	10740
	42	6	12	6	24	1 (475), 2 (420)	10520
	43	6	6	12	24	1 (475), 2 (420)	10740
	44	12	-	12	24	1 (475), 2 (420)	10795
	45	18	6	-	24	1 (475), 2 (420)	10520
	46	-	12	12	24	3 (390)	9360
	47	-	12	12	24	3 (390)	9360
	48	-	12	12	24	5 (430)	10320
	49	6	12	6	24	4 (453)	10872
	50	6	12	6	24	4 (453)	10872
	51	-	12	6	24	7 (465)	11160
	52	6	6	12	24	7 (465)	11160
	53	12	6	6	24	5 (430)	10320
	54	-	12	12	24	7 (465)	11160
55	12	6	6	24	1 (475), 2 (420)	10630	
56	12	6	6	24	5 (430)	10320	
57	-	12	12	24	1 (475), 2 (420)	10740	
58	18	6	-	24	6 (421)	10104	
59	-	12	12	24	7 (465)	11160	
Kalite Kontrol Departmanı	60	12	6	6	24	9 (455)	10920
	61	12	12	-	24	10 (440)	10560
	62	24	-	-	24	8 (360)	8640
	63	12	12	-	24	13 (435)	10440
	64	12	-	12	24	11 (450)	10800
	65	12	-	12	24	10 (440)	10560
	66	6	6	12	24	9 (455)	10920
	67	12	12	-	24	12 (472)	11328
	68	6	12	6	24	9 (455)	10920
	69	12	12	-	24	12 (472)	11328
	70	12	12	-	24	10 (440)	10560
	71	12	12	-	24	12 (472)	11328
	72	12	12	-	24	10 (440)	10560
	73	-	12	12	24	13 (435)	10440
	74	-	12	12	24	13 (435)	10440

**Çizelge 5.13. (devamı...) Personellerin Yeni Aylık Atandıkları Vardiya Sayıları ve REBA Değerleri**

Departman	Personel	V1	V2	V3	Toplam Vardiya	Görev ve Çalışma Süreleri	Toplam REBA Değeri
Kalite Kontrol Departmanı	75	6	12	12	24	13 (435)	10440
	76	-	12	12	24	13 (435)	10440
	77	12	-	12	24	11 (450)	10800
Temizlik Departmanı	78	12	12	-	24	14 (253)	6072
	79	12	12	-	24	14 (253)	6072
	80	12	12	-	24	14 (253)	6072
	81	24	-	-	24	16 (415)	9960
	82	24	-	-	24	15 (280)	6720
	83	24	-	-	24	15 (280)	6720
	84	6	12	6	24	17 (453)	10872
	85	6	12	6	24	17 (453)	10872
	86	24	-	-	24	16 (415)	9960
	87	12	6	6	24	17 (453)	10872
	88	12	12	-	24	14 (253)	6072
	89	18	6	-	24	17 (453)	10872
	90	6	12	6	24	17 (453)	10872

## 6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Dünyada yaşanan olaylar sonucunda değişen piyasa koşulları sadece işletmelerin yapılarını ve yönetim biçimlerini değil aynı zamanda çalışma koşullarını ve sürelerini, çalışanların taleplerini ve müşterilerin memnuniyetlerini de değiştirmektedir. İşletmelerin topluma daha iyi hizmet verebilmek için birbirleriyle rekabet içerisinde olduğu bir ortamda verimliliği arttırmak ve sürekliliğini sağlamak için doğru bilgi ve beceriye sahip doğru sayıda personel, doğru zamanda ve doğru görevlere atanmalıdır. Bu durum, personel çizelgeleme ile başarılmaktadır. Personel çizelgeleri hazırlanırken personellerin özel istekleri, vardiya süreleri ve izin günleri göz önünde bulundurulur. Firma içerisindeki görevler ergonomik olarak ele alınarak çizelgeleme problemine entegre edilebilir. Bu entegre olmuş problemin çözülmesi ile personellerin daha verimli, daha konforlu ve iş kazası riskinin azaldığı bir çalışma ortamı oluşturmak mümkündür.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmanın ergonomik personel çizelgeleme çalışmalarında savunma sanayine yön vereceği düşünülmektedir. Bu çalışmada Türk savunma sanayisinin alt tedarikçilerinden birisi olan firmada iki ergonomik personel çizelgeleme çalışması yapılmıştır. İlk çalışmada; üretimdeki 34 operatörün ve tesviye, kalite kontrol, temizlik departmanlarındaki 26 personelin ergonomik personel çizelgelemesi yapılmıştır. Toplamda 60 personelin bir aylık olarak dengeli ve istenilene uygun olarak vardiyalara atanması sağlanmıştır. Veriler firmadan alındıktan sonra varsayımlar belirlenmiştir. İlk olarak üretimdeki operatörler için matematiksel model kurulmuştur. Daha sonra diğer departmanlardaki görevler belirlenmiş ve görevlerin ergonomik risk değerleri REBA yöntemi ile hesaplanmıştır. Elde edilen değerler kullanılarak matematiksel model kurulmuştur. Kurulan iki model ILOG CPLEX Studio IDE programında ayrı ayrı çözdürülerek optimal çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır.

Firmadaki mevcut durumda operatörlerin makinalara ve vardiyalara atanması rastgele ve özel istekler göz ardı edilerek yapılmaktaydı. Yeni önerilen model ile operatörlerin yetkinliklerine uygun makinalara atanması, özel isteklerinin karşılanması ve adil bir

çalışma ortamının oluşturulması sağlandı. Modelin kısa sürede sonuç vermesi ile de çizelgenin hazırlanmasındaki zaman kaybı en az seviyeye indirgenmiş oldu. Yapılan bu çizelge; operatörlerin verimliliğinin artması, iş kalitesinin artması, iş kazalarının azalması ve daha sistemli bir çalışma ortamının oluşmasına olanak sağlayacaktır.

Tesviye, kalite kontrol ve temizlik departmanlarındaki personellerin mevcut durumda görevlere atanması gerçekleştirilirken ergonomik riskler gözardı edilmekteydi. Bu çalışma ile birlikte personeller görevlere ergonomik risk değerleri göz önünde bulundurularak atanmıştır. Bu yeni çizelge sayesinde hem personellerin maruz kaldıkları ergonomik risk değerleri azaltılmış hem de iş yorgunluğu azaltılmış ve yorgunluğa bağlı meslek hastalıkları önlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca yapılan yeni çizelge iş verimliliğinin de artmasına katkı sağlayacaktır.

İkinci çalışmada; tesviye, kalite kontrol ve temizlik departmanlarındaki personel sayıları ve görev sayıları arttırılarak ergonomik personel çizelgeleme çalışması yapılmıştır. Departmanlardaki toplam personel sayısı 26'dan 59'a; görev sayısı ise 10'dan 17'ye yükseltilmiştir. Daha sonra her görev için ergonomik risk değeri yine REBA yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. İlk çalışmadaki matematiksel model personellerin özel izinleri göz ardı edilerek çalışmaya uyarlanmıştır. Matematiksel model ILOG CPLEX Studio IDE programında çözdürülerek optimal çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde her personel için bir aylık dengeli, adil ve ergonomik bir çalışma çizelgesi hazırlanmıştır.

İleride yapılacak çalışmalarda savunma firmasındaki tüm görevlerin ergonomik risk değerleri farklı hesaplama yöntemleri ile hesaplanabilir. Elde edilen değerler diğer programlama yöntemlerinde kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Aylık çizelge yerine haftalık olarak da vardiyalar çizelgelenebilir. Daha fazla personel, daha fazla görev, daha fazla birim ve daha fazla vardiya için matematiksel modellemeler yerine sezgisel algoritmalar kullanılabilir, personellerin özel istekleri dikkate alınarak özel kısıtlı hedef programlama ile yeni çözüm üretilebilir.

## KAYNAKLAR

Adem, A. (2020). Rotasyon Çizelgelemede Fiziksel Ergonomik Risk Faktörlerini İçeren Matematiksel Model Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Adem, A. ve Dağdeviren, M. (2021). A personnel scheduling model containing thermal comfort and equivalent metabolic rate factors, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(1), 303-317.

Akbari, M. (2015). Tour scheduling for part-time employee with variable productivity, *Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai*, United Arab Emirates (UAE), 3 – 5 March.

Aksüt G., Eren T., ve Tüfekçi M., (2020). Ergonomik Risk Faktörlerinin Sınıflandırılması: Bir Literatür Taraması, *Ergonomi*, 3(3), 169-192.

Aksüt, G., Eren, T., ve Tüfekçi, M., (2021). Tekstil Sektöründe Kadın Çalışanların Maruz Kaldığı Ergonomik Risklerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Belirlenmesi, *Endüstri Mühendisliği*, 32 (1), 12-33.

Aksüt, G., Eren, T. ve Tüfekçi, M., (2021). Tekstil Sektör Çalışanlarının Maruz Kaldığı Ergonomik Risklerin Analitik Ağ Süreci İle Değerlendirilmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13 (1), 231-242.

Aksüt, G. Alakaş H.M. Eren, T., ve Karaçam, H. (2022-a). Fiziksel ergonomik riskli personel çizelgeleme problemi için model önerisi: Kadın çalışanlar için tekstil sektöründe bir uygulama, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi*, 38(1), 245-256.

Aksüt, G., Alakaş, H.M., ve Eren, T., (2022-b). Determining Ergonomic Risks Arising From The Use Of Information Technologies In The Covid-19 Environment, *International Journal of Human-Computer Interaction*.

Aktürk M.S., Varlı E., ve Eren T., (2017). Tam Gün Vardiyalı ve Özel İzin İstekli Hemşire Çizelgeleme Probleminin Hedef Programlama İle Çözümü, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 1-16.

Alakaş, H.M., Pınarbaşı, M., Sönmez, İ. ve Yüksel, A. (2019). Ergonomic staff task scheduling problem: A medium voltage insurance production application, *5th International Conference on Engineering Sciences-ICES*. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, Turkey, 19 September.

Alıcı, H., Ulusu, H., ve Gündüz, T., (2017). Mobilya Sektöründe Pnömatik Zımbalama ve Vidalama İşlerinin Ergonomik Risk Değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 211-226.

Aryanezhad, M. B., Kheirkhah, A. S., Deljoo V., ve Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J., (2009). Designing safe job rotation schedules based upon workers' skills, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(1-2), 193-199.

- Asensio-Cuesta S., Diego-Mas J. A., Canós-Darós L., ve Andrés-Romano, C., (2011). A genetic algorithm for the design of job rotation schedules considering ergonomic and competence criteria, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60(9-12), 1161-1174.
- Battini D., Glock C., Grosse E., Persona A., ve Sgarbossa F., (2017). Ergo-lot-sizing: An approach to integrate ergonomic and economic objectives in manual materials handling, *International Journal of Production Economics*, 185, 230–239.
- Bautista J., Garcia C., ve Pozo R., (2016). Models for assembly line balancing bytemporal, spatial and ergonomic risk attributes, *European Journal of Operational Research*, 251, 814–829.
- Bayraktar E., (2019). Tamsayılı Hedef Programlama ve Hemşire Çizelgeleme Problemi için Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Denizli.
- Bedir N., Eren T., ve Dizdar E.N., (2017). Ergonomik Personel Çizelgeleme ve Perakende Sektöründe Bir Uygulama, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 657-674.
- Bekleviç, H. (2019). Çalışma Ofislerinin Ergonomik Açıdan Değerlendirilmesi ve Çalışma Performansı Üzerine Etkileri(DÜ Akademik ve İdari Personel Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce.
- Bergh, J.V., Beliën, J., Bruecker, P., Demeulemeester, E. ve Boeck, L., (2013). Personnel scheduling: A literature review, *European Journal of Operations Research*, 226, 367–385.
- Boenzi, F., Mossa, G., Mummolo, G., ve Romano, V. A., (2015). Workforce aging in production systems: Modeling and performance evaluation, *Procedia Engineering*, 100, 1108-1115.
- Carnahan, B. J., Redfern, M. S., ve Norman, B., (2000). Designing safe job rotation schedules using optimization and heuristic search, *Ergonomics*, 43(4), 543-560.
- Cheshmehgaz, H.R., Haron, H., Kazemipour, F., ve Desa, M. I., (2012). Accumulated risk of body postures in assembly line balancing problem and modeling through a multi-criteria fuzzy-genetic algorithm, 63, 503–512.
- Coşkun M. B., Sağiroğlu H., ve Erginel N., (2015). İş İstasyonlarının Ergonomik Riskinin NIOSH Yöntemi ile İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 365-370.
- Delice, E., Ayık, İ., Abidinoğlu, Ö.N., Çiftçi N.N., ve Sezer, Y., (2018). Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri ve AHP Yöntemi ile Çalışma Duruşlarının Analizi: Ağır ve Tehlikeli İşler için Bir Uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(ÖS:Ergonomi2017), 112-124.
- Dewi, D.S., ve Septiana, T., (2015). Workforce scheduling considering physical and mental workload: A case study of domestic freight forwarding, *Procedia Manufacturing*, 4, 445 – 453.
- Eren T., ve Güner E., (2002). Tek Ve Paralel Makinalı Problemlerde Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Taraması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (4), 37-69.

Eren T., ve Güner E., (2004). Çok Ölçütlü Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Taraması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 (1), 19-30.

Ediz, A., ve Yağdıran, Y. (2009) . Hedef Programlama Tekniği ile Menü Planlaması”, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1), 45-74.

Efor OSGB, "Ergonomi", Erişim: 10 Ağustos 2022, 21.46, <https://eforosgb.com/ergonomi/>.

Eren T., Özder E.H., ve Varlı E., (2017). Hedef Programlama Yaklaşımı İle Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 114-127.

Ergonomi Risk Analizi, " ROSA (RAPID OFFİCE STRAIN ASSESSMENT) METODU ",Erişim:07.08.2022, 12.30, <http://ergonomiriskanalizi.com/rosaofisergonomiriskanalizi.html>.

Ernst, A.T. Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Owens, B., ve Sier, D. (2004). An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering, *Annals of Operations Research*, 127, 21–144.

Esen, H., ve Fıglalı, N., (2013). Çalışma duruşu analiz yöntemleri ve çalışma duruşunun kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına etkileri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(1), 41-51.

Gür, Ş., ve Eren, T., (2018). Scheduling And Planning İn Service Systems With Goal Programming: Literature Review, *Mathematics*, 6, 265.

Gür, Ş., ve Eren, T., (2018). Application Of Operational Research Techniques İn Operating Room Scheduling Problems: A Literature Overview, *Journal of Healthcare Engineering*, 1-15.

Hochdörffer, J., Hedler, M., ve Lanza, G., (2018). Staff scheduling in job rotation environments considering ergonomic aspects and preservation of qualifications, *Journal of Manufacturing Systems*, 46, 103-114.

Ignizio J., (1985). Introduction to Goal Programming, Sage Publications Inc, *Beverly Hills, California, Usa*.

Işık S., (2022). Montaj Hatlarında Çalışanların İş Yükünü Dengeleyecek Ergonomik İş Rotasyonu Çizelgeleme, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Kaçmaz S.Ö., Alakaş H.M., ve Eren T., (2020). Ergonomic staff scheduling problem with goal programming in glass industry, *Journal of Turkish Operations Management*, (4)1, 369-377.

Kocabaş, M. (2009). Ağır ve Tehlikeli İşlerde Çalışan İş Görenlerde Zorlanmaya Neden Olan Çalışma Duruşlarının Analizi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Malladi, S. ve Min, K. J. (2004). Workforce scheduling with costs and ergonomic considerations. Paper presented at the IIE Annual Conference, *Institute of Industrial Engineers*, May 15-19, 2004, Hilton Americas, Houston, Texas.

Mossa, G., Boenzi F., Digiesi, S., Mummolo, G., ve Romao, V.A., (2016). Productivity and ergonomic risk in human based production systems: A job-rotation scheduling model, *International Journal of Production Economics*, 171, 471–477.

- Moussavi, S. E., Mahdjoub, M., ve Grunder, O., (2018). A multi-objective programming approach to develop an ergonomic job rotation in a manufacturing system, *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 850-855.
- Moussavi, S.E., Mahdjoub, M., ve Grunder, O., (2016). Reducing production cycle time by ergonomic workforce scheduling, *IFAC-PapersOnLine*, 419-424.
- Otto, A., ve Scholl, A., (2013). Reducing ergonomic risks by job rotation scheduling, *OR spectrum*, 35(3), 711.
- Özder, E.H., Özcan E., ve Eren T., (2019). Staff Task-Based Shift Scheduling Solution With An ANP And Goal Programming Method İn A Natural Gas Combined Cycle Power Plant, *Mathematics*, 7(192), 2-26.
- Özder, E.H., Özcan, E.C., ve Eren, T., (2020). A Systematic Literature Review for Personnel Scheduling Problems, *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 19 (6): 1695-1735.
- Pınarbaşı M. (2022). Ergonomik Personel Görev Çizelgeleme Problemi: Çok Amaçlı Bir Kısıt Programlama Modeli ve Vaka Çalışması, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(1), 141-154.
- Rattanamanee, T. ve Nanthavanij, S. (2013). Multi-Workday Ergonomic Workforce Scheduling With Days Off, *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, 1(1), 1117-1125.
- Sana S. S., Ospina-Mateus H., Arrieta F. G., ve Chedid J. A., (2019). Application of genetic algorithm to job scheduling under ergonomic constraints in manufacturing industry, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(5), 2063-2090.
- Seçkiner S.U., ve Kurt M., (2005). Bütünleşik Tur-Rotasyon Çizelgeleme Yaklaşımı İle İşyükü Minimizasyonu”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2), 161-169.
- Sever, S., ve Deste M., (2021). Üretim Süreçlerinde Ergonomik Riskler ve Risk Değerlendirme Yöntemleri: Cıvata Fabrikasında Bir Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25, 417-441.
- Song J., Lee C., Lee W., Bahn S., Jung C., ve Yun M. H., (2016). Development of a job rotation scheduling algorithm for minimizing accumulated work load per body parts, *Work*, 53(3), 511-521.
- Şenyigit, E., ve Atıcı U., (2018). Scheduling with Job Dependent Learning Effect and Ergonomic Risk Deterioration, *2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) IEEE*, 1-4.
- Tol G., (2019). Ergonomik Risk Değerlendirme Analizlerinin Yapılması ve Tersane Sektöründe Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Wang T.C., ve Liu C.C., (2014). Optimal Work Shift Scheduling with Fatigue Minimization and Day Off Preferences”, *Mathematical Problems in Engineering*, 1(1), 1-8.
- Wongwien, T. ve Nanthavanij, S. (2012). Ergonomic workforce scheduling under complex worker limitation and task requirements: Mathematical model and

approximation procedure, *Songklanakarin Journal of Science ve Technology*, 34(5), 541-549.

Wongwien, T. ve Nanthavanij, S. (2013). Ergonomic Workforce Scheduling With Productivity And Employee Satisfaction Consideration, *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, 1(1), 1108-1116.

Xu, Z., Ko, J., Cochran, D., ve Jung, M., (2012). Design of assembly lines with the concurrent consideration of productivity and upper extremity musculoskeletal disorders using linear models, *Computers ve Industrial Engineering*, 62, 431-441.

Yaoyuenyong, S. ve Nanthavanij, S. (2006). Hybrid procedure to determine optimal workforce without noise hazard exposure, *Computers ve Industrial Engineering*, 51(4), 743-764.

Yoon, S., Ko, J., ve Jung, M., (2016). A model for developing job rotation schedules that eliminate sequential high workloads and minimize between-worker variability in cumulative daily workloads: Application to automotive assembly lines, *Applied Ergonomics*, 55, 8-15.

Zengin, M.A., ve Asal, Ö., (2020). Bina inşaatındaki çalışan duruşlarının farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(3), 1615-1630.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Rabia Akgönül

Doğum Tarihi : -

Yabancı Dil : İngilizce (C1)

## Eğitim Durumu:

Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, 2019

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, 2023

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar : Rasim Makina. A.Ş (2022 – devam etmekte)

## Yayımları (Diğer):

Akgönül R., Özcan E., & Eren T., Medikal İşletmesi İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Bakım Stratejisi Seçimi, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 13(2), 448-461, 2021.

Akgönül R., Eren T., & Alakaş H.M., Ergonomik Personel Çizelgeleme Problemi: Savunma Sanayinde Bir Uygulama, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 14(3), 43-68, 2022.

Araştırma Alanları: Çizelgeleme, Ergonomi, Matematiksel Optimizasyon Modelleri