

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÖNETİM VE BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI

**TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE İŞGÜCÜ
PLANLAMASI: MADEN İŞLETMESİNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS

Jean Darly KORILA

OCAK-2026
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÖNETİM VE BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI

**TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE İŞGÜCÜ
PLANLAMASI: MADEN İŞLETMESİNDE BİR UYGULAMA**

**WORKFORCE PLANNING USING INTEGER LINEAR PROGRAMMING
METHOD: AN APPLICATION IN MINING BUSINESS**

YÜKSEK LİSANS

Jean Darly KORILA

**OCAK-2026
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÖNETİM VE BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI

**TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE İŞGÜCÜ
PLANLAMASI: MADEN İŞLETMESİNDE BİR UYGULAMA**

**WORKFORCE PLANNING USING INTEGER LINEAR PROGRAMMING
METHOD: AN APPLICATION IN MINING BUSINESS**

YÜKSEK LİSANS

Jean Darly KORILA

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Banu BOLAYIR

**OCAK-2026
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Tamsayılı Doğrusal Programlama Yöntemi İle İşgücü Planlaması: Maden İşletmesinde Bir Uygulama**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

30/01/2026

.....
Jean Darly KORILA

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Banu BOLAYIR'a, bu çalışmanın tamamlanması boyunca emeği, ulaşılabilirliği ve değerli tavsiyeleri için derin şükranlarımı sunmak isterim. Bilimsel titizliği, sabrı ve desteği için kendisine içtenlikle teşekkür ederim.

Eğitim hayatımda koşulsuz sevgileri, manevi ve maddi destekleri için anne ve babama en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu tezin tamamlanmasında onların varlığı ve teşviki çok önemliydi. Onlara sonsuz minnettarım.

Üniversitenin tüm öğretim ve idari ekibine, sağlanan öğretimin kalitesi ve bu araştırma çalışmasının yürütülmesi için sunulan olumlu koşullar için teşekkür ederim.

Tez çalışmasındaki uygulama için verileri ve bilgileri paylaşan Eti Gold Madencilik A.Ş.'ye ve özellikle veriler için irtibata geçtiğim İnsan Kaynakları Şefi Sedat Demirel'e teşekkürlerimi sunarım.

Her anımda beni destekleyen ve cesaretlendiren arkadaşlarımın varlığını ve desteğini hep hissettim. Onlara da ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak bu tezin hazırlanmasında doğrudan veya dolaylı olarak emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Jean Darly KORILA
GÜMÜŞHANE – 2026

ÖZET

Madencilik işletmelerinde verimli ve karlı üretimin sağlanabilmesi için insan ve maddi kaynakların optimize edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle işgücü planlaması önemli bir stratejik konudur.

Madencilik sektörü, hem işgücü hem de makine kullanımına dayalı, emek gerektiren bir iş koludur. Madencilik faaliyetleri; madenlerin çıkarılması, işlenmesi ve pazarlanması da dâhil olmak üzere bir dizi karmaşık süreci kapsamaktadır. Sektör; yasal düzenlemeler, işletmelerin vizyon ve misyonları ile pazar payı gibi birçok etkene bağlı olarak faaliyet göstermektedir. Her sektörde ve her ölçekteki projeler için geçerli olan genel ilkelere odaklanılarak bu çalışmada, madencilik sektöründe en yüksek verimin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışma, bir maden işletmesinde işgücü planlaması için karmaşık problemlerin modellenmesine olanak sağlayan ve bir optimizasyon yöntemi olan tamsayılı doğrusal programlama (TDP) yönteminin uygulamasını içermektedir. Çalışmada, Gümüşhane ilinde bulunan bir madencilik işletmesinden alınan verilere dayanarak oluşturulan TDP modeli ile işgücü planlaması yapılması hedeflenmiştir. Bu planlama ile işletmenin işgücü planlamasının kullanıldığı maliyetin minimize elde edilmesi amaçlanarak optimal personel sayısı belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, madencilik işletmesinin işgücü planlamasıyla paralel sonuçlar vermiştir. Bu durum maden işletmesinin optimal işgücü ile çalıştığını ifade etmektedir. Bu uygulama TDP yönteminin, madencilik işletmelerinde operasyonel verimliliğin ve işgücü maliyetlerinin belirlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: İşgücü planlaması, Madencilik, Optimizasyon, Tamsayılı doğrusal programlama

SUMMARY

In order to ensure efficient and profitable production in mining operations, human and material resources must be optimized. Therefore, workforce planning is an important strategic issue.

The mining sector is a labor-intensive business line based on the use of both labor and machinery. Mining activities cover a number of complex processes, including the extraction, processing and marketing of mines. The mining sector is a labor-intensive business line based on the use of both labor and machinery. Mining activities cover a number of complex processes, including the extraction, processing and marketing of mines. The sector operates depending on many factors such as legal regulations, the vision and mission.

This study involves the application of integer linear programming (ILP), an optimization method that enables the modeling of complex problems for workforce planning in a mining operation. In the study, it is aimed to carry out workforce planning with the ILP model created based on the data obtained from a mining enterprise located in Gümüşhane province. With this planning, the optimal number of personnel has been determined in order to minimize the cost of using the enterprise's workforce planning.

The results obtained have yielded results in parallel with the workforce planning of the mining enterprise. This situation indicates that the mining enterprise is working with an optimal workforce. This application shows that the ILP method can be used to determine operational efficiency and labor costs in mining enterprises.

Keywords: Workforce planning, Mining, Optimization, Integer linear programming

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
EKLER DİZİNİ	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	2
1.3. Çalışmanın Yöntemi.....	2
1.4. Çalışmanın Organizasyonu ve Kapsamı.....	3
1.5. Çalışmanın Katkısı	3
2. MADENCİLİK SEKTÖRÜ	4
2.1. Madencilik Sektörünün Tanımı	4
2.1.1. Türkiye’de Tarihi Dönemlerde Madencilik	5
2.1.2. Osmanlı Döneminde Madencilik	7
2.1.3. Cumhuriyet Döneminde Madencilik	7
2.1.4. Madencilik Sektörünün Ekonomik Katkısı	9
2.1.5. Etkinlik ve Verimlilik Kavramları	10
2.1.6. Madencilik Faaliyetleri ve İşgücü	11
2.2. Kurallar ve İş Yönetimi	12
2.2.1. Madencilik Mevzuatı ve İşgücü Yönetimi	12
2.2.2. Yasal İnceleme ve Çalışma Üzerindeki Etkileri	13
2.2.3. İdari Prosedürler ve İşe Alım Üzerindeki Etkisi.....	14
2.3. İşgücü Planlamasını Etkileyen Faktörler.....	15
2.3.1. Takım Organizasyonu ve Operasyonel Kısıtlamalar	15
2.3.2. İşgücü Talebindeki Dalgalanmalar	16
2.3.3. Yeni Teknolojilerin Personel İhtiyaçları Üzerindeki Etkisi	17

2.3.4. İşin Otomasyonu ve Optimizasyonu	18
2.4. Personel Dönüşümü ve Organizasyonu.....	19
2.4.1. İş Sayısı ve Son Trendler.....	20
2.4.2. Maden İşçilerinin Profilleri ve Nitelikleri	20
2.4.3. Vardiyalı Çalışma ve Program Yönetimi	21
2.4.4. Haftalık ve Vardiya Planlama Modelleri Arasındaki Farklar	22
2.5. İşgücü Maliyeti ve Karlılık.....	23
2.5.1. İşçilikle İlgili Giderler	24
2.5.2. İşgücü Maliyeti ile Verimlilik Arasındaki İlişki.....	25
2.5.3. İnsan Kaynaklarının Optimizasyonu	27
2.6. Çalışma Koşulları ve Üretkenliğe Etkisi	28
2.6.1. İşyerinde Sağlık ve Güvenlik.....	28
2.6.2. Çalışma Saatlerinin Etkisi	29
2.6.3. Çalışan Memnuniyeti ve Üretkenliğe Etkisi.....	29
2.6.4. İşgücü Yönetimini İyileştirme Stratejileri	30
2.7. Madencilik Ortamlarında İş Planlamasına İlişkin Kısıtlamalar.....	31
2.7.1. Sahaların Fiziksel ve Jeolojik Özellikleri.....	31
2.7.2. Yer Altı Madenciliğine Özgü Güvenlik Kısıtlamaları	32
2.7.3. Görevlerin ve Yürütme Sürelerinin Değişkenliği	32
2.7.4. İklim ve Çevre Koşullarının Etkileri.....	33
2.8. Kamu Kurumlarının Rolü ve Madencilik Politikaları.....	34
2.8.1. İnsan Kaynakları Yönetiminde Teknolojik Yeniliğe Yönelik Teşvikler	34
2.8.2. Endüstriyel Ortaklıklar ve Personel Eğitimi.....	36
2.9. Uluslararası Perspektifler ve Diğer Madencilik Ülkeleriyle Karşılaştırma.....	37
2.9.1. İşgücü Planlamasının Yabancı Modelleri.....	37
2.9.2. Madencilik Verimliliğinin Karşılaştırmalı Analizi	38
2.9.3. İyi Uygulamaların Uyarlanması.....	39
3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA.....	40
3.1. Literatür İncelemesi	40
3.2. Doğrusal Programlama.....	48
3.2.1. Doğrusal Programlama Modeli.....	49
3.2.2. Doğrusal Programlama için Varsayımlar	50
3.2.3. Doğrusal Programlamanın Çözüm Yöntemleri	51
3.2.3.1. Grafiksel Yöntem	51

3.2.3.2. Simpleks Yöntemi	51
3.2.3.3. Dualite Yöntemi	52
3.2.3.4. Karmakar Algoritması (Nokta Yöntemi)	52
3.2.4. Doğrusal Programlamanın Avantajları ve Dezavantajları	53
3.2.5. Doğrusal Programlamanın Uygulama Alanları	54
3.2.6. Doğrusal Programlamanın Çözüm Araçları	54
3.3. Tamsayı Doğrusal Programlama	56
3.3.1. Tamsayı Doğrusal Programlamada Varsayımlar	58
3.3.2. Tamsayı Doğrusal Programlamanın Çözüm Yöntemleri	59
3.3.2.1. Ayırma ve Değerlendirme (Dal-Sınır) Yöntemi	60
3.3.2.2. Kesme Düzlemi Yöntemi	61
3.3.2.3. Dal ve Kesim Yöntemi	59
3.3.2.4. Sezgisel ve Metasezgisel Yöntemler	63
3.3.3. Tamsayı Doğrusal Programlamanın Uygulama Alanları	64
3.3.4. Tamsayı Doğrusal Programlamanın Avantajları ve Dezavantajları	65
4. UYGULAMA	67
4.1. İşletmenin Profili	67
4.2. Çalışmanın Yöntemi	68
4.3. Problemin Tanımı	70
4.4. Önerilen Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli	72
4.5. Bulgular	76
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	79
KAYNAKÇA	81
EKLER	101
ETİK KURUL KARARI	105
ÖZGEÇMİŞ	106

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Türkiye madencilik sektörü ihracatı ülke dağılımı	9
Tablo 2. İş hukukuna göre ücretli yıllık izin	13
Tablo 3. Madencilik faaliyet izinleri ve bu izinleri vermeye yetkili kuruluşlar	14
Tablo 4. Haftalık ve vardiya planlama modellerinin karşılaştırması.....	23
Tablo 5. Dal-sınır ve kesit düzlemi yöntemlerinin karşılaştırılması.....	61
Tablo 6. Çözüm yöntemlerinin genel karşılaştırma tablosu.....	63
Tablo 7. Madendeki birimlere göre vardiyalardaki çalışanların sayıları	69
Tablo 8. Madendeki birimlere göre vardiyalarda istihdam edilecek çalışanların sayıları ile iş türlerine göre aylık maaşları.....	71
Tablo 9. LINDO paket programı ile kurulan model	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. MAPEG organizasyon yapısı	8
Şekil 2. Madenlerde otomasyon ve optimizasyonun gösterimi.....	18
Şekil 3. Karlılığı maksimize etmek için işgücü maliyetini düşürme yapısı	24
Şekil 4. İnsan kaynakları optimizasyon yapısı	27
Şekil 5. Çalışmada izlenen yöntem.....	68



EKLER DİZİNİ

Ek 1. Eti Gold Madencilik A.Ş. İzin Dilekçesi	101
Ek 2. Önerilen Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelinin LINDO Paket Program ile Çözümü	102



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CO ₂	: Karbondioksit
DP	: Doğrusal Programlama
EİKY	: Elektronik İnsan Kaynakları Yönetimi
GA	: Genetik Algoritma
İKBS	: İnsan Kaynakları Bilgi Sistemleri
İK	: İnsan Kaynakları
İKY	: İnsan Kaynakları Yönetimi
KKO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
KKP	: Kurumsal Kaynak Planlaması
KOSGEB	: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
MAPEG	: Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
MİGEM	: Maden İşleri Genel Müdürlüğü
M.Ö.	: Milattan Önce
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
PİGM	: Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
SCIP	: Solving Constraint Integer Programs
STB	: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
TDP	: Tamsayılı Doğrusal Programlama
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
vb.	: Ve benzeri
vd.	: Ve diğerleri

1. GİRİŞ

Bu bölümde; çalışmanın önemi, çalışmanın amacı, çalışmanın yöntemi, çalışmanın organizasyonu ve kapsamı, çalışmanın katkısı bulunmaktadır.

1.1. Çalışmanın Önemi

Planlama, herhangi bir projenin veya hedefin başarısında temel bir unsurdur. TDP yönteminin kullanıldığı ekip planlamasında temel amaç, en verimli şekilde çalışması gereken personel sayısının belirlenmesidir. Her ölçekte ve tüm sektörlerdeki projelere uygulanabilen genel planlama ilkelerine odaklanan bu çalışma, madencilik sektöründe maksimum verimliliğin sağlanmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda, madencilik sektöründe planlama bilgisinin bir uygulama aracılığıyla geliştirilmesinin, daha etkin ve verimli projelerin hayata geçirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Madencilik sektörü, emek ve makine yoğun yapısıyla dikkat çeken bir faaliyet alanıdır. Minerallerin çıkarılması, işlenmesi ve pazarlanması gibi süreçleri kapsayan madencilik faaliyetleri, karmaşık ve çok aşamalı bir yapıya sahiptir. Bu faaliyetler; yasal düzenlemeler, işletmenin vizyon ve misyonu, pazar payı ve ekonomik koşullar gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Diğer yandan etkili bir planlama süreci, üretkenliği olumsuz yönde etkileyebilecek personel yetersizliklerinin önüne geçilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gelecekteki personel ihtiyaçlarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi, işletmelerin pazar taleplerine uygun işe alım ve eğitim stratejileri geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Stratejik planlama, çalışanların örgütsel hedeflere uyumunu artırarak proje başarısına doğrudan katkı sağlamaktadır. Ayrıca, doğru planlama sayesinde doğru personelin doğru zamanda istihdam edilmesi mümkün olmakta ve bu durum işe alım ile eğitim maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, çalışanların kendilerini değerli hissetmelerini sağlayan ve mesleki gelişimlerini destekleyen olumlu bir çalışma ortamı da oluşturulmaktadır. Bu çalışma, madencilik operasyonlarının iyileştirilmesi ve gelecekte karşılaşılabilecek zorluklar karşısında daha sürdürülebilir bir yapı oluşturulmasında planlamanın önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, işgücü planlamasının önemi vurgulanmakta ve bunun nasıl etkili bir şekilde uygulanabileceğinin bir örneği sunulmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

İşletmelerdeki en büyük harcamalar personel, yemek masrafları, hizmet masrafları ve çalışanlara sağlanan diğer faydalardır. En önemli kısım işgücü bazında personeldir.

Bu çalışmanın temel amacı, madencilik sektöründe işgücü planlaması kapsamında işgücünün en verimli şekilde kullanımının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda Gümüşhane ilinde faaliyette olan madencilik firmasından alınan verilere göre işgücü planlamasında TDP yöntemini uygulamaktır. Bu planlamada optimal personel sayısı ile verimliliğin maksimum olması istenmektedir.

Ayrıca çalışmadaki diğer amaç, madencilik sektörünün düzenleyici kısıtlamalar ve operasyonel gereklilikler gibi özellikleri de dikkate alan bir model geliştirmektir. Bu faktörlerin TDP modeline entegre edilmesiyle, önerilen çözümlerin sadece maliyet tasarrufu ile sınırlı kalmaması, aynı zamanda madencilik faaliyetlerinin düzgün çalışması için gerekli tüm güvenlik ve kalite gereksinimlerini de karşılanması hedeflenmektedir.

Ek olarak çalışma, bireysel çalışan ihtiyaçlarını dikkate alarak planlama kararlarının çalışan memnuniyeti üzerindeki etkisini değerlendirmeyi, böylece çalışanların moralini ve genel üretkenliğini iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

Son olarak çalışmadaki bir diğer amaç ise madencilik sektöründe daha iyi insan kaynakları yönetimi (İKY) ve işletmelerin daha iyi ekonomik performans göstermesini teşvik etmek amacıyla TDP'nin uygulanmasına yönelik somut öneriler sunmaktır.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada, teorik alt yapı için yayımlanmış makale, kitap, doktora ve yüksek lisans tezlerinden yararlanılmıştır. Çalışmadaki uygulama kısmında kullanılacak veriler Gümüşhane'deki maden işletmesinden alınmıştır. Alınan veriler ile TDP modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller LINDO paket programı ile çözümlenmiştir.

Önerilen çözümlerin madencilik işletmesinin gerçek ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamadığını doğrulamak için bir sonuç doğrulama aşaması gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda, sahadan gelen geri bildirimlere göre modelin uyarlanması için operasyonel yöneticiler ile istişareler yapılmıştır. İşletmede kullanılan geleneksel planlama yöntemi ile TDP yönteminin uygulaması sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. TDP'nin uygulanmasıyla madencilik işletmesiyle aynı işgücü sayısı ve maliyet belirlenmiştir. Model, madencilik operasyonlarının evrimi ve değişen iş ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilecek ve zaman içinde sürdürülebilir ve uyarlanabilir optimizasyon sağlanacaktır.

1.4. Çalışmanın Organizasyonu ve Kapsamı

Çalışma madencilik sektöründe optimal işgücü planlamasında TDP uygulaması üzerinedir. Bu doğrultuda çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde, çalışmanın önemi, amacı, yöntemi, organizasyonu, kapsamı ile katkıları açıklanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, madencilik sektörü, TDP gibi optimizasyon yöntemlerinin uygulanmasını gerektiren madencilik işletmelerinin ekonomik önemi, zorlukları, fırsatları ve özellikleri anlatılmaktadır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, TDP ve özellikle madencilik sektöründeki çeşitli alanlardaki uygulamalarına ilişkin literatür taraması, TDP'nin temel prensipleri, matematiksel formülasyonu ve madencilik işletmelerinde kaynak optimizasyonunda uygulamalara yer verilmiştir. Literatür taraması için yayımlanmış makaleler ile yayımlanmış doktora ve yüksek lisans tezleri kullanılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, madencilik sektöründe iş programlarını optimize etme, ekipleri yönetme ve madencilik operasyonlarını planlama yönelik işgücü planlaması için TDP uygulaması yapılmıştır. Uygulamada özel bir madencilik işletmesinde, çalışma planına göre çalışan sayısı ve çalışma saatleri verileri madencilik işletmesinden alınmış, bu veriler kullanılarak karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve ilişki kısıtları tanımlanmış ve işgücü planlaması problemi modellenmiştir. Bunun için modelin uygulama adımları ve modelin uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlar verilmektedir. Uygulamadaki modelin çözümünde LINDO paket programından yararlanılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümü ise sonuç ve değerlendirme bölümüdür.

1.5. Çalışmanın Katkısı

Literatürde işgücü planlaması ile ilgili olarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların özellikle hizmet sektöründe ve büyük ölçekli firmalarda yapıldığı görülmüştür. Çalışmada maden işletmesinde yapılacak optimal işgücü planlaması ile ilgili bir çalışmaya literatür araştırmasında rastlanmamıştır. Ayrıca maden işletmesinde optimal işgücü planlaması sonuçlarının maden işletmesi ile paylaşılarak işletmede daha verimli vardiya oluşturulacağı ve işletme için fayda sağlayacağı, akademik çalışma ışığında ilerideki çalışmalara da kaynak oluşturacağı öngörülmektedir.

2. MADENCİLİK SEKTÖRÜ

2.1. Madencilik Sektörünün Tanımı

Madencilik sektörünü tanımlamadan önce madencilik kavramını anlamak, madencilik sektörünün daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Türk Dil Kurumu'nun Büyük Türkçe Sözlüğünde mineral, “yer kabuğunun belirli kısımları”, “çeşitli iç ve dış doğal etkenler sonucu bölgelerde oluşan ve ekonomik değer taşıyan mineral” olarak tanımlanmaktadır (Köker, 2019: 3).

Madencilik, kıymetli metaller, endüstriyel mineraller veya değerli taşlar gibi yenilenemeyen doğal kaynakların çıkarılmasını amaçlayan faaliyetleri kapsamaktadır. Bu sektör, imalat ve endüstriyel işleme için gerekli hammaddeleri sağladığından küresel endüstriler açısından stratejik bir öneme sahiptir. Ayrıca madencilik, yalnızca zenginlik yaratmakla kalmayıp istihdam, ihracat ve kamu gelirleri yoluyla ekonomik kalkınmaya katkıda bulunmaktadır (International Council on Mining and Metals, 2022: 4).

Stratejik kaynaklar söz konusu olduğunda madencilik sektörü, özellikle teknoloji endüstrisi için olmazsa olmaz olan lityum ve kobalt gibi nadir ve kıymetli mineraller açısından küresel tedarik zincirinde hayati bir rol oynamaktadır. Ancak bu faaliyet aynı zamanda ekosistem bozulması, su kirliliği ve biyolojik çeşitliliğe yönelik riskler gibi önemli çevresel ve sosyal zorlukları da beraberinde getirmektedir (Hilson, 2002: 59).

Bu nedenle sektörün sürdürülebilirliğini sağlamak için doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması öncelik haline gelmektedir (Dubínski, 2013: 3).

“Kaynak laneti” üzerine yapılan çalışmalar, madencilik sektörünün ekonomik kalkınma üzerindeki çelişkili etkilerinin anlaşılmasında derin bir etki yaratmıştır. Doğal kaynakların, özellikle minerallerin bolluğu, tarım veya imalat gibi diğer üretken sektörlerin zararına olacak şekilde, hammadde ihracatına aşırı bağımlılık yaratarak paradoksal bir biçimde ekonomik büyümeyi yavaşlatabilir (Auty, 1993: 272). Bu, mineral kaynakları bakımından zengin ülkelerin, hammadde fiyatlarındaki oynaklık, kötü yönetim ve yolsuzluk gibi faktörler nedeniyle, daha az zengin ülkelere kıyasla genellikle daha düşük büyüme oranlarına sahip olduğunu deneysel olarak göstermektedir (Sachs ve Warner, 2001: 828).

Madenciliğin toplumsal sonuçları, madencilik işletmeleri ile yerel topluluklar arasındaki gerginlikler de dâhil danışma ve fayda paylaşımının eksikliğinin, genellikle

sağlam bir yasal çerçevenin olmaması nedeniyle daha da kötüleşen, tekrarlayan sosyal çatışmalara yol açtığını göstermektedir (Ballard ve Banks, 2003: 295).

El sanatları ve küçük ölçekli madencilik üzerine yapılan kapsamlı araştırmalar, kırsal geçim kaynakları için faydalarını vurgularken, beraberinde getirdiği çevresel ve sağlık riskleri konusunda uyarıda bulunmaktadır (Hilson ve Potter, 2005: 104).

Daha yakın bir bakış açısıyla, madencilik projelerinin kümülatif etkilerinin sosyal, ekolojik ve ekonomik boyutları bütünleştirilerek titiz bir şekilde değerlendirilmesi uzun vadeli etkileri ve farklı ekosistemler arasındaki bağlantıları hesaba katan, çevresel değerlendirmeye yönelik daha bütünsel bir yaklaşımı savunulmaktadır (Lèbre vd., 2020: 4).

Kaynak çıkarımı üzerine yapılan bir antropolojik çalışmada, çok uluslu madencilik işletmelerinin ortaya çıkmasının sosyal ilişkileri, kültürel kimlikleri ve yerel yaşam biçimlerini nasıl dönüştürdüğünü vurgulamaktadır. Bu çalışma, sosyal adaletin madencilik politikalarına entegre edilmesi ve karar alma süreçlerinde yerel bilginin öneminin kabul edilmesi ihtiyacının altını çizmektedir (Gilberthorpe ve Rajak, 2017: 18).

2.1.1. Türkiye’de Tarihi Dönemlerde Madencilik

Anadolu’da bakır kullanımına ve metal işlemeciliğine dair en erken kanıtlar, yerel bakır üretimi ve işçiliğinin Gerçek Bronz Çağı’ndan çok önce, Neolitik ve Kalkolitik dönemlerde başladığını göstermektedir. Anadolu’daki metal cevherleri, erken ergitme kanıtları ile birlikte arkeolojik bağlamlarda incelenmiş olup, bölgenin karmaşık metal endüstrilerinin yükselişinde merkezi bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Yener, 2000: 45).

Kalkolitik Çağ’ın erken dönemlerinde Anadolu’da özellikle bakır kullanımına dair arkeolojik buluntular ortaya çıkmaktadır. Bu buluntular, metalürjinin ilk olarak Anadolu’da geliştiğini göstermekte ve bölgenin zengin metal yataklarının yerel halk tarafından tarih boyunca kolayca erişilip kullanıldığını kanıtlamaktadır (Yalçın ve Özbal, 2000: 1).

Uluburun’da bulunan M.Ö. 14. yüzyıla ait külçelerin içeriğindeki bakırın izotopik analizlerle de ortaya çıktığı ve Doğu Anadolu’dan geldiği belirtilmiştir (Pulak, 2000: 144).

Metaller ve metalurji, Hitit topluluğunun sosyal, ekonomik ve politik bağlamlarında önemli bir rol oynamıştır. Altın, gümüş, bakır, kurşun, kalay ve demir de dâhil olmak üzere çeşitli metaller, M.Ö. 17. yüzyıldan 12. yüzyıla kadar olan dönemi

kapsayan yazılı belgelerde yer almaktadır; ancak günümüze ulaşan metal eserler nispeten azdır. Arkeolojik çalışmalar ve gerçek eserlerin arkeometrik analizleri, bu döneme tarihlenen sınırlı sayıda buluntu nedeniyle kısıtlıdır. Hüseyindede, küçük ama bilgilendirici buluntu topluluğu olup Eski Hitit metallurjisini anlamaya katkıda bulunabilecek nadir yerleşimlerden biridir (Dardeniz vd., 2019: 77).

Yerleşik topluluklarda demir kullanımının neden olduğu kültürel değişimlere ve demir metalürjisine olan yöneliş 20. yüzyılın ortalarından itibaren popülerliğini yitirmiş olan Demir Çağı'nın başlangıcındaki göç hareketleri ile 'kitlesel aksiyon' kuramlarının sahada uygulanabilirliğinin sorunları yeniden araştırma gündemine taşınmıştır (Özdemir, 2007: 501).

Madencilik faaliyetleri, insanlık tarihinin her döneminde toplumsal ve ekonomik gelişmelerin temel unsurlarından biri olmuş, bu doğrultuda madenlere olan ihtiyaç günümüzde de artış göstermiştir. Özellikle tarihi çok eskilere dayanan altın, son yıllarda küresel ölçekte artan talep ve yeni rezerv arayışları nedeniyle stratejik önemini daha da artırmıştır. Farklı jeolojik özelliklere sahip altın yatakları ve 431 tonluk Merkez Bankası rezervi ile Türkiye, dünya rezervleri içerisinde yaklaşık %2'lik paya sahip olup önemli bir konumda bulunmaktadır. 2021 yılı itibarıyla yıllık altın üretiminin 39 ton seviyesine ulaşması, sektördeki büyümeyi açıkça ortaya koymaktadır. Türkiye'de altın madenciliği faaliyetleri özellikle Ege ve Marmara Bölgeleri ile Doğu Karadeniz Bölümü'nde yoğunlaşmakta olup, Gümüşhane bu üretim merkezleri arasında öne çıkan illerden biridir (Sipahi vd., 2022: 528).

Bizans döneminde madencilik faaliyetlerinde bir gerileme yaşanmış, ancak özellikle Pontus bölgesindeki bazı altın madenleri faaliyetlerini sürdürmüştür. Madencilik faaliyetleri, Osmanlı İmparatorluğu döneminde daha yoğun bir şekilde yeniden başlamıştır. Bu dönemde madenciliği düzenlemek için özel bir mali ve idari çerçeve oluşturulmuştur. Özellikle Kanunname-i Maden aracılığıyla maden işletme hakları, madencilerin sorumlulukları ve kıymetli madenler üzerine konulan vergiler tanımlanmıştır (Pamuk, 2004: 229).

Kurşun ve gümüş hem sikke basımında hem de cephane yapımında Osmanlı ekonomisinde stratejik bir yere sahip olmuştur. Adı "gümüş evi" anlamına gelen Gümüşhane yatağı, Orta Çağ'dan bu yana faaliyette olup Anadolu Bölgesi'nin en önemli yataklarından biri olarak kabul edilmektedir. Ancak 19. yüzyıldan itibaren Avrupa güçlerinin artan rekabeti karşısında madencilik tekniklerinin modernize edilememesi, üretkenlikte belirgin bir düşüşe yol açmıştır (Ágoston ve Masters, 2009: 237).

2.1.2. Osmanlı Döneminde Madencilik

Türk madencilik sektörü, Osmanlı döneminde olduğu gibi Cumhuriyet döneminde de birbirini izleyen politikaların etkisiyle gelişimini sürdürmüş, çağın gereklerine uyum sağlamak amacıyla madencilik mevzuatında sık sık değişikliğe gidilmiştir. Osmanlı Devleti, 1861 yılından itibaren madencilik alanında düzenlemeler yaparak ulusal kaynakları ve vergi gelirlerini artırmayı amaçlayan bir politika başlatmıştır (Keskin, 2011: 125).

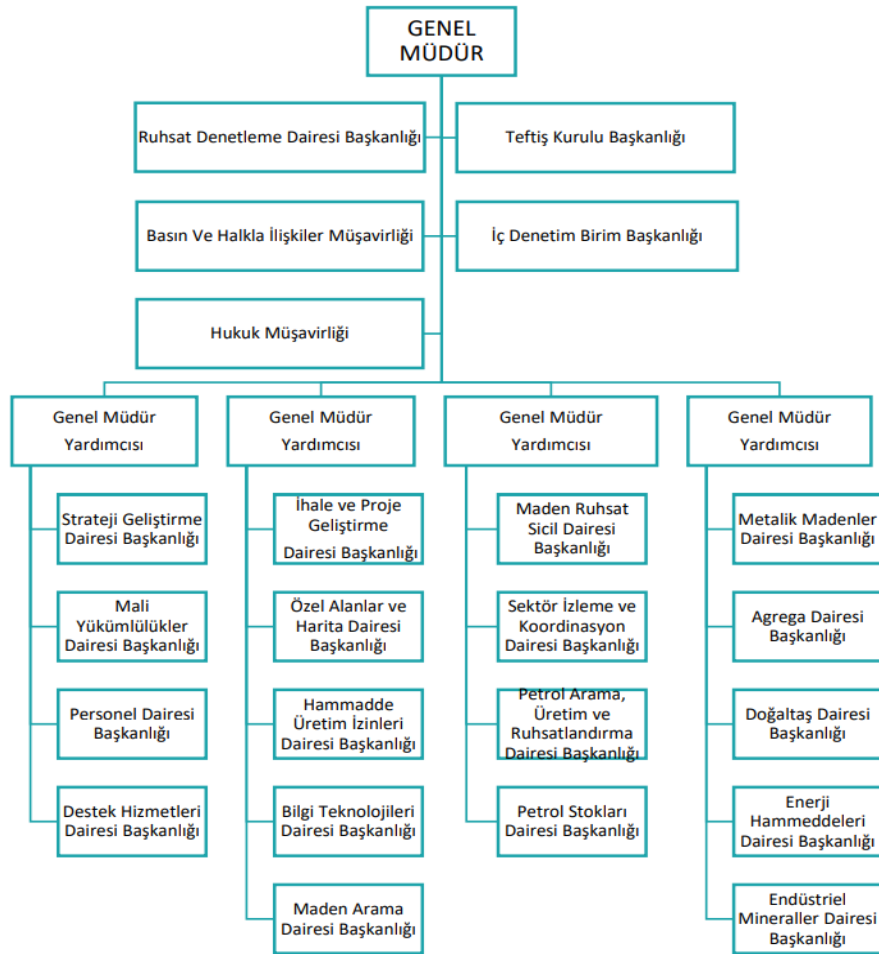
Bu yönelim, devletin giderek özel imtiyaz sahiplerinin, çoğunlukla yabancı olanların lehine geri çekilmesiyle sonuçlanmış ve bu imtiyaz sahiplerine işletme imtiyazları tanınmıştır. Ancak teknolojik yetersizlikler, uzmanlık eksikliği, yetersiz altyapı ve yaşanan ciddi ekonomik kriz nedeniyle maden kaynakları etkin bir şekilde değerlendirilememiştir. Madencilik büyük yatırımlar gerektirdiği, yüksek riskler taşıdığı ve dünya fiyatlarına bağlı olduğu için İmparatorluk bu sektörü bağımsız olarak yönetecek kapasiteye sahip değildir. Daha sonra, özellikle yabancı yatırımcılara, sermayelerinden ve bilgi birikimlerinden kar elde etmeyi umarak, cazip imtiyazlar vererek vergilendirmeye yönelmiştir. Ancak bu stratejinin ülkenin endüstriyel kalkınmasına pek faydası olmamıştır. Ulusal kaynakların israfına yol açmış ve beklenen hedeflere ulaşamamıştır (Keskin, 2011: 126).

2.1.3. Cumhuriyet Döneminde Madencilik

Türkiye Cumhuriyeti'nin 1923'te ilan edilmesinden sonra madencilik sektörü, Osmanlı'dan devralınan uygulamalardan uzaklaşarak köklü bir dönüşüm geçirmiştir. İlk yıllarda, özel girişimlerin desteklenmesi amacıyla Türkiye Sanayi ve Maden Bankası gibi finansal kuruluşlar kurulmuş, ancak sermaye yetersizliği ve Kurtuluş Savaşı sonrası olumsuz koşullar devleti madencilikte daha aktif rol almaya yöneltmiştir. Bu çerçevede, 22.06.1935 tarihinde 2804 sayılı Kanun ile Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Genel Direktörlüğü kurulmuş; kuruluş, ülke genelinde jeolojik araştırmalar, maden aramaları ve rezerv tespitleri yürütmüş, kaynakların rasyonel kullanımı için bilimsel bir temel oluşturmuştur. Aynı yıl Etibank'ın kurulmasıyla krom ve bor gibi stratejik madenlerin geliştirilmesine finansman sağlanmıştır. Enerji alanında ise linyit ve kömür üretimi, 1957'de kurulan Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) ve 1983'te kurulan Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) etrafında örgütlenmiştir. Kurumun adı daha sonra, 13.12.1983 tarih ve 186 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) olarak değiştirilmiş ve Türkiye'nin madencilik faaliyetleri için merkezi bir yapı oluşturulmuştur (T.C. Sayıştay Başkanlığı, 2021: 1-2).

Maden işletmeciliği, Maden Dairesi Başkanlığı'nın yerine 1993 yılında çıkarılan bir kararnameyle kurulan Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) tarafından uzun yıllar yürütülmüştür. Bu daire, madencilik mevzuatının uygulanması, ruhsatların verilmesi, projelerin izlenmesi ve faaliyetlerin teknik kontrolü gibi görevlerden sorumlu olmuştur. Halen yürürlükte olan 3213 sayılı Maden Kanunu'nda, maden kaynaklarının mülkiyetinin Türkiye devletine ait olduğu belirtilmiş ve toprak mülkiyetinin tanımı yapılmıştır. 2018 yılında, doğal kaynaklara ilişkin hizmetlerin etkinleştirilmesini amaçlayan idari reform kapsamında, MİGEM ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PİGM), 09.07.2018 tarihli ve 30473 sayılı 3. mükerrer Resmî Gazete'de yayımlanan 703 sayılı Kanun Hükmünde Kararname'nin 118. maddesiyle birleştirilerek Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) kurulmuştur. Bu yeni yapı, Türkiye'de madencilik ve petrol faaliyetlerinin düzenleme, ruhsatlandırma ve teknik kontrol gibi tüm yetkilerini merkezi bir çatı altında toplamıştır (Çevikçelik, 2021).

MAPEG'in organizasyon yapısı Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. MAPEG organizasyon yapısı (MAPEG (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü), 2024: 20).

2.1.4. Madencilik Sektörünün Ekonomik Katkısı

2020 yılında Türk madencilik sektörünün en önemli ihracat pazarı %29'luk payla Çin olmuştur. Ülkede maden satışları %17 artarak yaklaşık 759 milyon dolara ulaşmıştır. İspanya, Belçika ve Bulgaristan da önemli destinasyonlar arasında yer almaktadır. Türkiye'nin madencilik ihracatı bir önceki yıla göre %3 artarak 2.62 milyar dolara ulaşmıştır. Bu ihracat, ülke ekonomisinin istikrara kavuşması ve diğer hayati sektörlerin finanse edilmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Ayrıca madencilik sektörü, özellikle kırsal ve ücra bölgelerde önemli bir istihdam kaynağı yaratmaktadır (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021: 2).

Türkiye, gelişmekte olan bir piyasa ekonomisidir, Türkiye'de madencilik sektörü nispeten genç ve deneyimsizdir; ulusal gayrisafı yurt içi hasılanın yaklaşık sadece %1.2'sini oluşturmaktadır ve yakın zamanda özelleştirme ve yabancı yatırım açılımlarına sahiptir. Ancak son politika değişiklikleri, madencilik ürünlerinin verimliliğini, katma değer üretimini ve ihracatını artırmayı hedeflemektedir (U.S. Department of the Interior, 2017: 3).

Madencilik işletmelerinin kamu maliyesine de önemli etkisi bulunmaktadır. Çünkü madencilik gelirleri altyapı projelerinin ve sosyal programların finansmanına önemli katkı sağlamaktadır. Ancak madencilik sektörünün özellikle doğal kaynak yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma açısından önemli çevresel ve sosyal zorluklarla karşı karşıyadır. Ülke, ekonomik kalkınma çerçevesinde madenciliği daha sorumlu hale getirecek politikaları hayata geçirme çabasıdadır (Akıncı ve Yıldırım, 2025: 4).

Türkiye madencilik sektörü ihracatı ülke dağılımı Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Türkiye madencilik sektörü ihracatı ülke dağılımı (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021: 3).

Ülkeler	2018	2019	2020	2019-20 Değişim	2020 Pay
Çin	726.8	650.4	759.4	17%	29.0%
İspanya	176.0	186.0	202.8	9%	7.7%
Belçika	237.6	174.2	196.4	13%	7.5%
Bulgaristan	79.9	111.5	183.7	65%	7.0%
İtalya	151.8	126.5	120.9	-4%	4.6%
Romanya	33.1	60.4	84.3	40%	3.2%
ABD	99.5	86.8	67.0	-23%	2.6%
Hollanda	76.6	66.5	64.3	-3%	2.5%
Almanya	63.3	71.9	58.7	-18%	2.2%
İran	78.5	63.5	50.6	-20%	1.9%
İsveç	95.3	63.6	50.3	-21%	1.9%
Hindistan	59.3	53.6	47.0	-12%	1.8%
Cezayir	12.1	40.2	45.4	13%	1.7%

Tablo 1. (Devamı)

Ülkeler	2018	2019	2020	2019-20 Değişim	2020 Pay
Rusya	46.3	55.2	43.4	-21%	1.7%
Avusturya	52.3	35.7	36.3	2%	1.4%
Nijerya	18.2	26.9	35.0	30%	1.3%
İsrail	36.9	33.7	34.7	3%	1.3%
Ukrayna	43.7	30.1	31.8	6%	1.2%
İngiltere (BK)	24.1	25.0	29.4	18%	1.1%
Güney Kore	81.5	39.6	29.1	-27%	1.1%
İlk 20 Ülke	2.193	2.001	2.170	8%	83%
Toplam	2.754	2.545	2.622	3%	100%

2.1.5. Etkinlik ve Verimlilik Kavramları

Etkinlik ve verimlilik, madencilik faaliyetlerinin yönetiminde kritik bir rol oynar ve işletmelerin karlılığı, rekabet gücü ile sürdürülebilirliğini doğrudan etkiler. Madencilik, sermaye yoğun bir sektör olduğundan, ekipman kullanımının doğru ölçülmesi ve verimli kullanımı, üretim maliyetlerini düşürmek ve operasyonel performansı artırmak için esastır. Bu nedenle, ekipmanların etkin yönetimi, operasyonların genel verimliliğini yükseltir ve işletmenin rekabet avantajını güçlendirir (Elevli ve Elevli, 2010: 95).

Madencilikte verimlilik, sadece çıkarılan maden hacmiyle sınırlı olmayıp, operasyonun üretim hedeflerine ulaşma, güvenlik ve çevresel sürdürülebilirlik standartlarını karşılama kapasitesini de içerir. Örneğin, çevresel etkileri azaltılmış sürdürülebilir bir üretim sürdüren bir maden işletmesi verimli ve sürdürülebilir olarak kabul edilir (Laurence, 2011: 279).

Teknolojik değişimin istihdam ve ücretler üzerindeki etkileri tartışmalı bir konudur. Otomasyon, sermayenin daha önce emeğin yaptığı görevleri yerine getirmesine olanak tanıyarak üretimdeki görev içeriğini emek aleyhine kaydıran bir yer değiştirme etkisine neden olur (Acemoglu ve Restrepo, 2019: 7).

Bir işletme, mümkün olan en az kaynağı kullanarak gerekli miktarda minerali çıkardığında verimlidir. Tipik bir verimlilik iyileştirme stratejisi, üretim süreçlerinin etkin bir şekilde koordine edilmesiyle verimsiz süreçlerin azaltılması ve operasyonların genel performansının artırılmasıdır. “Madencilik endüstrisinin verimliliğini artırmak için üretim süreçlerinin tümünü koordine etmek gerekir; bu, madencilik ve taşıma ekipmanlarının verimsiz duruş sürelerini azaltarak üretkenliklerini artırır ve üretim döngüsünün tüm aşamalarında operasyon maliyetlerini düşürür (Tyurin ve Kuvataev, 2020: 2).

Madencilik faaliyetlerindeki temel zorluk, operasyonel etkinlik ile çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik arasında bir denge kurmaktır. Bir işletme üretim hedeflerine ulaşabilir; ancak kaynakları aşırı tüketmesi veya çevresel standartları ihmal etmesi durumunda genel performansı sürdürülebilir olarak kabul edilmez (Fonseca vd., 2014: 72).

Hem etkinliği hem de verimliliği artırmak için süreçlerin otomasyonu, operasyonların dijitalleştirilmesi, TDP gibi optimizasyon yöntemlerinin uygulanması vb. çeşitli kaldıraçlar harekete geçirilebilir (Topal, 2008: 100).

Dinamik görevlendirme, maden gibi geleneksel endüstrilerde operasyon optimizasyonunun temel sorunlarından biridir; çünkü doğru kaynakları doğru zamanda ve doğru yere akıllıca tahsis etmeyi içerir (Zhang vd., 2020: 1436).

2.1.6. Madencilik Faaliyetleri ve İşgücü

Açık ocak madenlerinde çalışan işçiler, çalışma ortamıyla ilişkili stabil olmayan zemin, tehlikeli ekipman, gürültü, toz ve fiziksel ile kimyasal etkenlere maruz kalma gibi çok sayıda tehlikeyle karşı karşıyadır; bu durum meslek kazalarına, yaralanmalara ve meslek hastalıklarına yol açabileceğinden uygun güvenlik önlemleri ve sağlık gözetimi gerektirir (International Labour Office, 2018: 2-3).

Jaillet vd. (2022) göre, özellikle işe alma, işten çıkarma ve terfi kararlarıyla ilgili işgücü planlaması, uzun zamandır insan kaynakları yönetiminde yapısal bir zorluk olmuştur (Jaillet vd., 2022: 1043).

Madencilik sektöründe insan kaynakları planlaması, özellikle işgücünün yaşlanması, emeklilik oranları, beceri uyumsuzlukları ve eğitim gereksinimleri gibi faktörlerin etkisiyle dinamik bir şekilde ele alınmalıdır; çünkü bu eğilimler gelecekteki işgücü talebini derinden etkileyebilir (National Research Council, 3).

Madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği yönetimi ve insan kaynakları yönetimi arasındaki etkileşim, çalışanların örgütsel bağlılığı ve güvenlik prosedürlerine uyumunu önemli ölçüde etkiler. Çalışma, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının etkin olduğu durumlarda çalışan bağlılığının arttığını ve bunun madencilik işletmelerinin etkin insan kaynakları stratejileri ile desteklenmesi gerektiğini göstermektedir. Madencilikte başarılı iş sağlığı ve güvenliği yönetimi; kazaları azaltarak ve işyeri eğitim ve uyum mekanizmalarını güçlendirerek çalışanların örgütsel bağlılığını artırır (Badam, 2024: 613).

Bu araştırmanın pratik katkısı, madencilik işletmelerinin yalnızca rekabetçi ücret politikalarına odaklanmalarının yeterli olmadığını, aynı zamanda çalışanlara yönelik

istikrarlı, sürdürülebilir ve tatmin edici bir çalışma ortamı oluşturmayı amaçlayan bütüncül ödül sistemleri tasarımlarının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır. Madencilik sektöründe iş güvencesizliği ve yetersiz ödüllendirme uygulamaları, çalışan bağlılığı ve iş tatmini üzerinde olumsuz etkilere yol açmakta; ücretler ve yan haklar ise iş gücünün sürekliliği ve istikrarının sağlanmasında belirleyici bir rol üstlenmektedir (Gunawan vd., 2024: 5).

Maden sahaları çoğunlukla uzak bölgelerde yer aldığından vardiyalı çalışma yaygındır ve bu durum çalışanların motivasyonunu ve refahını etkileyebilir; araştırmalar göstermektedir ki madencilik işletmelerinin çalışan refahını sağlamaya yönelik yaklaşımları zihinsel sağlık, fiziksel güvenlik ve işyeri kültürü unsurlarını dikkate almalı ve güçlü destek sistemlerine sahip sağlıklı çalışanlar, operasyonel stres faktörlerine karşı daha yüksek verimlilik, bağlılık ve dayanıklılık sergileme eğilimindedir (Duncan vd., 2022: 10-11).

Bir Afrika raporuna göre, otomasyonla değiştirilmeye yatkın işlerin tahminleri değişse de, gelişmekte olan ülkelerin otomasyona daha duyarlı olduğu açıktır, gelişmiş bilgi işlem gücü, yapay zekâ ve robotik ile çok daha geniş bir meslek yelpazesi risk altındadır (Millington, 2017: 2).

2.2. Kurallar ve İş Yönetimi

2.2.1. Madencilik Mevzuatı ve İşgücü Yönetimi

Türk madencilik mevzuatı esas olarak 4 Haziran 1985 tarihinde kabul edilen 3213 sayılı Maden Kanunu ile düzenlenmektedir. Bu kanun, maden kaynaklarının aranması, işletilmesi ve üretimine ilişkin yasal çerçeveyi belirlemektedir. Kanunun 4. maddesinde “Madenler Devletin hüküm ve tasarrufu altında olup, içinde bulundukları arzın mülkiyetine tabi değildir.” hükmü yer almaktadır. Bu düzenleme ile madenlerin mülkiyeti devlete ait olmakta, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın yetki ve denetimi çerçevesinde gerçek ve tüzel kişilere ruhsat verilmesine imkân tanınmaktadır. (3213 Sayılı Maden Kanunu, madde 4).

Aynı zamanda 2012 yılında çıkarılan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu madencilik sektörü için temel bir metin niteliği taşımaktadır. Bu kanun, işverenlerin güvenli çalışma koşullarını sağlamalarını, işçilere uygun eğitim vermelerini ve iş kazası riskini sınırlamak için önleyici tedbirler almalarını zorunlu kılarak madenlerde gerçek bir önleme kültürünün yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır (6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, madde 4).

Madencilik sektöründe iş yönetimi de işveren ile işçi arasındaki ilişkileri ve genel çalışma koşullarını düzenleyen 4857 sayılı İş Kanunu hükümlerine tabidir. Bu Kanun, özellikle 53 ve devamı maddelerinde, deneme süresi de dâhil olmak üzere bir yıllık kesintisiz hizmetten sonra ücretli izin hakkının kazanılmasını öngörmektedir. İzin günü sayısı kıdeme ve işin niteliğine göre belirlenmekte olup, 18 yaşından küçük veya 50 yaşından büyük işçiler için en az 20 gün, yer altı maden işçileri için ise özellikle maruz kaldıkları zor koşullar nedeniyle en az 24 gündür (Labour Act of Turkey, 2003: Article 53).

İşçiler ve yer altı maden işlerinde çalışan işçiler için iş hukukuna göre ücretli yıllık izinler Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. İş hukukuna göre ücretli yıllık izin (Mehmet Koçak Danışmanlık Grubu, t.y.).
ASGARİ YILLIK SÜRELERİ

Kıdem Süresi/ Yaş	İşçiler İçin	Yer Altı Maden İşlerinde Çalışan İşçiler İçin
Hizmet süresi bir yıldan beş yıla kadar (beş yıl dâhil) olanlara	14 gün	18 gün
Hizmet süresi beş yıldan fazla on beş yıldan az olanlar	20 gün	14 gün
Hizmet süresi on beş yıl (dâhil) ve daha fazla olanlar	26 gün	30 gün
18 yaş ve altında olan küçükler (ilk 5 yıllık kıdem süresi için)	20 gün	18 yaş ve altında olan küçükler yer altı maden işlerinde çalışamaz.
50 yaş ve üzerinde olan işçiler (ilk 5 yıllık kıdem süresi için)	20 gün	24 gün

2.2.2. Yasal İnceleme ve Çalışma Üzerindeki Etkileri

Madencilik faaliyetlerini düzenleyen yasal çerçeve esas olarak 3213 sayılı Maden Kanunu’nu içerir. Bu Kanun, madenlerin aranması, işletilmesi, üzerlerinde hak sahibi olunması ve terk edilmeleri ile ilgili esas ve usulleri belirler. Ayrıca, güvenlik ve çalışma koşullarına ilişkin çeşitli yönetmelikler ile desteklenen bu yasal çerçeve, madencilik yatırımlarının teşvik edilmesi ile işçilerin haklarının güvenli bir şekilde korunması arasında bir denge sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sayede işletmeler, faaliyetlerini yasal sınırlar içinde sürdürürken, işçi güvenliğini ve çevresel korumayı da temin edebilir (3213 Sayılı Maden Kanunu, madde 1).

Haftalık bakım planlaması, ekipman üzerindeki bakım faaliyetlerinin iş gücü ve kısıtlamalar dikkate alınarak ne zaman gerçekleştirileceğini belirler. Güncel yaklaşımlar, bu programı oluşturmanın yoğun iş gücü gerektirdiğini ve bakım planlamacıları ile operasyon ekibi arasında koordinasyon ihtiyacını arttırdığını gösterir (Palmer vd., 2017: 200)

Öte yandan işçi hakları boyutu incelendiğinde, 4857 sayılı İş Kanunu'nun 63. maddesine göre, genel bakımdan çalışma süresi haftada en çok kırk beş saattir ve aksi kararlaştırılmadıkça haftanın çalışılan günlerine eşit olarak bölünür. Ayrıca kanun, yer altı maden işlerinde çalışan işçilerin günlük en çok yedi buçuk ve haftada en çok otuz yedi buçuk saat çalışabileceğini açıkça düzenlemektedir (Labour Act of Turkey, 2003: Article 63).

Madencilik sektöründe yasal yaptırımların uygulanmasındaki en büyük zorluklardan biri, uzak sahaların etkili bir şekilde izlenmesinin zorluğudur; çünkü madencilik alanlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından kontrolünü sağlamak üzere mevzuat geliştirilmesinde çeşitli denetim sistemleri uygulanmıştır ve bu sistemlerin değişimi, maden işletmelerinin gözetimi ve düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Yıldız ve Maral, 2020: 1642).

2.2.3. İdari Prosedürler ve İşe Alım Üzerindeki Etkisi

Türkiye'de 3213 sayılı Maden Kanunu kapsamında, mineral arama, işletme ve ruhsatlandırma esas ve usulleri düzenlenmekte olup, madencilik faaliyetlerinin tüm aşamalarında çevresel etki değerlendirmesi yapılması ve çevre koruma standartlarına uyulması zorunludur; çevreye veya sağlığa zarar verdiği tespit edilen faaliyetler, uygun önlemler alınana kadar durdurulmalıdır (Republic of Turkey, t.y.: Article 7).

Madencilik faaliyet izinleri ve bu izinleri vermeye yetkili kuruluşlar Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Madencilik faaliyet izinleri ve bu izinleri vermeye yetkili kuruluşlar (Tabii Kaynaklar Dairesi Başkanlığı / TOBB Türkiye Madencilik Meclisi, 2020: 62).

Alınacak İzin/Ruhsat	İzni/Ruhsat Veren Makam
1 Maden İşletme Ruhsatı ve İşletme İzni	MAPEG
2 ÇED İzni	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
3 Arazi Kullanım İzni	Tarım İl Müdürlüğü
4 Arazi Kullanım İzni	Arazi Sahibinden
5 Orman İzni	Tarım ve Orman Bakanlığı
6 İş Yeri Açma ve Çalışma Ruhsatı	Valilik (YİKOB)/İl Özel idaresi

Tablo 3. (Devamı)

Alınacak İzin/Ruhsat	İzni/Ruhsat Veren Makam
7 Atık Depolama İzni	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
8 Tesis İzni	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
9 Mera Vasfının Kaldırılması	Tarım ve Orman Bakanlığı
10 Kültür ve Turizm Bakanlığı Olumlu Görüşü	Kültür ve Turizm Bakanlığı
11 Ön Emisyon ve Emisyon İzinleri	Sağlık Bakanlığı
12 İşyeri Bildirimi	SSK, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Vergi Dairesi
13 İmar İzni	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
14 İnşaat İzni	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
Alınacak İzin/Ruhsat	İzni/Ruhsat Veren Makam
15 Elektrik Ruhsatı	TEDAŞ
16 Su Ruhsatı	DSİ veya Belediye
17 Patlayıcı Madde Depo İnşaat İzni	İçişleri Bakanlığı ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
18 Patlayıcı Madde Alma ve Kullanma Ruhsatı	İçişleri Bakanlığı
19 Diğer İzinler	Askeriye, DSİ, vd.

Madencilik sektöründe işe alanlar, maden mühendisleri, jeologlar ve endüstriyel güvenlik uzmanları gibi belirli teknik becerilere sahip profilleri aramaktadır. Yabancı işçi istihdamı, ulusal iş hukuku düzenlemeleri kapsamında sıkı izinler ve yetkilendirmeler gerektirmektedir. Bu düzenlemeler, yerel işçilerin hakları ile vasıflı yabancı işçiye duyulan ihtiyacı dengelemeyi amaçlamakta, yabancılara yalnızca yerel işçilerle doldurulamayan pozisyonlarda çalışmasına izin vermekte ve iş gücü planlaması ile uyumlu politika ve prosedürlerin uygulanmasını sağlamaktadır. Ayrıca, yabancı işçilerin çalıştırılmasına yönelik idari süreçler; çalışma izinlerinin alınması, iş sözleşmelerinin düzenlenmesi ve diplomaların sunulmasını içermekte, işletmelerin çalışanlarını bu süreçlere uygun şekilde yönlendirmesini gerektirmektedir (Hamid, 2018: 16).

2.3. İşgücü Planlamasını Etkileyen Faktörler

2.3.1. Takım Organizasyonu ve Operasyonel Kısıtlamalar

Ekipler genellikle işlevsel olarak organize edilir; jeoloji, mühendislik, güvenlik ve bakım alanlarındaki uzmanlar, görevlerini verimli bir şekilde dağıtmak ve operasyonların sürekliliğini sağlamak için belirli rollere atanır. Bu küçük, uzman

gruplar ortak hedeflere ulaşmak için birlikte çalışır ve modern örgüt yapılarının temelini oluşturur. Madencilikte ekip çalışması, operasyonel etkinlik ve sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir; ekip organizasyonu ve iletişim, performansı belirleyen temel unsurlardır (Miljković, 2024: 27)

Yapay zeka, makine öğrenmesi ve otonom teknolojiler, maliyetlerin azaltılması, verimliliğin artırılması ve üretkenliğin geliştirilmesi, tehlikeli koşullara maruziyetin azaltılması, sürekli üretim ve geliştirilmiş güvenlik gibi yollarla madencilik endüstrisine birçok ekonomik fayda sağlamaktadır (Hyder vd., 2019: 68).

Yeni teknolojilerin entegrasyonu bu sorunların üstesinden gelmek için potansiyel bir çözüm sunmaktadır. Süreç otomasyonu ve yapay zekanın kullanımı, yüksek riskli ortamlarda insan müdahalesini sınırlayarak tehlikeli görevlerle ilişkili riskleri önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu teknoloji aynı zamanda tekrarlayan süreçleri otomatikleştirerek ekip üretkenliğini artırabilmekte ve çalışanların daha yüksek katma değerli görevlere odaklanmasını sağlayabilmektedir. Açık ocak madenciliğinde çalışanlar özellikle toz maruziyeti, ağır ekipman kullanımı ve çevresel koşullar nedeniyle ciddi iş sağlığı ve güvenliği riskleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu risklerin yeterince kontrol altına alınmaması, hem meslek hastalıklarının hem de iş kazalarının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle düzenli risk değerlendirmesi yapılması, koruyucu ekipman kullanımının sağlanması ve çalışma ortamının sürekli izlenmesi büyük önem taşımaktadır (Doğan, 2023: 1501-1502).

2.3.2. İşgücü Talebindeki Dalgalanmalar

Madencilik sektöründe istihdam, ekonomik büyüme ve durgunluk dönemleri gibi iş döngülerine bağlı olarak dalgalanmalar göstermektedir; sektör genişleme dönemlerinde talep artarken, daralma dönemlerinde işgücü talebinde düşüşler gözlemlenebilir ve bu dalgalanmalar işgücü hareketliliğini ve sektörel istihdam dinamiklerini etkiler (Foo ve Salim, 2022: 311).

Madencilik ve bölgesel ekonomilerdeki rolü, son birkaç on yılda küresel talep dalgalanmaları, teknolojik ilerlemeler ve sürdürülebilirlik önceliklerindeki değişimlerle şekillenmiştir. Tarihsel olarak, hammadde fiyatlarının düşmesi, enerji politikalarındaki değişimler ve otomasyon, özellikle kömür madenciliğinde önemli iş kayıplarına katkıda bulunmuştur. Madencilik işgücü, kritik minerallere yönelik küresel talebin artması ve teknolojik değişimin yönlendirdiği sektörün değişen ihtiyaçlarına uyum sağlarken gelişen zorluklarla karşı karşıyadır (OECD, 2025: 10-11).

Örneğin, talebin yoğun olduğu dönemlerde, işletmelerin artan talebi karşılamak için geçici personel kullanma veya dış kaynak kullanma yoluyla uyum sağlamaları gerekebilir. Araştırmalar, madencilik sektöründe talep ve piyasa koşullarındaki dalgalanmaların, ihracat performansı dâhil olmak üzere birçok ekonomik göstergede önemli değişikliklere yol açtığını göstermektedir. Türkiye madencilik sektörünün ihracatının hem içsel hem de dışsal siyasi ve ekonomik faktörlerden etkilendiği, özellikle dışsal konjonktürel dalgalanmaların sektör performansı üzerinde belirgin etkiler yarattığı bulunmuştur; bu durum, işgücü içerisinde istikrarsızlığa yol açabilmekte ve esnek ve uyumlu bir işgücü yönetimini gerekli kılmaktadır (Sönmez, 2016: 325).

Geçici personel kullanımı gibi mekanizmalar personel seviyelerinde hızlı ayarlamalara olanak sağlasa da bu ayarlamalar güvenlik, kalite ve operasyonların koordinasyonu açısından riskler taşımaktadır. Madencilikte sözleşmeli iş gücü, zayıf eğitim, örgütsel düzensizlik ve geçici çalışanlar için artmış risk maruziyeti dâhil olmak üzere daha kötü mesleki sağlık ve güvenlik sonuçlarıyla ilişkilendirilmiştir (Jackson ve Quinlan, 2024: 592).

2.3.3. Yeni Teknolojilerin Personel İhtiyaçları Üzerindeki Etkisi

Madencilik endüstrisi, otomasyon ve robotik teknolojilerinin hızlı gelişimi ile dönüşüm yaşamaktadır. Otomatik sistemler ve robotik, operasyonel güvenliği, verimliliği ve üretkenliği artırırken maliyetleri ve çevresel etkileri azaltmaktadır. Bu teknolojik değişim, sahadaki görevlerin bazılarını otomatikleştirerek manuel ve tekrarlayan işleri azaltırken, gelişmiş ekipman ve akıllı sistemleri yönetmek, bakımını yapmak ve denetlemek için gerekli vasıflı personele olan talebi artırmaktadır. Bu nedenle, işletmelerin çalışanlarını yeni teknolojilere uyum sağlayacak şekilde sürekli eğitmeleri gerekmektedir. Bu bağlamda, otomasyon sistemlerinin sahadaki etkileri, manuel işlerin azalması ve gelişmiş beceri gerektiren görevlerin artmasıyla birlikte, madenin büyüklüğü ve türüne bağlı olarak değişmekte; ancak işletme maliyetlerini düşürürken güvenliği artırmaktadır. Sonuç olarak, otomasyon teknolojileri genel işçi sayısında azalma yaratmasa da gereken beceri türlerini dönüştürmekte ve işletmelerin sürekli eğitim yatırımları yapmasını zorunlu kılmaktadır (Li, 2024: 450).

de Holanda Araujo (2024), madencilik iş gücü piyasasındaki dönüşümün, işletmelerin aradığı becerileri teknoloji yoğun ve yüksek düzeyde mesleki eğitim gerektiren niteliklere doğru kaydırıldığını belirtmektedir (de Holanda Araujo, 2024: 23).

2.3.4. İşin Otomasyonu ve Optimizasyonu

Otomasyon, maden endüstrisinde verimliliği, güvenliği ve üretkenliği artırırken, yaygınlaşmasının beraberinde getirdiği zorluklar da vardır. Bu zorluklar arasında yüksek başlangıç maliyetleri, iş gücünün yer değiştirmesi ve iş kaybı endişeleri ile otomasyon sistemlerini denetlemek ve sürdürmek için gerekli olan uzmanlaşmış beceri ve eğitim ihtiyacı yer almaktadır (Long vd., 2024: 2, 17).

Otonom kamyonlar, yüzey madenlerinde 10 yılı aşkın süredir kullanılmakta olup çarpışma risklerinin belirgin şekilde azalmasıyla sonuçlanmıştır. Delgi makinelerindeki operatörlerin kaldırılması, toz ve titreşim nedeniyle maruz kalınan riskleri, giriş-çıkış tehlikelerini ve maden sahasında araçla seyahatle ilişkili güvenlik risklerini ortadan kaldırır (Burgess-Limerick vd., 2024: 2).

Madencilik operasyonlarında otomatikleştirilmiş teknolojilerin kullanılması, çalışanların yeni beceriler kazanmasını ve sürekli eğitim almasını gerektirir; bu sayede işgücü planlaması operasyonel maliyetleri düşürmenin yanı sıra üretimin değişen piyasa koşullarına hızlı uyum sağlamasını da destekler. Bu durum, her projenin ihtiyaç duyduğu işçi sayısının optimize edilmesine olanak tanır, verimliliği ve esnekliği artırırken vasıfsız işgücüne olan bağımlılığı azaltır (Mining Industry Human Resources Council, 2020: 14).

Madenlerde otomasyon ve optimizasyonun gösterimi Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Madenlerde otomasyon ve optimizasyonun gösterimi (Hürriyet Gazetesi, 2023).

Gelişen teknoloji ile birlikte mobil robotlar çeşitli alanlarda etkileyici ilerlemeler sağlamıştır. İnsanlık açısından en yorucu ve potansiyel olarak tehlikeli çalışma

ortamlarından biri olan madenlerde bu mobil robotik ilerleme etkili olacaktır; yer altı personelinin yerini alabilen robotlar mesleki kazaları ve maliyetleri önemli ölçüde azaltabilir ve yalnızca robotlar tarafından işletilen insansız makineler insan hayatını hiçbir şekilde tehlikeye atmaz (Külekçi ve Ünker, 2022: 140).

2.4. Personel Dönüşümü ve Organizasyonu

Personel yeniden yapılanmasının temel amacı, insan becerilerinin değişen operasyon ihtiyaçlarına göre uyarlanması, böylece üretimde verimlilik ve sürekliliğin sağlanmasıdır; bu çerçevede stratejik insan kaynakları uygulamaları, çalışan davranışlarının değişim girişimlerinde yönlendirilmesinde ve yeni önceliklere etkin uyum sağlanmasında kritik bir rol oynar. Bu nedenle madencilik sektörü gibi yüksek uzmanlık ve adaptasyon gerektiren sektörlerde personel dönüşümü yalnızca teknik eğitimleri değil, aynı zamanda insan kaynakları uygulamalarının stratejik olarak yeniden düzenlenmesini de gerektirmektedir (Çolakoğlu vd., 2016: 185).

İşletmelerin pazar değişikliklerine ve operasyonel zorluklara hızlı yanıt verebilmek için ekiplerini yeniden yapılandırmaları gerekir. Bu, özellikle çalışma koşullarının hızla değiştiği ortamlarda insan kaynakları yönetiminde esnek uygulamaların benimsenmesini gerektirir; bu bağlamda esneklik, çalışanların görev zamanlarını, yerini ve sürelerini etkileyen seçimler yapma fırsatı olarak ele alınır ve örgütlerin motivasyon, performans ve çevresel değişimlere yanıt verme yeteneğini artırır (Bal ve De Lange, 2015: 132).

Üretkenliği en üst düzeye çıkarmak ve maliyetleri azaltmak amacıyla, çalışanların yer üstünde veya yer altında farklı iş istasyonlarına en uygun şekilde dağıtılması kritik bir süreçtir. İnsan kaynakları planlaması, bir işletmenin mevcut durumundan insan kaynağı açısından hedeflenen duruma nasıl ulaşabileceğini belirleyen sistematik bir süreçtir; işgücü talebini etkileyen ekonomik, teknik ve rekabet faktörleri yönetim tarafından izlenmeli ve planlama sürecinde teknik yöntemler (Delphi ve nominal teknikler) kullanılmalıdır. Bu yaklaşım, her göreve özgü becerilerin, iş yükünün ve risklerin titizlikle analiz edilmesini sağlayarak hem verimliliği artırır hem de maliyetlerin etkin bir şekilde kontrol edilmesine katkı sağlar (Türengül, 2024: 268).

Çağdaş çalışma hayatı, yıllar boyunca değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte insanların sahip oldukları bakış açısı ve farklı yaklaşım modelleri ile gelişerek şimdiki halini almıştır. Stratejik insan kaynakları yönetimi çalışma hayatına bambaşka bir bakış açısıyla yaklaşmış ve süreçleri daha kapsamlı olarak ele almıştır. Stratejik insan kaynakları yönetiminde uygulanan yetenek yönetimi yaklaşımı ile doğru işe, doğru

kişiyi yerleştirmek esas alınarak, yetenek yönetimi ile işletmeye kazandırılacak yetenekli kişilerin tedariki ve istihdamının yanında, işletme içerisinde bulunan mevcut çalışanların yeteneklerini belirleyip, bu yeteneklerin işletme strateji ve hedefleri doğrultusunda etkili kullanımı amaçlanmaktadır (Erdoğan ve Salepcioğlu, 2020: 295).

2.4.1. İş Sayısı ve Son Trendler

Otomasyon gibi teknolojiler, bazı mesleklerde önemli görevleri yerine getirmektedir. Otomasyon, bir zamanlar insanlar tarafından yapılan görevleri yerine getirmek için makinelerin kullanılmasıdır. Bu durum, madencilik sektöründe insan çalışanlara olan talebin azalmasına yol açmıştır (International Institute for Sustainable Development, 2025: 28).

Otomasyon sadece insanları değiştirmekle kalmaz; işi değiştirir ve yeni görevler ekler. Örgütsel olarak, otomasyonun tanıtılması iş süreçlerini, bilgi akışını, çalışan eğitimini ve özellikle operatörler, iş arkadaşları, yönetim ekipleri ve tasarımcılar arasındaki ilişkileri etkiler (Codoceo-Contreras vd., 2024: 207).

Madencilik sektöründe otomasyon teknolojilerinin benimsenmesi, özellikle manuel ve tekrarlayan görevlerde çalışan işlerin sayısında azalmaya neden olurken, otonom taşıma sistemleri gibi ileri otomasyon uygulamaları nedeniyle bu tür işleri azaltmıştır. Bu dönüşüm aynı zamanda madencilik işletmelerinin aradığı beceri profillerini de değiştirmiş, veri yönetimi, sistem bakımı ve ileri teknoloji operasyonlarını yönetmek için daha yüksek düzeyde mesleki eğitim gerektiren pozisyonlara talebi artırmıştır (de Holanda Araujo, 2024: 78). Madencilik sektöründe dijital teknolojilerin ve otomasyon uygulamalarının yaygınlaşması, yalnızca üretim süreçlerini değil, aynı zamanda iş gücünün nitelik yapısını da dönüştürmektedir. Bu dönüşüm, çevresel sorumluluk, risk yönetimi ve operasyonel verimlilik gibi alanlarda uzmanlaşmış çalışanlara olan ihtiyacı artırmakta ve insan kaynakları politikalarının yeniden yapılandırılmasını gerekli kılmaktadır (Lazarenko vd., 2021: 1).

2.4.2. Maden İşçilerinin Profilleri ve Nitelikleri

Madencilik endüstrisi, otomasyon teknolojilerinin hızlı ilerlemesi ve benimsenmesi ile yön bulunduran bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Madencilerin artık otomasyon sistemlerini yönetme, ileri düzey ekipmanların bakımını yapma, veri analizi yapma ve dijital becerilere sahip olma gerekliliği artmıştır. Ayrıca güvenlik, risk yönetimi ve proje yönetimi alanlarındaki beceriler de vazgeçilmez hale gelmiştir. Geleneksel madencilik hâlâ temel işgücü becerilerine ihtiyaç duymaktadır, ancak

günümüz madencilerinin makine otomasyonu ve üretim yönetimi yazılımları gibi ileri teknolojilere hâkim olması gerekmektedir (Long vd., 2024: 2, 17).

2.4.3. Vardiyalı Çalışma ve Program Yönetimi

Madenlerde çalışma programlarının yönetilmesi, özellikle çalışma koşullarının oldukça zor olduğu yer altı madenlerinde, işgücü planlamasının önemli bir parçasıdır. Türkiye’deki birçok madende 12 saatlik vardiyalı çalışma norm haline gelmiştir. Bu durum işçilerde yüksek düzeyde yorgunluk ve strese yol açabilmekte, üretkenliğin azalmasına ve kaza riskinin artmasına neden olabilmektedir. Ona göre program yönetimi, güvenlik ile operasyonel performans arasında dengeyi sağlayacak şekilde optimize edilmelidir (Omidi vd., 2017: 24).

Uzun çalışma saatleri hem kısa vadeli yorgunlukla hem de uzun vadeli sağlık bozulmasıyla ilişkilidir; bu yüzden kaza riskini artırarak ve dikkat seviyesini azaltarak işçi güvenliğini olumsuz etkileyebilir (Tucker ve Folkard, 2012: 2).

Çalışanların gerçek zamanlı sağlık takibi gibi modern teknolojilerin devreye girmesi, gece mesai ve uzun çalışma saatleriyle ilişkili risklerin daha iyi yönetilmesine yardımcı olur. Çalışanların sağlıklarını izlemek ve iş kazalarını önlemek amacıyla iş yerlerinde giderek daha fazla kullanılan giyilebilir sağlık teknolojileri çalışanların biyometrik verilerini gerçek zamanlı olarak izlemektedir. Bu veriler, kullanıcının konumu, aktivitesi, hareketi ve hayati belirtilerini içerir ve bunlar iş sağlığı ve güvenliği profesyonelleri tarafından analiz edilerek potansiyel riskler belirlenmekte ve önlenmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Mobil sağlık uygulamaları, kullanıcıların sağlık bakımlarını takip etmelerini, tedavi ölçümleri yapmalarını ve sağlıklı yaşam biçimlerini sürdürmelerini sağlayan teknolojik araçlardır; iş yerinde sağlık risklerinin izlenmesi, hastalıkların erken teşhisi ve sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmaktadır (Çabuk vd., 2025: 184).

Ayrıca, Türk madencilik işletmeleri yorgunluk ve stresi yönetmek için stratejiler benimsemiştir; örneğin, çalışanlara ruh sağlığı eğitimi ve düzenli molalar sunulmaktadır. Bu uygulamalar, zorlu çalışma ortamlarında güvenliğin artmasına ve insan hatasının azalmasına katkıda bulunur. Buna ek olarak, esnek çalışma saatleri ve daha iyi vardiya yönetimi gibi avantajlarla iş-yaşam dengesinin önemi vurgulanmaktadır. Kalenov ve Kukushkin (2021), mobil uygulamalar ve çevrimiçi yönetim platformları gibi modern iletişim teknolojilerinin kullanımının, madencilik işletmelerinin operasyonel süreçlerinde verimlilik ve uyum açısından önemli kazanımlar sağladığını göstermektedir. Önde gelen küresel madencilik işletmeleri, üretim ve çevresel verimliliği artırmak, manuel iş gücünü azaltmak ve enerji maliyetlerini düşürmek için otomasyona ve modern enerji teknolojilerine büyük yatırımlar yapmaktadır. Bu, çalışma saatlerinde daha fazla şeffaflık, çalışanlar için bilgiye daha iyi erişim ve daha koordineli ekip planlaması sağlar (Kalenov ve Kukushkin, 2021: 1-2).

2.4.4. Haftalık ve Vardiya Planlama Modelleri Arasındaki Farklar

Madencilik sektöründe planlama, operasyonel gereksinimlere göre kaynakların optimize edilmesine yönelik modeller üzerine kuruludur. Özellikle üretim planlaması, farklı zaman dilimlerinde kazı sıralamasının, üretim miktarlarının ve kapasite sınırlarının belirlenmesini gerektirir. Bu kapsamda uzun dönem planlama, kısa dönem operasyonel kararlar için bir çerçeve oluşturmakta ve teknik ile ekonomik kısıtların birlikte değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Açık ocak madenciliğinde, uzun vadeli üretim planlaması, operasyonel kısıtlamaları entegre ederek net bugünkü değeri maksimize etmek amacıyla, birden fazla dönem boyunca çıkarma sıralarını ve üretim sınırlarını belirler. Kısa vadeli ve uzun vadeli planlama birbirini tamamlar; uzun vadeli planlar operasyonel kararlar için sınırlar sağlar ve teknik ve ekonomik gereksinimleri karşılamak için optimizasyon yöntemleri gerektirir (Kaydım, 2022: 1-2).

Bu planlama, organizasyon içindeki faaliyetlerin koordine edilmesi ve kaynakların stratejik düzeyde planlanması için idealdir. Genellikle 6 ila 12 saatlik daha kısa sürelerle daha uygun olan ekip planlama modellerinin analizidir. Yer altı madenleri gibi koşulların hızla değişebildiği dinamik işletme ortamlarında, otomatik çizelgeleme sistemleri mevcut veriler ışığında planları hızlı bir şekilde yeniden düzenleyebilir ve alternatif çözümler sunabilir. Bu sistemler, ayırık olay simülasyonu modelleri kullanılarak önceden test edilerek finansal ve operasyonel riskler azaltılabilir. Bu kısa vadeli planlama, ekipman arızaları veya üretim gecikmeleri gibi öngörülemeyen olaylara karşı yüksek tepki kabiliyetine olanak tanır (Skawina vd., 2021: 280).

Ekip planlamasının başlıca avantajlarından biri, öngörülemeyen değişikliklere hızla uyum sağlayabilmesidir. Bu model, örgütsel esnekliği teşvik ederek verimliliği artırır ve aksaklıkların etkisini azaltır. Halvani ve Mirmohammadi (2009), haftalık planlamanın uzun vadeli yönetim için daha uygun olmasına rağmen, hızla değişen çalışma koşullarıyla karşı karşıya kalındığında esneklik açısından sınırlamaları olabileceğini açıklamaktadır. Kaza bildiren vardiyalı çalışanların, kaza bildirmeyenlere göre daha yüksek yorgunluk puanlarına sahip olduğu bulunmuştur (Halgani vd., 2009: 137).

Haftalık ve vardiya planlama modellerinin karşılaştırması Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 4. Haftalık ve vardiya planlama modellerinin karşılaştırması

Kriterler	Haftalık Planlama	Vardiya Planlaması
Esneklik	Haftalık bazda olası ayarlamalar	Katı, sabit döngülere dayalı
Mola yönetimi	Programa daha uzun molalar entegre edildi.	Her çeyreğe yayılmış kısa molalar
Üretkenlik	Güne göre değişir.	Her döngü boyunca sabit
İşletme maliyeti	Fazla mesaiye bağlı olarak daha az öngörülebilir.	Standartlaştırılmış yönetim sayesinde daha öngörülebilir.
Çalışan memnuniyeti	Ardışık dinlenme günleri nedeniyle daha yüksek	Daha düşük, hızlı dönüş yorgunluğa neden olabilir.

Finansal açıdan bakıldığında haftalık planlama genellikle daha ekonomiktir; çünkü ayarlamaların sıklığını ve buna bağlı yönetim maliyetlerini azaltmaktadır. Ancak bu tür planlama yaklaşımları, planlama ve koordinasyon açısından daha yoğun bir yönetim süreci gerektirmekte ve ekiplerin yakından izlenmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle madencilik sektöründe, üretim süreçlerinin yüksek risk içermesi nedeniyle ekiplerin koordinasyonu ve sürekli denetimi büyük önem taşımaktadır. Nitekim madencilik faaliyetleri, maden arama evresinden üretim ve nakliye kadar birçok tehlikeyi barındırmakta olup, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının etkin bir şekilde yürütülmesini zorunlu kılmaktadır (Kaya ve Şimşek, 2021: 45-46).

Uygulamada pek çok madencilik işletmesi, stratejik planlama (uzun dönem) ile operasyonel planlama (kısa dönem) modellerini entegre etmektedir. Genel anlamda planlama, kısa dönem ve uzun dönem başlıkları altında incelenebilir ve bu ayrım stratejik ile taktik planlamayı ifade eder. Stratejik çerçeve uzun dönem hedef ve kaynak tahsislerini belirlerken, operasyonel esneklik ekip planlaması ve kısa dönem çizelgeleme ile sağlanmaktadır; bu yaklaşım kaynakların optimal şekilde kullanılmasını ve çalışma koşullarındaki hızlı değişimlere uyum sağlamayı mümkün kılar (Fenerli ve Güven, 2019: 2).

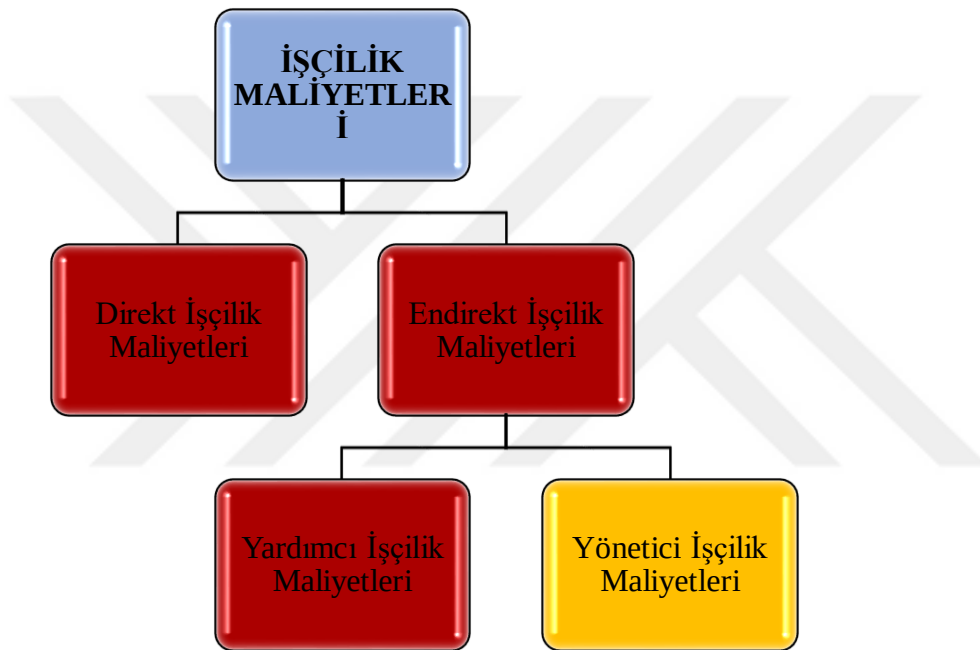
2.5. İşgücü Maliyeti ve Karlılık

Madencilik sektöründe işçilik, giderlerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır ve bu nedenle işletmelerin karlılığını doğrudan etkilemektedir. Özellikle yer altı faaliyetlerinde yüksek olan bu maliyetler yalnızca ücretleri değil, aynı zamanda sosyal güvenlik katkıları, sürekli eğitimi ve işyerinde sağlık ve güvenliğin yönetimini de kapsamaktadır. İşçilik işletme maliyetleri, toplam madencilik işletme maliyetlerinin önemli bir kısmını temsil eder ve finansal analizde dikkatle sınıflandırılmalı ve değerlendirilmelidir (Afra, 2014: 11).

Madencilik endüstrisinde personel, birkaç farklı mesleki kategoriye göre düzenlenmiştir (MIHR, 2017: 23-25):

- Doğrudan üretim personeli, yani doğrudan işgücü (madenciler, ağır ekipman operatörleri)
- Teknik ve destek personeli, yani dolaylı işgücü (bakım teknisyenleri, mühendisler)
- İdari ve hizmet personeli (lojistik, insan kaynakları yönetimi)

Karlılığı maksimize etmek için işgücü maliyetini düşürme yapısı Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3. Karlılığı maksimize etmek için işgücü maliyetini düşürme yapısı (Malzeme Maliyetleri, t.y.).

2.5.1. İşçilikle İlgili Giderler

Madencilik sektöründeki firmaların üretim maliyetlerinin analizi, ücretlerin toplam maliyetler içindeki payının zaman içinde değiştiğini ve 2000–2012 döneminde toplam maliyetlerin yaklaşık %27.82’si civarında olduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle derin ocak ve açık ocak operasyonlarında çok sayıda işçi çalıştıran madencilik işletmeleri için işçilik maliyetlerinin maliyet yapısında önemli bir yer tuttuğunu vurgular. (Gwatidzo ve Benhura, 2013: 17).

Birçok madencilik bağlamında, işverenler çalışanlarına sağlık sigortası, emeklilik yardımları, ücretli izin, kaza tazminatı ve diğer refah önlemleri gibi çeşitli sosyal güvenlik faydaları sağlamakla sorumludur. Ancak uygulamada, geçici iş sözleşmeleri,

madencilik yasalarının zayıf uygulanması ve denetim yetersizliği, madencilik işçilerine bu sosyal güvenlik faydalarının yetersiz şekilde verilmesine katkıda bulunmaktadır (Sahoo vd., 2022: 9). Madencilik gibi emek yoğun sektörlerde ücretlendirme sistemleri genellikle önemli ölçüde değişken bileşenler içermektedir. Bir ikramiye, ana ücretin türevidir ve madencilik endüstrisinde toplam ücretin yaklaşık %15–%50’si arasında değişmektedir (Sierpińska ve Kustra, 2008: 228).

Madencilik sektöründe zorlu çalışma koşulları ve teknolojik olarak gelişmiş makinelerin kullanımı, çalışanların bilgi ve beceri düzeylerinin sürekli olarak geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Zorlu çalışma koşulları ve teknolojik olarak gelişmiş makinelerin kullanımı, madencilerin nitelikleri üzerinde artan talepler oluşturmakta ve onların sürekli eğitim almalarını zorunlu kılmaktadır (Palka, 2017: 1196).

Madencilik sektöründe önemli bir endişe, teknolojik ve operasyonel değişimlerin gerektirdiği güncel beceriler ile sürekli öğrenimi karşılamak için yaşanan iş gücünü ve yeni, deneyimsiz çalışanları nasıl eğiteceğimizdir; bu durum iş gereksinimleri ve güvenlik standartlarının değişmesine bağlı olarak eğitim ihtiyacını artırmaktadır (Kowalski-Trakofler ve Vaught, 2001: 1).

Maden sektörü, mesleki tehlikeler ve sağlık riskleri nedeniyle hem çalışanlar hem de işverenler açısından önemli ekonomik yükler getiren en tehlikeli işletmelerden biridir; özellikle tehlikeli kimyasallara ve diğer risklere maruz kalma, sağlık sorunlarına, iş günü kayıplarına ve önleyici güvenlik tedbirlerine yönelik maliyetler, personel ve operasyon maliyetlerini artırmaktadır. Bu maliyetlerin optimize edilmiş bir şekilde yönetilmesi, operasyonların karlılığını korumak ve güvenlik standartlarına, çalışanların sağlık ve çalışma koşullarına uymak açısından kritik öneme sahiptir (International Labour Organization, 2024: 3).

2.5.2. İşgücü Maliyeti ile Verimlilik Arasındaki İlişki

Madencilik sektöründe işgücü maliyetleri ile verimlilik arasındaki ilişki, ücret harcamalarındaki basit değişikliklerin ötesinde çeşitli faktörlerden etkilenen karmaşık bir konudur. Artan işgücü maliyetleri mutlaka üretkenliğin azalmasına yol açmaz. Nitekim ileri teknolojilere yatırım yapan ve etkili eğitim politikaları benimseyen işletmeler, daha yüksek işgücü maliyetlerine rağmen performanslarını artırabilirler. Ayrıca, madencilik ve taşocağı sektöründe iş gücü verimliliği ile reel birim ücret endeksi arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu bulunmuştur; bu, işgücü

maliyetleri ve verimlilik arasındaki ilişkinin basit bir doğrusal ilişki olmadığını göstermektedir (İkizler ve Dikilitaş, 2022: 90).

Otomasyon teknolojilerinin madencilik faaliyetlerine entegrasyonu, üretim kapasitesini korurken veya artırırken işgücüne olan bağımlılığı azaltır, nitelikli personelin daha verimli kullanılmasını sağlar, hataları ve riskleri azaltır. Bununla birlikte, otomasyon mevcut işlerin kaybolmasına ve istihdamın dönüşmesine yol açabilir; Otomasyonun yaygınlaşmasının mevcut işlerin kaybolmasına yol açarak kitlesel işsizliğe yol açma riski veya yeni iş alanları oluşturarak istihdamın dönüşmesi konusu literatür araştırması yöntemiyle tartışılmıştır (Saraç, 2022: 68)

Bu bağlamda, özellikle madencilik gibi uzmanlaşmış ve teknoloji yoğun sektörlerde yetenekli çalışanları çekmek ve elde tutmak için rekabetçi maaşlar sunmak büyük önem taşır. Otomasyon ve robotik teknolojilerin artan kullanımı, iş gücü talebini dönüştürürken, çalışanların niteliklerini artırmayı ve gelişmiş sistemleri yönetebilecek kapasiteye sahip olmalarını gerektirmektedir. Gerekli yeteneği çekmek için yeterli tazminat sağlanması, üretkenliğin sürekli olarak artmasına olanak tanır; başka bir deyişle verimlilik, birim zamanda çıkarılan cevher miktarı, cevherin işlenme hızı veya teslim hızı gibi farklı göstergelerle ölçülebilmektedir (Chimunhu vd., 2024: 13).

Madencilikte verimlilik ölçümü, sektördeki sermaye yoğun yapısı ve yatırım ile üretim yanıtı arasındaki uzun gecikmeler nedeniyle doğası gereği zordur; ayrıca çok faktörlü verimlilik gibi standart verimlilik ölçütleri, kaynak tükenmesi ve girdi kalitesindeki değişiklikler gibi faktörlerden etkilenebilir; bu da gerçek operasyonel performansı gizleyebilir ve doğru ölçüm için daha yüksek maliyetler ile daha fazla veri işleme gereksinimine yol açabilir (Topp vd., 2008: 7-8).

Ayrıca operasyonel verimliliğin artırılması için çalışan eğitiminin önemi büyüktür. Ekipman ve makinelerin optimum kullanımı konusunda eğitim, duruş sürelerinin azaltılmasına ve genel operasyonel verimliliğin artırılmasına yardımcı olur. Ancak bu yatırımların bütçe kısıtları da göz önünde bulundurularak yatırım getirisi açısından dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir (Kirkpatrick ve Kirkpatrick 2006: 123).

Maliyetleri dengelemek ve ekonomik faydaları maksimize etmek için, verimliliği maksimize ederken maliyetleri kontrol altında tutan optimum bir organizasyonun sağlanmasına yardımcı olması açısından dikkatli bir işgücü planlaması şarttır; çünkü yeni teknolojilerin madencilik sektöründe yeni beceri ve nitelikler gerektirmesi nedeniyle vasıflı işgücü ihtiyacı artmaktadır (Lund vd., 2024: 836).

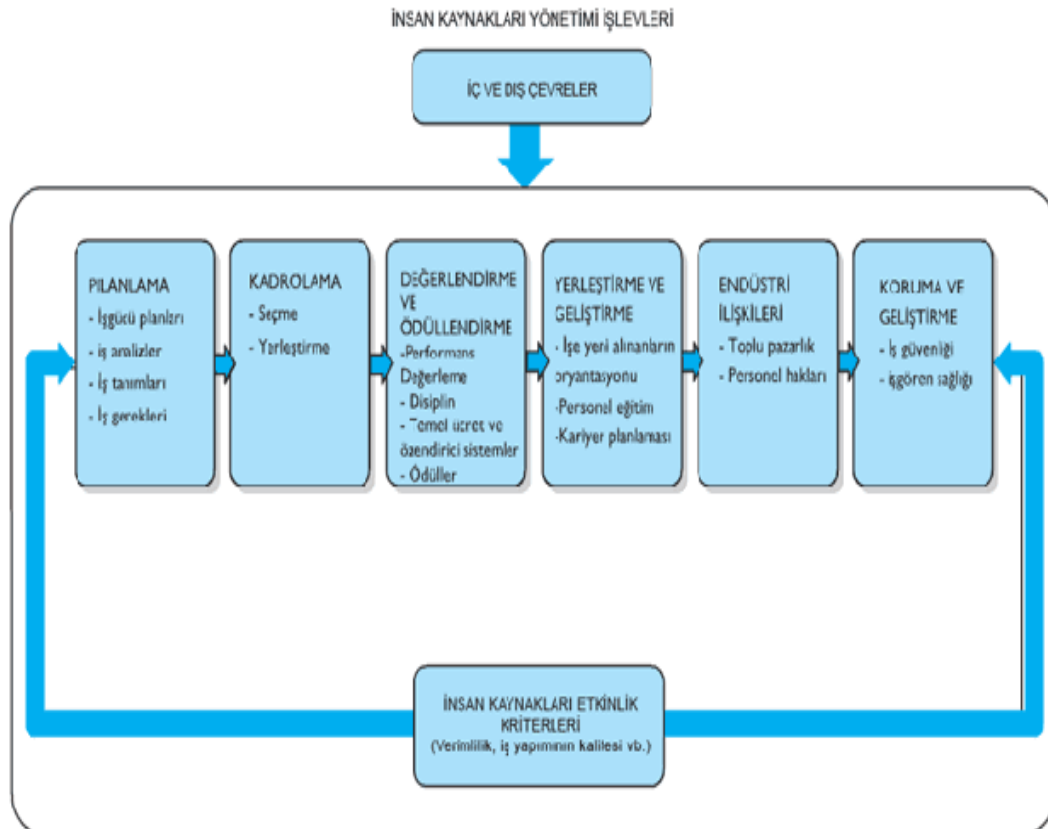
2.5.3. İnsan Kaynaklarının Optimizasyonu

Stratejik İKY'nin uygulanması, iş verimliliğini en üst düzeye çıkarırken işgücü maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olur. İş rotasyonu, belirli işlevlerin otomasyonu ve belirli becerilerin geliştirilmesine yönelik sürekli eğitim gibi uygulamalar bu tür stratejilere örnektir (Ait Razouk, 2007: 45).

Moritz vd. (2017), madencilik sektörünün yerel istihdam üzerindeki etkisini ekonometrik yöntemle analiz etmişlerdir. Bütçenin önemli bir kısmını işgücü maliyetlerinin oluşturduğu madencilik sektöründe, insan kaynaklarının etkin planlanması yalnızca işletme içi verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda bölgesel ekonomik yapıyı da etkilemektedir. Araştırma bulgularına göre madencilik sektöründeki istihdam artışı diğer sektörlerde de istihdam yaratmaktadır. Sonuçlar, madencilik sektöründe çalışan sayısındaki artış ile diğer sektörlerdeki çalışan sayısındaki değişiklikler arasında pozitif istatistiksel bir ilişki olduğunu göstermektedir (Moritz vd., 2017: 60).

İşletmeler, tekrarlayan bazı görevleri otomatikleştirerek ve yönetim süreçlerini iyileştirerek, yalnızca işgücü maliyetlerini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda güvenliği ve üretkenliği de artırarak bir erdemli döngü yaratabilirler (Ait Razouk, 2007: 120).

İnsan kaynakları optimizasyon yapısı Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. İnsan kaynakları optimizasyon yapısı (Perakende Okulum, t.y.).

2.6. Çalışma Koşulları ve Üretkenliğe Etkisi

2.6.1. İşyerinde Sağlık ve Güvenlik

Madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği büyük önem taşımakta olup, çalışanların maruz kaldığı fiziksel ve çevresel tehlikeler, teknolojik sistemlerin etkin bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir; bu çerçevede modern veri toplama ve entegre etme sistemleri, risklerin proaktif tanımlanmasına ve olayların sistematik analizine imkân tanımaktadır (Erkayaoğlu, 2020: 110).

Ancak, sıkı kontrollerin ve yeterli çalışan farkındalığının eksikliği nedeniyle, sağlık ve güvenlik uygulamaları yetersiz kalmaktadır. Sonuç olarak, özellikle yeni teknolojilerin benimsenmesi ve acil müdahale protokollerinin iyileştirilmesi yoluyla, eğitim ve önleme, kazaları en aza indirmek için temel araçlar gibi görünmektedir. Tetzlaff vd. (2021), madencilik sektöründe, iş sağlığı ve güvenliği kültürünün, çalışanların güvenlik kurallarına uyumunu ve kaza risklerinin yönetimini doğrudan etkilediğini açıklamaktadır; bu etki, güvenlik kültürünün kazaların tekrarına nasıl katkıda bulunduğunu inceleyen çalışmalarda özellikle vurgulanmıştır (Tetzlaff vd., 2021: 205-206).

Koçali (2018), Türkiye'nin çeşitli illerindeki açık ocak madenlerinde yapılan işçi anketleri aracılığıyla, madencilikte alınması gereken asgari iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin varlığının sorgulandığını ve çalışanların sadece kendi işlerini değil tüm maden sahasını kapsayan güvenlik önlemleri konusunda farkındalıklarının değerlendirildiğini belirtmiştir (Koçali, 2018: 19).

Türkiye'de 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile tanımlanan düzenleyici çerçeve, çalışanların korunmasını sağlamak amacıyla asgari gereklilikleri belirlemekte olup, aşağıdaki unsurları kapsamaktadır (6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 2012, madde 4):

(1) İşveren, çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlamakla yükümlü olup bu çerçevede;

- Mesleki risklerin önlenmesi, eğitim ve bilgi verilmesi dâhil her türlü tedbirin alınması, organizasyonun yapılması, gerekli araç ve gereçlerin sağlanması, sağlık ve güvenlik tedbirlerinin değişen şartlara uygun hale getirilmesi ve mevcut durumun iyileştirilmesi için çalışmalar yapar.

- İşyerinde alınan iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine uyulup uyulmadığını izler, denetler ve uygunsuzlukların giderilmesini sağlar.

- Risk değerlendirmesi yapar veya yaptırır.

- Çalışana görev verirken, çalışanın sağlık ve güvenlik yönünden işe uygunluğunu göz önüne alır.

- Yeterli bilgi ve talimat verilenler dışındaki çalışanların hayati ve özel tehlike bulunan yerlere girmemesi için gerekli tedbirleri alır.

(2) İşyeri dışındaki uzman kişi ve kuruluşlardan hizmet alınması, işverenin sorumluluklarını ortadan kaldırmaz.

(3) Çalışanların iş sağlığı ve güvenliği alanındaki yükümlülükleri, işverenin sorumluluklarını etkilemez.

(4) İşveren, iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin maliyetini çalışanlara yansıtamaz.

Bu bulgular ve düzenlemeler, kaza risklerinin azaltılması, çalışan sağlığının korunması ve daha güçlü bir güvenlik kültürüne doğru yapısal değişimlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Koçali, 2018: 22).

2.6.2. Çalışma Saatlerinin Etkisi

Madencilik sektöründe çalışma saatleri, özellikle zor koşullarda uzun çalışma saatleri nedeniyle çalışanların refahı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Türkiye’de pek çok çalışan vardiyalı çalışma sistemine tabidir; 12 saatlik vardiyalar çalışanların fiziksel ve ruhsal sağlığını etkileyebilir. Araştırmalar, uzun çalışma saatleri ve fazla mesainin çalışanlar arasında stresi artırdığını, uyku kalitesini düşürdüğünü ve kalp ile kas-iskelet sistemi sağlığını olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Uzun çalışma saatleri çalışanların genel refahını ve iş verimliliğini de azaltmaktadır (Le vd., 2022: 6).

Madencilik işletmelerinde uygulanan vardiyalı çalışma sistemleri ve ekip rotasyonları, çalışanların hem mesleki hem de sosyal yaşamları üzerinde önemli etkiler yaratabilmektedir. Uzun ve düzensiz çalışma saatleri, yorgunluğun birikmesine ve bunun sonucunda iş kazaları ile sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Vardiyalı çalışma, sosyal ve ev hayatı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir ve mesleki olaylara ve uzun vadeli fiziksel veya psikolojik sağlık bozukluklarına, örneğin kardiyovasküler hastalıklara ve diyabete yol açabilir (Pelders vd., 2019: 86).

2.6.3. Çalışan Memnuniyeti ve Üretkenliğe Etkisi

Madencilik sektöründe çalışan memnuniyeti, iş gücü verimliliğini artırmak ve çalışan devir oranlarını azaltmak açısından kritik bir rol oynar. Çalışanların kendilerini değerli ve güvende hissettiği, destekleyici ve kaliteli bir çalışma ortamı, katılımı teşvik eder ve performansı artırır. Araştırmalar, stres faktörlerinin, iş güvencesizliğinin ve sendika desteğinin iş tatmini üzerinde belirleyici etkiler oluşturduğunu göstermektedir;

özellikle stres faktörleri ve iş güvencesizliği, çalışanların iş tatminini olumsuz yönde etkilerken, sendika desteği iş tatminini ve iş güvenliği sonuçlarını olumlu yönde etkileyebilir (Smit vd., 2016: 7).

Ekhsan (2019) tarafından madencilik ve liman işletmesinde gerçekleştirilen çalışmada, motivasyon, iş tatmini ve ücretlendirme unsurlarının çalışan verimliliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığı ortaya konulmuştur. İş yaşam kalitesini artırmaya yönelik uygulamalar; ruhsal ve fiziksel sağlık eğitimleri, çalışanların çabalarının takdir edilmesi ve adil ücret politikaları gibi faktörler aracılığıyla memnuniyet düzeyini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda araştırma bulguları açıkça şunu göstermektedir. Çalışmanın sonuçları, motivasyon, iş memnuniyeti ve ücretlendirme gibi bağımsız değişkenlerin çalışan verimliliği üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur (Ekhsan, 2019: 411).

Araştırmalarda, tatmin olmuş çalışanların işlerine daha fazla bağlandıklarını, örgüte aidiyet duygusu hissettiklerini ve daha iyi performans gösterdiklerini ortaya koymaktadır (Hakanen vd., 2006: 502). Musevenzo vd. (2024), Zimbabwe'deki altın sektöründe çalışan bağlılığının iş memnuniyetiyle pozitif bir bağlantısı olduğunu göstermiş ve daha iyi çalışma koşullarının madencilik sektöründe işçi verimliliğini ve motivasyonunu artırabileceğini öne sürmüştür (Musevenzo vd., 2024: 1).

Madencilik sektöründe çabaların takdir edilmesi, eğitim fırsatları ve açık iletişim de çalışan memnuniyetini artırmaktadır. Tanıma ve ödüllendirme programları, büyüme ve kariyerde ilerleme fırsatları da bu memnuniyetin güçlenmesine katkıda bulunmaktadır (Kuranchie ve Amponsah, 2016: 294).

2.6.4. İşgücü Yönetimini İyileştirme Stratejileri

Madencilik sektörü, insan kaynakları, kanıtlanmış rezervler ve ekipman filosu gibi sınırlı kaynakların verimli ve etkileşimli olarak kullanılmasını gerektiren bir üretim sektörüdür. Maksimum üretkenlik ve verimlilik sağlamak için bu kaynaklar arasında hassas bir denge kurulmalıdır. Bir madencilik işletmesinin en kritik bileşenlerinden biri, çeşitli teknik becerilere sahip personele ihtiyaç duyan bakım ve onarım departmanıdır. Bu nedenle model, farklı ekipman arıza modlarının bakım ihtiyaçları arasında maksimum verimlilik ve performansı sağlamak için gerekli personelin tahsis edilmesini hedeflemektedir (Şahiner ve Gölbaşı, 2023: 541).

İş rotasyonunun etkili güvenlik yönetimiyle birleştirilmesi, çabaların daha iyi dağıtılmasına ve tekrarlayan görevlerin monotonluğunun önlenmesine yardımcı olur. Bu durum çalışanlar için riskleri azaltırken üretkenliği artırır. Madencilik sektöründe etkili

insan kaynakları planlaması, teknolojik yenilikler ve otomasyonun iş rollerini değiştirmesi nedeniyle iş gücünün gerekli becerilerini ve eğitim ihtiyaçlarını önceden öngörmeyi gerektirir; bu yaklaşım, işe alım ve eğitim maliyetlerini optimize ederek olumlu bir çalışma ortamı yaratmayı ve aynı zamanda verimliliği artırmayı sağlar (Mining Industry Human Resources Council, 2013: 21).

Madencilikte stratejik işgücü planlaması, insan kaynakları stratejisini örgütsel hedeflerle uyumlu hale getirir; gerekli beceri ve iş gücü kapasitesinin iş hedeflerini karşılamak ve sektörel riskleri azaltmak için mevcut olmasını sağlar (Mining Industry Human Resources Council, 2013: 9).

Uygun yönetim sistemleri ve çalışan eğitime yapılan yatırımlar, operasyonel verimliliği artırmakta ve çalışanların işletmeye bağlılığını güçlendirmektedir. Eğitim ve beceri geliştirme yoluyla kapasite artırımı, madencilik sektöründeki çalışanların performansı ve üretkenliği için vazgeçilmezdir (Mbumwae, 2025: 148).

2.7. Madencilik Ortamlarında İş Planlamasına İlişkin Kısıtlamalar

2.7.1. Sahaların Fiziksel ve Jeolojik Özellikleri

Taşıma altyapısı, madencilik tedarik zincirlerinin verimliliği ve üretkenliği üzerinde kritik bir rol oynar. Ancak, madencilik bölgeleri genellikle yetersiz altyapı, uzak konumlar ve çevresel kısıtlamalar gibi önemli zorluklarla karşılaşmakta ve bu durum çıkarım sahalarından işleme tesislerine ve pazarlara malzeme akışını kesintiye uğratmaktadır. Bu sorunlar, madencilik lojistiğinin benzersiz gereksinimlerine uyarlanmış optimizasyon stratejilerine olan acil ihtiyacı vurgulamaktadır (Islam vd., 2025: 232).

Yer altı operasyonlarına yönelik lojistik planlamada yalnızca İKY değil, aynı zamanda coğrafi izolasyon, ulaşım ve konaklama gibi faktörler de dikkate alınmalıdır. Çalışanların uzak sahalarda belirli sürelerle kalıp çalışmak üzere seyahat etmeleri, performans, iş-yaşam dengesi ve personel tutma açısından kendine özgü zorluklar yaratmaktadır. Bu düzenlemeler, madencilik işletmelerinin saha operasyonlarını sürdürmesini sağlarken, esnek planlama ve çalışan memnuniyeti yönetimini gerekli kılmaktadır. Afrika ve Latin Amerika'daki bazı madencilik sahalarında, çalışanlar sahaya uçakla getirilip götürülmekte ve belirli izin günlerinde evlerine dönmektedir; bu fly in fly out uygulaması, madencilik sektöründe giderek yaygınlaşmaktadır (Asare ve Kwasnicka, 2022: 110).

Sosyal izolasyon ve sağlık, eğitim veya eğlence gibi temel hizmetlerin eksikliği çalışanların refahını ve üretkenliğini etkileyebilir. Sadece alışanların güvenliğini değil, aynı zamanda zorlu çalışma koşullarına rağmen uzun vadeli bağlılıklarını da sağlamak amacıyla İKY’de bu unsurların dikkate alınmasını önermektedir (Hilson, 2002: 68).

Yer altı maden işletmelerinde, personelin konumunu anlık olarak izleyen ve iletişimini sağlayan takip sistemleri, işgücü güvenliğini yönetmek ve acil durumlarda hızlı müdahale sağlamak için kritik araçlardır; bu tür sistemlerin benimsenmesi, çalışanların gerçek zamanlı olarak yerlerinin belirlenmesini iyileştirmiş ve madenlerde personel yönetiminin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Sökmen, 2016: 15).

2.7.2. Yer Altı Madenciliğine zg Güvenlik Kısıtlamaları

Yer altı madenlerinde karşılaşılan en önemli güvenlik sorunlarından biri, işçiler için sürekli tehdit oluşturan gaz birikimi ve yetersiz havalandırmadır; gaz birikimi özellikle metan gibi zehirli ve patlayıcı gazlar için kritik risk oluşturur ve bu riskin yönetilmesi için havalandırma sistemi şarttır. Yer altı madenlerinde metan, çalışma ortamında var olur ve yeterince havalandırma havası ile seyreltilemezse tehlikeli konsantrasyonlara kadar birikebilir; metanın birikmesini önlemek ve güvenli çalışma koşullarını sürdürmek için uygun maden havalandırması zorunludur (Kissell, 2006: 3-4).

Yer altı kömür madenciliğinin dünya genelinde en tehlikeli mesleklerden biri olduğunu ve kaza nedeniyle kaybedilen iş günü sayısının sanayi ortalamasının çok üzerinde olduğunu belirtir. Erdoğan (2016), yer altı meslek kazalarının nedenlerinin karmaşıklığı nedeniyle risk analizinin ve değerlendirmesinin bu tehlikelerle başa çıkmak için önemli olduğunu vurgular (Erdoğan, 2016: 1).

Madencilik ortamı, çalışanların sağlığı için tehlikelidir. Bu durum, anksiyete, iş stresi, depresyon, uyku bozuklukları, zihinsel yorgunluk ve diğerleri gibi belirtiler ve hastalıklar tetikleyerek ruh sağlığını etkileyebilir (Pizarro ve Fuenzalida, 2021: 344).

2.7.3. Görevlerin ve Yürütme Sürelerinin Değerkenliği

Yer altı madenciliği operasyonlarında, üretim programlarının planlanması sürecinde jeolojik koşulların ve ekipman arızalarının belirsizliği sıklıkla üretim gecikmelerine ve aksamalara yol açabilir. Bu tür belirsizlikler, beklenmedik jeoteknik koşullar veya ekipman sorunları gibi operasyonel değerkenlerin planlamada önceden tam olarak tahmin edilememesinden kaynaklanmaktadır. (Blake vd., 2021: 342)

Çalışanlar aynı vardiya içerisinde çalışma koşullarında ani değişikliklerle karşı karşıya kalabilmektedirler. Bu nedenle örgütsel esneklik ve görevlerin sürekli uyarlanması gerekmektedir. Dinamik iş planlama modellerine dayalı bir insan kaynakları yönetim stratejisinde bu değişkenliğin öngörülmesi gerekmektedir. Madencilikte görev çeşitliliği şu şekildedir (Poulard, 2017: 14)

- Kazma
- Destek
- Yükleme
- Toplu taşıma.

Delme vb. işlemler sadece farklı beceriler gerektirmez, aynı zamanda kayanın özelliklerine, derinliğe ve kullanılan makine türüne bağlı olarak değişen uygulama süreleri de gerektirir. Gerçek zamanlı olarak ayarlanabilen esnek ve modüler üretim planları geliştirilmelidir. İşletme dönemine ilişkin belirsizlik, geleneksel iş planlama yöntemlerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu değişkenliği hesaba katmak için olasılıksal yaklaşımların veya stokastik modellerin kullanılması zorunludur. Bu gözlem, karmaşıklığın daha da arttığı yer altı operasyonları için de geçerlidir (Topal, 2008: 100).

Kısa vadeli yer altı maden planlaması, genellikle maden faaliyetlerinin kısa zaman dilimleri için ayrıntılı zaman çizelgesi oluşturulmasını ele alır; matematiksel programlama ve simülasyon modelleri üretim hedeflerinden sapmayı ve ilgili maliyetleri en aza indirmeyi amaçlar (Paravarzar vd., 2018: 307).

2.7.4. İklim ve Çevre Koşullarının Etkileri

Türkiye’de açık ocak madenciliği faaliyetleri, özellikle dağlık ve yüksek rakımlı bölgelerde yürütüldüğünde, iklimsel ve çevresel koşullar nedeniyle önemli operasyonel zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu işletmelerde yağış, kar ve aşırı sıcaklık farklılıkları hem iş sağlığı ve güvenliğini hem de üretim sürekliliğini doğrudan etkilemektedir. Açık ocak maden işletmeleri, iklim ve çevresel koşulların etkisi altında çalışma sırasında çeşitli riskler ve operasyonel zorluklarla karşılaşmaktadır. Özellikle yağış, kar ile aşırı yüksek veya düşük sıcaklık gibi çevresel faktörler, iş sağlığı ve güvenliği ile üretim verimliliği üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir (Şafak vd., 2018: 99–100).

Orta Anadolu’daki bazı maden sahaları gibi yarı kurak bölgelerdeki yüksek yaz sıcaklıkları, işçileri önemli ölçüde ısı stresine maruz bırakmakta, üretkenliklerini azaltmakta ve hastalık riskini artırmaktadır. Toleranslı bir çalışma ortamının sürdürülebilmesi için düzenli molalar, personel rotasyonları ve soğutma sistemlerinin

kullanılması önerilmektedir. Yer altı madenlerinde, jeotermal gradyan nedeniyle ortam sıcaklıkları 40°C'yi aşabilir ve işçi güvenliğinin sağlanması için sıkı iklimlendirme stratejileri gerekir. Bu aşırı koşullar konsantrasyonu bozabilir, insan hatasına yol açabilir ve dolayısıyla kaza riskini artırabilir (Brake ve Bates, 2002: 176).

Yoğun madencilik faaliyetleri, toprak bozulması, toz fırtınaları ve erozyon gibi çevresel etkilerle yerel ekosistemi olumsuz etkilemekte ve çalışanlar için güvencesiz çalışma koşulları yaratmaktadır. Personel üzerindeki bu dolaylı etkileri azaltmak ve sürdürülebilir madencilik uygulamalarını sağlamak için çevre yönetimi insan kaynakları planlamasına entegre edilmelidir. Ayrıca, galerilerin su altında kalması, doygun heyelanlar ve ocak duvarlarının destabilizasyonu gibi riskler, iklim değişikliği ve bazı çalışma alanlarına geçici olarak ulaşılabilmesi nedeniyle daha da artmaktadır. Bu risklerin önlenmesi için hava uyarı sistemleri ve hidrojeolojik modelleme gibi erken uyarı ve izleme yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir (Martins, 2025: 1).

2.8. Kamu Kurumlarının Rolü ve Madencilik Politikaları

2.8.1. İnsan Kaynakları Yönetiminde Teknolojik Yeniliğe Yönelik Teşvikler

Madencilik sektöründeki dönüşümler yalnızca ekonomik ve teknolojik değişimlerle sınırlı değildir; aynı zamanda toplumsal cinsiyet ilişkilerinde de önemli değişiklikler yaşanmaktadır. Lahiri-Dutt (2015), madencilik sektörünün uzun süre aşırı maskülen bir alan olarak algılandığını, ancak feminizasyon süreciyle birlikte kadınların madencilik faaliyetlerine artan katılımının sektörün toplumsal ve mekânsal yapısını dönüştürdüğünü belirtmektedir. Bu durum, madencilik politikalarının ve çalışma koşullarının toplumsal cinsiyet boyutunu dikkate almasının gerekliliğini ortaya koymaktadır (Lahiri-Dutt, 2015: 524).

Madencilik işletmelerinin yönetim uygulamalarına yeniliklerin entegre edilmesini desteklemek, mesleki becerilerin teknolojik gelişmelerle uyumlu hale getirilmesini sağlamak için uzun vadeli vizyona sahip çevik bir yönetim sistemi şarttır (Andrews vd., 2017: 43).

Latin Amerika'da yapılan bir araştırmaya göre, madencilik izinlerindeki sosyal maddeler veya teknik eğitime yönelik sübvansiyonlar gibi mekanizmalar, işletmelerin yerel paydaşlardan mal ve hizmet tedarikini artırmaya yönelik yerel içerik politikalarını benimsemelerine yol açmakta ve bu da yerel ekonomik kalkınma, tedarik zinciri bağlantıları ve istihdamı desteklemektedir. (Nickerson, 2019: 3-4)

Teknolojik gelişmenin, devletin, madencilik işletmelerinin, sendikaların ve eğitim kurumlarının insan sermayesinin yönetimi için sürdürülebilir modeller geliştirmek üzere iş birliği yaptığı paylaşımlı bir yönetimle birlikte yürütülmesi gerekmektedir. Bu analizler, uygun bir kurumsal çerçeve ile desteklendiğinde teknolojik yeniliğin İKY'yi performans ve sürdürülebilirlik için stratejik bir kaldıraç haline getirebileceğini göstermektedir (Keenan vd., 2019: 753).

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (STB), Türkiye'deki madencilik işletmelerinin İKY'de dijital teknolojilerin kullanımına hız vermiştir. Bu teşvikler sayesinde birçok madencilik işletmesi, üretim döngülerine dayalı dinamik ekip planlamasını ve beceri yönetimini kolaylaştıran İK modüllerini entegre eden SAP, Oracle KKP, Microsoft Dynamics, Odoo, Sage X3 gibi yazılımlarla Kurumsal Kaynak Planlama (KKP) sistemlerine yatırım yapmıştır. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) tarafından uygulanan inovasyon destek programları, özellikle küçük ve orta ölçekli madencilik işletmelerinde İnsan Kaynakları Bilgi Sistemleri (IKBS) çözümlerinin kullanımını teşvik etmiştir. Bu araçlar, işgücü verilerini merkezileştirmenize, devamsızlıkları gerçek zamanlı olarak izlemenize ve sosyal raporlamayı otomatikleştirmenize olanak tanır; bu durum insan kaynakları uygulamalarının düzenleyici uyumluluğunu ve şeffaflığını güçlendirmektedir. Elektronik İnsan Kaynakları Yönetimi (EIKY) alanında vergi indirimleri veya inovasyona yönelik iş birliği projeleri çağrıları gibi teşvik politikaları, İKY alanında öngörücü sistemlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Yapay zekâ algoritmalarına dayalı bu sistemler, ayrılışların tahmin edilmesini, işletme risklerinin belirlenmesini ve eğitim süreçlerinin operasyonel ihtiyaçlara göre kişiselleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu dönüşüm bağlamında Lengnick-Hall ve Moritz (2003), elektronik insan kaynakları yönetimi uygulamalarının idari görevleri otomatikleştirerek insan kaynakları fonksiyonunun daha stratejik bir rol üstlenmesine imkân sağladığını ve stratejik karar alma süreçlerini destekleyen bilgi üretimine katkıda bulunduğunu açıklamaktadır (Lengnick-Hall ve Moritz, 2003: 371-372).

Büyük işletmelerde, sık sık uyumluluk denetimlerine tabi tutulan, personel ve çalışma koşullarının izlenmesine yönelik sistemler, sosyal performans değerlendirmelerini de içerecek şekilde, temel bir yönetim aracı haline gelmiştir. Çok uluslu işletmelerde özellikle uygulanan davranış kuralları, daha iyi çalışma koşullarını teşvik etmeyi amaçlayan gönüllü araçlar olarak tasarlanmış olsa da, etkinlikleri yalnızca

resmi denetimlere değil, aynı zamanda daha geniş sosyal ve örgütsel bağlamlara entegrasyonlarına da bağlıdır (Wick, 2003: 20).

Yenilikçi ortamlarda işletmeler, idari verimliliği, tesis güvenliğini ve çalışan katılımını artıran İK gösterge panelleri, uyumluluk uyarı sistemleri veya işgücü yönetimi mobil uygulamaları gibi gelişmiş insan kaynakları teknolojilerini uygulamaya koyuyor. Hedef odaklı kurumsal mekanizmalarla yönlendirilen İKY'deki teknolojik yenilikler, madencilik işletmelerinin insan kaynakları yönetimlerini optimize etmelerine, rekabet güçlerini ve uyum kabiliyetlerini güçlendirmelerine olanak sağlamaktadır. Bu gelişmeler insan kaynakları sistemlerini daha akıllı, daha uyumlu ve sektörün ekonomik, sosyal ve çevresel ihtiyaçlarına daha uygun hale getirmektedir (Ruël ve Van der Kaap, 2012: 262).

2.8.2. Endüstriyel Ortaklıklar ve Personel Eğitimi

Madencilik endüstrisi, işletmelerin artan mineral talebine ve sürdürülebilirlik gereksinimlerine bağlı zorlukların üstesinden gelmesini sağlamaktadır. Bu süreç, mineral yataklarını belirlemek ve çevreye duyarlı, maliyet etkin bir şekilde işletmek için yeni tekniklerin geliştirilmesini kapsamaktadır. Teknoloji tedarikçileri ve araştırma merkezleri gibi sektörün diğer aktörleriyle yapılan iş birlikleri, teknik becerilere, uzman bilgiye ve gelişmiş ekipmana erişim açısından hayati öneme sahiptir. Bu tür ittifaklar, bilgi transferini kolaylaştırmakta ve otomasyon ile dijitalleşmenin giderek arttığı bir bağlamda teknik beceri eksikliğinin üstesinden gelinmesine yardımcı olmaktadır. Böylece yenilik ve stratejik iş birlikleri, verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve madencilik sektörünün genel rekabet gücünü güçlendirmek için kritik faktörler olarak öne çıkmaktadır (Daly vd., 2022: 1-3).

Güvenlik ve sağlık uzmanları, madencilikte etkili insan kaynağı geliştirme için eğitimin kritik bir unsur olduğunu kabul etmektedir; teknoloji ve demografik değişimlerle yönlendirilen sektör değişimi, hem deneyimli hem de yeni çalışanları güvenlik standartlarını ve değişen iş gereksinimlerini karşılayacak becerilerle donatan uygun eğitim programlarını gerekli kılmaktadır (Kowalski-Trakofler vd., 2004: 1).

Söderholm ve Svahn (2015), madencilik girişimlerinin bölgesel ekonomik kalkınmaya katkılarının yerel toplum ilişkileri açısından önemli olduğunu ve fayda paylaşım mekanizmalarının kapsayıcı kalkınmayı desteklemede önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır (Söderholm ve Svahn, 2015: 78).

2.9. Uluslararası Perspektifler ve Diğer Madencilik Ülkeleriyle Karşılaştırma

2.9.1. İşgücü Planlamasının Yabancı Modelleri

İnsan kaynakları planlaması, organizasyonun hedeflerine ulaşmasını sağlamak için doğru sayıda ve nitelikte çalışanı temin edecek şekilde iş gücü gereksinimlerini tahmin etmeyi içerir; bu da örgütsel performans doğrudan etkiler (Osazevaru vd., 2023: 554).

Madencilikte stratejik uzun vadeli planlama, ekonomik, piyasa ve mekânsal kısıtlamaları mineral varlıklarından değer optimize edecek şekilde uyumlu hale getiren uzun vadeli entegre bir planlama çerçevesinin geliştirilmesini içerir. Bu, senaryo geliştirme, optimizasyon araçları ve döngüsel karar süreçlerini entegre ederek değişen ekonomik koşullara ve operasyonel belirsizliklere yanıt verecek esnekliği sağlamak için maden değer zinciri boyunca sistematik bir yaklaşım gerektirir (Smith, 2012: 761).

Ayrıca Avrupa’da yaygın olarak kullanılan senaryo temelli planlama modelleri önerilmektedir. Bu modeller, büyüme, düzenleme veya teknolojik gelişme gibi farklı varsayımlara dayalı olarak gelecekteki beceri ihtiyaçlarının belirlenmesi amacıyla alternatif orta ve uzun vadeli senaryoların oluşturulmasına dayanmaktadır. Senaryo temelli yaklaşımlar, alternatif ekonomik ve teknolojik gelişmelerin incelenmesine ve bunların gelecekteki beceri ihtiyaçları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine olanak tanır; bu yaklaşım birden fazla olası geleceğe hazırlanmayı sağlayarak kurumların dayanıklılığını artırır. (CEDEFOP, 2012: 24).

Madencilik sektöründe otomasyon ve robotik uygulamalarının artması, özellikle insan eliyle yapılan işlerin yerini almakta ve bu durum bölgesel işgücü piyasalarını etkilemektedir; madencilik sektörü otomasyon ve yapay zekâ alanındaki gelişmelerle birlikte köklü bir dönüşüm yaşamaktadır ve otonom sistemler ile makine teknolojileri, manuel süreçlerin yerini alarak işgücü gereksinimlerini dönüştürmekte ve iş rollerinde önemli değişikliklere yol açmaktadır (Sohail, 2025: 1986).

Japon işgücü planlama modeli, çalışanların çok yönlülüğüne ve işletme içi hareketliliğe vurgu yaparak, endüstriyel işletmeler içinde uzun vadeli yetenek yönetimine yönelik kavramları yapılandırır. Theory Z, uzun vadeli istihdam, ortaklaşa karar alma, bireysel sorumluluk ve yavaş değerlendirme/terfi gibi uygulamaları vurgulayarak, çalışan sadakati ve katılımını artırmayı hedefleyen katılımcı bir yönetim yaklaşımı sunar (Daft, 2004: 117).

2.9.2. Madencilik Verimliliğinin Karşılaştırmalı Analizi

Yer altı madenciliğinde otomasyon ve öngörücü bakım gibi ileri teknolojilerin benimsenmesi, operasyonların verimliliğini artırırken işçilik maliyetlerini azaltır, kazaları önler ve çalışanların güvenliğini yükseltir. Özellikle insan ve teknik kaynaklara erişimin sınırlı olduğu derin ve izole madenlerde, yarı veya tam otonom sistemlerle sağlanan uzaktan rehberlik, hem üretkenliği hem de güvenliği iyileştirir. Kömür madenciliği endüstrisindeki algılama, rehberlik ve telerobotik teknolojinin bazı yeni uygulamaları, uzaktan rehberlik sağlayan ve tehlikeli ortamlarda insan varlığına olan ihtiyacı azaltırken üretkenliği ve güvenliği artıran yarı veya tamamen özerk sistemler bulunmaktadır (Ralston vd., 2001: 513).

Açık ocak madenlerinde entegre insan kaynakları ve üretim yönetiminin etkisi düşünüldüğünde bu madenlerde madencilik verimliliği büyük ölçüde iş rotasyonlarının stratejik olarak planlanmasına, bakım çizelgelerinin optimize edilmesine ve operatörlerin sürekli eğitimine bağlıdır. Sonuçlar, çalışma saatlerinin iklim koşullarına ve hammadde talebine göre optimize edilmesinin, güvenlikten veya çalışma ortamından ödün vermeden işletme maliyetlerinde önemli bir azalmaya olanak sağladığını göstermektedir (Afrapoli ve Askari-Nasab, 2015: 80).

Bir çalışma, madencilik ve mineral endüstrilerinin enerji yoğun sektörler olduğunu göstermiştir. Enerji verimliliğinin artırılması sadece işletme maliyetlerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda karbondioksit (CO₂) emisyonlarını da azaltır. Enerji yönetim sistemlerinin uygulanması ve temiz teknolojilerin entegrasyonu, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkisini azaltarak uzun vadeli sürdürülebilirliği teşvik eder (Rábago vd., 2001: 12).

Özellikle doğal kaynak üreten gelişmekte olan ülkelerde, Afrika'da madencilik uygulamalarının etkinliği ile ilgili yapılan çalışmalarda, artizanal ve küçük ölçekli madencilik süreçlerinin verimsizliklerinin büyük oranda yeterli altyapının bulunmaması, bilgi eksikliği ve insan/malzeme kaynaklarının yetersiz yönetilmesinden kaynaklandığı ortaya konulmuştur. Ancak katılımcı yönetim uygulamaları, çalışan eğitimleri ve sürdürülebilir yönetim girişimleri, verimliliği artırma ve olumsuz çevresel ve sosyal etkileri azaltma konusunda etkili olduğu kanıtlanmıştır. Bu bulgular, madencilik faaliyetlerini optimize etmek ve yerel beceri geliştirmeye yatırım yapmanın önemini vurgulamaktadır (Adranyi vd., 2023: 1-2).

Madencilik faaliyetleri; toprak bozulması, su kirliliği, ormansızlaşma, biyolojik çeşitlilik kaybı ve hava kalitesi bozulmasını içeren önemli çevresel etkilere sahiptir. Bu sorunların ele alınması için çevresel ayak izini azaltmayı ve sürdürülebilir madencilik

uygulamalarını teşvik etmeyi amaçlayan çeşitli yönetim stratejileri yerel, ulusal ve uluslararası düzeyde uygulanmıştır (Enow vd., 2023: 824).

2.9.3. İyi Uygulamaların Uyarlanması

İyi uygulamaların benimsenmesinin önündeki en büyük engellerden biri, teknolojinin endüstriye entegrasyonunun karmaşıklığı, nitelikli personel eksikliği ve değişime karşı örgütsel direnç gibi faktörlerdir; madencilikte otomasyon ve yapay zeka gibi ileri teknolojilerin benimsenmesi, verimliliği artırma potansiyeline sahip olsa da bu engellerin aşılması gerekmektedir (Saleem, 2025: 217).

İlerlemelere rağmen madencilik sektöründeki kaza istatistiklerinin hâlâ önemli olduğunu ve güvenliği artırmak için kapsamlı maden güvenliği planlarının yanı sıra yöneticilerin her seviyesinde teknik ve teknik olmayan becerilerin geliştirilmesinin ön koşul olduğunu vurgulamaktadır (Tsichla ve Adam, 2022).

Kurumsal yönetim, bir işletmenin beşeri ve finansal sermayeyi çekmesine, etkin çalışmasına ve uzun dönemde ortaklarına ekonomik katkı sağlamasına imkân tanıyan kanun, yönetmelik, yazılı olan ve olmayan tüm kurallar ve uygulamalar olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, 2011-2015 yılları arasında Borsa İstanbul'da işlem gören ve kurumsal yönetim endeksinde bulunan 58 firma verisi kullanılmıştır. Çalışmanın analiz kısmında, firmaların kurumsal yönetim derecelendirmelerine ait not duyuruları ile hisse senedi getirileri arasında bir ilişkinin olup olmadığı incelenmiştir. Çalışmanın analiz kısmında olay çalışması (event-study) yönteminden yararlanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, kurumsal yönetim derecelendirme notunun duyurusu ile hisse senedi getirileri arasında pozitif bir ilişkinin olmadığı tespit edilmiştir. Kurumsal yönetimin temel ilkeleri arasında “şeffaflık”, “sorumluluk”, “hesap verebilirlik” ve “adillik” yer almaktadır. Bu ilkeler, işletmenin paydaşlarına eşit davranmasını ve bilgi akışının açıklıkla sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, kurumsal yönetim uygulamalarında şeffaf ve katılımcı mekanizmaların benimsenmesi, yatırımcı güvenini artırabilir (Sakarya vd., 2017: 55).

3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

3.1. Literatür İncelemesi

Türkay (1998), dağıtım sistemlerinin planlanması sorununu ele almış, tamsayı değişkenler içeren karma bir DP modeli geliştirmiştir. Bu modelde, maliyetleri minimize etmeye yönelik bir hedef fonksiyon tanımlanmış ve ağ üzerindeki konumlandırma ile akış kısıtları modele başarıyla entegre edilmiştir. Çalışma, TDP'nin elektrik mühendisliği ve endüstri mühendisliğinde uygulanabilirliğini göstermekte; ayrıca gerçek hayattaki karmaşık problemlerin modellenmesinde bu yöntemin esnekliğini ve etkinliğini ortaya koymaktadır (Türkay, 1998).

Arroyo ve Conejo (2000), başlatma ve kapatma süreleri ile artış oranları gibi teknik kısıtlamaları dikkate alarak işletme maliyetlerini en aza indirerek bir dizi termik santralin optimum işletimini planlamak için bir TDP modeli kullanmışlardır. Önerilen model, her bir bitkinin her periyotta açık veya kapalı durumunu temsil etmek için ikili değişkenleri ve üretilen enerji miktarı için sürekli değişkenleri dikkate almaktadır. Yaklaşımları, TDP formülasyonunun ayırık ve sürekli elemanları tek bir matematiksel çerçeve içerisinde verimli bir şekilde entegre edebileceğini, ön işleme ve kesme yöntemlerinin kullanımıyla ve makul hesaplama süresiyle optimuma çok yakın çözümler sağlayabileceğini göstermiştir. Bu çalışma, özellikle konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki koordinasyona ilişkin olmak üzere enerji dönüşümüyle ilgili konularda TDP'ye olan artan ilgiyi vurgulamaktadır (Arroyo ve Conejo, 2000).

Achterberg (2009), kısıtlı tamsayılı programların çözümü için geliştirilen Solving Constraint Integer Programs (SCIP) yazılımını ele alarak, çözücünün temel tasarım ilkelerini ve farklı problem sınıflarına nasıl uygulanabildiğini ayrıntılı biçimde açıklamaktadır. Çalışmada, dal ve sınır tabanlı arama sürecinin etkinliğinin, değişken seçimi, düğüm seçimi ve kesme düzlemleri gibi stratejilerin bütünsel biçimde yönetilmesine güçlü biçimde bağlı olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca, çözüm sürecinden önce uygulanan ön işleme tekniklerinin, modelin boyutunu azaltarak hesaplama verimliliğini önemli ölçüde artırdığı gösterilmektedir. Bu bulgular, kısıtlı tamsayılı programlama çözücülerinin başarısının yalnızca kullanılan algoritmalara değil, aynı

zamanda modelleme kalitesine ve problem yapısına uygun çözüm stratejilerinin seçimine de bağlı olduğunu ortaya koymaktadır (Achterberg, 2009).

Melo vd. (2009), tedarik zinciri yönetimi kapsamında tesis yerleşim problemlerine ilişkin kapsamlı bir literatür incelemesi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, tesis yerleşim kararlarının tedarik zinciri ağlarının stratejik tasarımında kritik bir rol oynadığı vurgulanmaktadır. Tesis yerleşim modellerinin yalnızca konum seçimiyle sınırlı olmadığı, üretim, depolama ve dağıtım kararlarıyla bütünleşik bir yapı içinde ele alınması gerektiği belirtilmiştir. İncelenen çalışmalarda maliyet minimizasyonu, hizmet seviyesi, kapasite kısıtları ve talep belirsizliği gibi temel faktörlerin öne çıktığı görülmektedir. Deterministik ve stokastik tesis yerleşim modellerinin literatürde yaygın biçimde kullanıldığı ifade edilmiştir. Tek aşamalı ve çok aşamalı tedarik zinciri yapılarının farklı çözüm yaklaşımları gerektirdiği ortaya konmuştur. Büyük ölçekli problemlerde TDP modellerinin hesaplama açısından zorlayıcı olduğu vurgulanmaktadır. Bu nedenle sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin etkin alternatifler olarak geliştirildiği belirtilmiştir. Ayrıca çevresel faktörler ve sürdürülebilirlik kriterlerinin tesis yerleşim kararlarına giderek daha fazla entegre edildiği ifade edilmektedir. Elde edilen bulgular, tesis yerleşim problemlerinin tedarik zinciri performansını doğrudan etkilediğini ve stratejik karar verme süreçlerinde önemli bir araç olduğunu göstermektedir (Melo vd., 2009).

Zanjani vd. (2010), bir kereste üretim tesisinde üretim planlaması problemini ele almışlardır. Çalışma, hammadde (kütük) verimindeki rastgelelikleri ve talep belirsizliklerini çok dönemli planlama modeline entegre eden sağlam bir üretim planlama yaklaşımı önermektedir. Model, karma TDP kullanarak üretim miktarlarını ve stok seviyelerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Amaç, toplam maliyeti en aza indirirken müşteri taleplerini ve üretim verim kısıtlamalarını karşılamaktır. Model, farklı senaryolar altında üretim planlarını optimize ederek envanter ve gecikmiş sipariş maliyetlerini minimize eder. Bu yaklaşım, üretim kararlarının dayanıklılığını artırmakta ve planlama sürecinde esneklik sağlamaktadır. Çalışma, belirsiz verilerin senaryolar aracılığıyla modele dâhil edilmesinin önemini vurgular. Sonuçlar, sağlam optimizasyonun karmaşık endüstriyel planlama sorunlarında etkinliğini göstermektedir. Bu yöntem, gerçekçi çok dönemli üretim ve taktiksel planlama süreçlerinde uygulanabilir (Zanjani vd., 2010).

Genova ve Guliashki (2011), kesin ve sezgisel yöntemleri birleştiren hibrit yöntemlerin etkinliğini vurgulayarak TDP problem çözme yöntemlerine ilişkin ayrıntılı bir araştırma sunmuşlardır. Bu yöntemler, büyük problemler için bile makul zaman

dilimleri içerisinde yüksek kaliteli çözümlerin bulunmasına olanak tanır. Ayrıca, dal-sınır algoritmalarındaki son gelişmeler, dal-sınır yöntemlerinin performansını iyileştirmiştir. Dantzig-Wolfe ayrıştırma ve Benders ayrıştırma gibi ayrıştırma yöntemlerinin entegrasyonu da karmaşık TDP problemlerinin etkili çözümüne katkıda bulunmuştur. Bu yöntemler karmaşık bir problemin daha basit alt problemlere bölünmesine olanak vererek çözümü kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, dal ve kesim seçimini yönlendirmek için makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılması, TDP algoritmalarının verimliliğini daha da artırdığı ifade edilmiştir. Bu gelişmeler, TDP araştırmalarının, çözümlerin pratik performansının iyileştirilmesi ve uygulanabilirliğinin çeşitli alanlara genişletilmesine vurgu yapılarak gelişmeye devam ettiğini göstermektedir (Genova ve Guliashki, 2011).

Aryanezhad vd. (2012), kesme stok problemlerini TDP kapsamında ele alarak, bu problemlerin hesaplama açısından zorlayıcı ve NP-zor yapıda olduğunu ortaya koymuştur. Endüstriyel uygulamalarda malzeme israfının azaltılması ve kaynak kullanımının optimize edilmesi amacıyla, bu tür problemlere yönelik çeşitli matematiksel ve sezgisel yaklaşımlar geliştirildiğini belirtmişlerdir. Bu bağlamda, dikdörtgen stoklar ve giyotin kesimler içeren iki boyutlu kesme stok problemleri için pratik ve hızlı bir sezgisel yöntem önermiş; geliştirilen yaklaşımın çözüm sürelerini önemli ölçüde azalttığını ve uygulanabilir, etkili sonuçlar ürettiğini göstermişlerdir. Söz konusu çalışma, TDP temelli modellerin gerçek dünya endüstriyel problemlerinde ne kadar güçlü ve esnek olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Aryanezhad vd., 2012).

Eivazy ve Askari-Nasab (2012), açık ocak madenlerinde kısa vadeli üretim planlaması için karma TDP modeli geliştirmişlerdir. Bu çok destinasyonlu model, çıkarma, işleme, taşıma, elleçleme ve rehabilitasyon faaliyetlerini kapsayan madencilik operasyonlarının toplam maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Modelde teknik kısıtlar dikkate alınarak tampon ve harmanlama stokları, yatay madencilik yönleri ve rampa kararları entegre edilmiştir. Önerilen model, TOMLAB/CPLEX optimizasyon aracı kullanılarak dal ve kesme algoritması ile çözülmüştür. Modelin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla 12 aylık bir planlamada bir demir cevheri madenine ait sayısal bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Farklı yatay madencilik yönlerine sahip üç farklı senaryo değerlendirilmiş ve en az sayıda düşüş kesimine sahip olan senaryo en uygun üretim planı olarak belirlenmiştir (Eivazy ve Askari-Nasab, 2012).

Akyürek (2013), hizmet sektöründe özellikle insan gereksinimlerini karşılayan ve yaşam için vazgeçilmez hale gelen su, elektrik, doğalgaz gibi hizmetlerdeki aksaklıkların hızla giderilmesi için işgücü planlamasının çok kritik bir konu olduğunu

belirtmektedir. Gün içerisinde kesinti bildirimlerinin çok fazla değiştiği bu servislerde, vardiya sayılarının oldukça esnek planlanması, mevcut vardiya atamalarının gerektiğinde hızla güncellenmesi, müşteri memnuniyetinin belirli bir seviyenin altına düşmemesi ve servis sürekliliğinin mümkün olduğunca yüksek tutulması gerekmektedir. Bu çalışmada, kamu kurum ve kuruluşlarında insan gücüne olan ihtiyacın azaltılması ve akıllı işgücü yönetim sistemlerinin oluşturulması yoluyla kesintisiz hizmet sağlanması amaçlanmaktadır. Bu çalışma aynı zamanda bu konu üzerinde yapılacak gelecekteki çalışmalara örnek teşkil edecek ve farklı uygulama alanlarında uygulanabilirliği konusunda ön fikir verecektir. Bu konuda örnek teşkil edebilecek çalışmalar literatürde “işgücü planlaması ve oryantasyonu sorunları” başlığı altında yer almaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarla uyumlu olarak işgücünde önemli verimlilik artışları sağlanmıştır (Akyürek, 2013).

Klotz ve Newman (2013), çeşitli pratik bağlamlarda TDP modellerini çözmeyle ilişkili zorluklara ilişkin bir genel bakış sunmuşlardır. Ticari çözücülerin ilerlemesine rağmen, modelin yapısının performansı güçlü bir şekilde etkilediğini, özellikle mantıksal kısıtların veya gösterge değişkenlerin varlığı çözümü daha karmaşık hale getirdiğini belirtmişlerdir (Klotz ve Newman, 2013).

Karaöz (2014), madencilik sektöründe faaliyet gösteren orta ölçekli bir işletmenin yetersiz planlamadan kaynaklanan sorunlarını çözmek amacıyla üretim planlama ve çizelgelemesi yaptığını gerçekleştirmiştir. Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İşletme verileri ile oluşturulan model Python programı Gurobi optimizasyonu ile çözümlenerek işletmenin 5 yıllık üretim planlaması ve çizelgelemesi oluşturulmuştur (Karaöz, 2014).

Koushavand vd. (2014), cevher kalitesi ve envanter belirsizliğinin varlığında uzun vadeli maden planlaması için doğrusal bir programlama modeli sunmuşlardır. Açık ocak üretim planlamasının karmaşıklığı, cevher kalitesindeki belirsizlik nedeniyle artmaktadır. Hedef üretimden sapmalara dayalı bir üretim planındaki belirsizlik maliyetinin hesaplanmasına yönelik bir yöntem önerilmektedir. Önceden tanımlanmış bir çukur kabuğundan blokların çıkarma sırasını ve ilgili hedeflerini bulmak için karma TDP algoritması formüle edilmiştir. Çalışmada, işlemin net bugünkü değerini en üst düzeye çıkarmak ve belirsizlik maliyetini en aza indirmek olmak üzere iki hedef belirlenmiştir. Etkili bir kümeleme yöntemi değişken sayısını azaltarak problemi çözülebilir hale getirmektedir. Optimizasyon probleminde cevher kalitesine bağlı belirsizliğin önemini kontrol eden parametreler incelenmektedir. Cevher kalitesindeki belirsizliğin varlığında asgari yıllık madencilik kapasitesi değerlendirilir. Yöntem,

Alberta'nın kuzeyindeki bir petrol kumu yatağında uygulanmıştır (Koushavand vd., 2014).

Bajany (2017), açık ocak madenlerindeki taşıma operasyonlarının optimizasyonuna odaklanmış ve enerji maliyetlerinin artışı ile sera gazı emisyonlarının çevresel etkileri nedeniyle yakıt tüketiminin azaltılmasının önemini vurgulamıştır. Çalışmada, enerji verimliliğinin yalnızca teknolojik performans ve ekipman verimliliğine bağlı olmadığını, aynı zamanda kamyon-kürek sistemi operasyonlarının, araç planlaması ve ataması dâhil olmak üzere operasyonel optimizasyon ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmiştir. Bu ihtiyaca cevap olarak Bajany, kamyon ve küreklerin yakıt tüketimini minimize ederken döküm sahalarının işleme ihtiyaçlarını da karşılayan karma TDP modeli geliştirmiştir. Model, bir kamyonun aynı vardiya içinde farklı küreklere atanmasına olanak sağlayan “m kamyon, n kürek” stratejisine dayanmaktadır ve bu sayede operasyonel esneklik sağlanmaktadır. Modelin etkinliği, kamyon sayısının yetersiz olduğu bir madende yapılan vaka çalışması ile gösterilmiş ve performansı sabit atama yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Bulgular, kamyon, kürek ve kamyon-kürek sisteminin toplamında ton başına ortalama yakıt tüketiminde belirgin bir azalma göstermiştir. Ayrıca model, heterojen kürek filosunda en uygun atamanın belirlenmesi ve farklı uygunluk faktörlerine sahip filolar arasında en verimli filonun tespit edilmesi gibi daha geniş uygulamalarda da faydalı bulunmuş, böylece TDP yaklaşımının maden operasyonlarında çevresel sürdürülebilirliği artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak için etkili bir araç olduğunu göstermiştir (Bajany, 2017).

Montiel ve Dimitrakopoulos (2017), işletme alternatiflerini ve jeolojik belirsizliği açıkça hesaba katan stokastik maden üretim programlamasını optimize etmek için bir sezgisel yöntem önermektedir. Yöntem, bir başlangıç programını madencilik bloklarının dönemlerini ve hedeflerini değiştirerek yinelemeli olarak iyileştirerek belirsizlik varlığında sağlam çözümler sağlamaktadır (Montiel ve Dimitrakopoulos, 2017).

Katrancı (2018), günümüzde hem özel sektörde hem de kamu sektöründe pek çok kurum ve kuruluşun vardiyalı çalışma sistemine göre faaliyet gösterdiğini belirtmektedir. Bu kurum ve kuruluşlarda çalışan personelin faaliyetlerini etkin bir şekilde yürütebilmeleri için çalışma programlarının etkin bir şekilde planlanması gerekmektedir. Etkin bir şekilde planlanmayan çalışma saatlerinde çalışanlar; uyku bozuklukları, yorgunluk, kanser, kalp damar hastalıkları, ailevi ve psikolojik sorunlar gibi sorunlar yaşamaktadır. Bu tür sorunların ortadan kaldırılabilmesi için çalışanların çalışma saatlerinin etkin bir şekilde planlanması gerekmektedir. Ayrıca çalışan personelin talepleri dikkate alınarak oluşturulan planlamaların, iş yerinde verimliliğin

artırılmasına ve rekabet avantajı elde edilmesine olanak sağladığı görülmektedir. Bu çalışmada itfaiye teşkilatında çalışan itfaiyeci ekiplerinin planlanması sorunu ele alınmıştır. Planlama probleminin çözümü için tamsayılı programlama modeli oluşturulmuş ve oluşturulan model GAMS paketindeki program ile çözülmüştür. Bu yöntem sayesinde itfaiyecilerin ve idarenin talepleri tam olarak karşılanmış ve optimum sonuç elde edilmiştir (Katrancı, 2018).

Brika (2019), madencilik endüstrisi planlamasının çok sayıda düzeyde karar almayı gerektiren kritik bir adım olduğunu fark etmiştir. Bu kararlar bir madencilik kompleksinin tedarik zincirinin her halkası olan çıkarma, taşıma, depolama, kırma, işleme vb. aşamalarında gerçekleşir. Planlama problemlerinin karmaşıklığı, dikkate almak istediğimiz ayrıntı derecesine ve entegre etmek istediğimiz zincir bileşenlerinin sayısına bağlı olarak değişebilir. Bu çalışma, jeolojik belirsizlik bağlamında açık ocak madenciliği stratejik planlama sorunlarına odaklanmaktadır. Temel amaç, madencilik işletmelerinin karar alma süreçlerinde destek sağlayacak etkili ve sağlam bir matematiksel araç geliştirmektir. Bunun için farklı destinasyonlar, farklı jeolojik unsurlar ve yatırım seçenekleri dikkate alınarak sorunun farklı varyantları incelenmiştir (Brika, 2019).

Eisenbrand vd. (2019), n aşamalı programlar ve iki aşamalı stokastik programlar gibi yapılar için güçlü polinom algoritmaları tasarlamak amacıyla Graver bazını kullanarak tamsayılı programlamanın algoritmik bir teorisini ortaya koymuşlardır. Yaklaşımları, karmaşık problemlerin etkili bir şekilde çözülmesini sağlayan yinelemeli artırma ve yakınlığa dayanmaktadır. Bu yaklaşım, daha önce çözümü zor olduğu düşünülen sorunlara hızlı çözümler sunmaktadır. Çalışma, TDP için verimli algoritmaların geliştirilmesinde önemli bir adım teşkil etmiştir. Bu katkı özellikle kısa zaman dilimlerinde optimum çözümlere ihtiyaç duyan uygulamalar için önem taşımaktadır. Araştırmaları kombinatoriyal optimizasyon için yeni perspektifler açmıştır. Verimli algoritmalar tasarlamada problem yapısının önemini ortaya koymaktadır. Metodolojileri lojistik ve planlama gibi çeşitli alanlara uyarlanabilir. İleri yöntemleri entegre ederek TDP çözümünün sınırlarını zorlamışlardır. Çalışma, optimizasyon araştırmacıları için önemli bir referans niteliğindedir. Derin matematiksel kavramların pratik çözümlere nasıl yol açabileceğini göstermektedir (Eisenbrand vd., 2019).

Huang vd. (2019), yer altı madenlerinde üretim planlaması için bir karma TDP modeli önermişlerdir. Ana hedef, operasyonel ve teknik kısıtlamaları gözетerek operasyonun net bugünkü değerini maksimize etmektir. Model, hazne ekstraksiyonunun geliştirilmesi ve dizilenmesi üzerindeki kısıtlamaları, ekstraksiyon ve işleme tonajındaki

dalgalanmaları, ayrıca ekstraksiyon süresi ve aktif seviye kontrolü üzerindeki kısıtlamaları içermektedir. Daha yüksek kaliteli cevherlerin çıkarılması ve daha düşük hacimlerin işlenmesi yoluyla, gerçek madencilik stratejileriyle karşılaştırıldığında net bugünkü değerde %9 ila %17 arasında bir iyileşme sağlandığı ve böylece daha iyi nakit akışı yaratıldığı gösterilen iki vaka çalışması yürütülmüştür (Huang vd., 2019).

Gholamnejad vd. (2020), açık ocak madenlerinde uzun vadeli üretim planlamasının, blokların çıkarılma sırasını belirleyerek işletmenin net bugünkü değerini maksimize etmeyi hedefleyen kritik bir optimizasyon problemi olduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda, her bir bloğun belirli bir dönemde çıkarılıp çıkarılmayacağını gösteren ikili değişkenlerle blok sınıflandırma problemini çözmek için TDP yöntemini önermektedir. Önerilen TDP modeli, blokların öncelik ve kapasite kısıtlarını dikkate almakta ve sayısal sonuçlar, seviyeler arasında makine hareketlerinde önemli bir azalma sağladığını göstermektedir; bu da planın gerçek uygulamalarda daha uygulanabilir olmasını sağlamaktadır. Matematiksel programlama (TDP ve DP), üretim çizelgelerinin optimizasyonu için uygun bir yöntem olarak öne çıkarken, veri büyüklüğü ve karmaşık kısıtlar, çözümün etkin bir şekilde elde edilebilmesi için dikkatlice kalibre edilmiş formülasyonlar gerektirmektedir (Gholamnejad vd., 2020).

Rivera Letelier vd. (2020), açık ocak madenciliğinde üretim planlaması için karma tamsayılı programlamaya dayalı yeni bir metodoloji geliştirmişlerdir. Problem, hangi blokların çıkarılacağını, ne zaman çıkarılacağını ve bu blokların nasıl işleneceğini operasyonel kısıtlamalara uyarak ve net bugünkü değeri maksimize ederek belirlemeyi gerektirir. Yöntemleri, milyonlarca bloğu içeren gerçek veri kümeleri üzerinde test edilmiştir (Rivera Letelier vd., 2020).

Zhao vd. (2021), karma TDP problemlerini çözmek için Benders ayrıştırmayı kuantum hesaplamayla birleştiren bir hibrit yöntem önermişlerdir. Benders ayrıştırmasının ana problemini kısıtlanmamış bir ikinci dereceden ikili optimizasyon modeline dönüştürerek, çözüm verimliliğini artırmak için kuantum tavlama cihazlarının yeteneklerinden yararlanmışlardır. Bu yenilikçi yaklaşım hem klasik hem de kuantum bilgisayarların avantajlarından yararlanarak, karma TDP'deki karmaşık problemler için bir çözüm sunmuştur. Deneysel sonuçlar, çözüm kalitesi ve hesaplama süresi açısından önemli iyileştirmeler olduğunu göstererek, kuantum hesaplamanın optimizasyonda yeni uygulamalarının önünü açmıştır (Zhao vd., 2021).

Silva vd. (2022), Brezilya'daki bir nikel madenindeki envanter karıştırma problemini çözmek için karma TDP modeli geliştirmişlerdir. Bu konu, karışımların nikel içeriğinin homojenliğini korumak için sıkı kalite kontrolünün gerekli olduğu

pirometalurjik prosesler kullanan operasyonlarda hayati önem taşımaktadır. Önerilen model, karışımın hedef kütleinden sapmayı, kimyasal içerikteki sapmaları ve tesisi beslemek için kullanılan stok sayısını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Çözücünün saniyeler içinde optimum çözümler üretme yeteneğini kanıtlayarak yaklaşımlarını beş gerçek endüstriyel senaryo üzerinde doğrulamışlardır. Çalışma ayrıca bu modellemenin daha iyi envanter tahsisi yoluyla maden planlamasını ve operasyonel performansı iyileştirdiğini göstermiştir. Bu çalışma, özellikle nikel gibi yeterince çalışılmamış bağlamlarda, madencilik sektöründe operasyonel yönetime karma TDP yöntemlerinin uygulanmasında önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir (Silva vd., 2022).

Dong vd. (2025), klasik taşıma problemlerine uygulanan yeni bir TDP yaklaşımı sunmaktadır. Bu çalışma, dengeli akış kısıtlamaları ve Minimum Spanning Tree tekniklerinin entegrasyonunu içeren geliştirilmiş bir TDP formülasyonu önererek karmaşık lojistik zincirlerindeki dağıtım ağlarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, IBM CPLEX çözümleyicisi kullanılarak model sayısal olarak çözülmüş ve Çin otomotiv endüstrisinden elde edilen verilerle, taşıma maliyetlerinde kayda değer bir azalma sağlandığı gösterilmiştir. Çalışma, topolojik yapılar ile ayrık modellerin birleştirilmesinin, gerçek lojistik senaryolarda çözüm kalitesini artırmadaki önemini vurgulamaktadır. Bu araştırma, özellikle büyük ölçekli kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin modellenmesinde, TDP'nin uygulama alanlarını genişletmektedir (Dong vd., 2025).

Espínola vd. (2025), bibliyometrik yaklaşım ve PESTEL analizi kullanarak derin deniz madenciliği (*deep-sea mining*) üzerine mevcut bilimsel araştırmaları incelemektedir. Bu çalışma, literatürdeki başlıca eğilimleri, karşılaşılan zorlukları ve boşlukları ortaya koymakta; özellikle çevresel, politik, ekonomik, sosyal ve teknolojik boyutlar açısından bu yeni madencilik türüne odaklanmaktadır. Espínola vd., çevresel ve teknolojik konuların araştırmalarda iyi temsil edildiğini, ancak ekonomik ve sosyal boyutların hâlen yeterince incelenmediğini ve bunun potansiyel etkilerin tam olarak anlaşılmasını sınırladığını tespit etmektedir. Bu analiz, gelecekteki araştırmalar için yön gösterici nitelikte olup, yeterince ele alınmamış temaları belirlemekte ve uluslararası bilimsel işbirliği fırsatlarını vurgulayarak derin deniz madenciliğinin daha sorumlu bir şekilde geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır (Espínola vd., 2025).

Sinding (2025), dünya genelinde küçük ölçekli madenciliğin karşılaştığı düzenleyici ve sosyo-ekonomik zorlukları ayrıntılı bir şekilde incelemektedir. Sinding, gayri resmi sektörü daha iyi organize edilmiş ve sürdürülebilir uygulamalara yönlendirmek için kamu politikalarının önemini vurgulamaktadır. Mülkiyet haklarının

güvence altına alınması, çalışanların sağlık ve güvenliğinin korunması ile sosyal adaletin teşvik edilmesinin küçük işletmelerin sürdürülebilirliği açısından belirleyici olduğu analiz edilmektedir. Çalışmada, güçlü ve kapsayıcı bir düzenleyici çerçevenin yokluğunda, bu işletmelerin yerel eşitsizlikleri artırabileceğini ve çevresel olumsuz etkiler yaratabileceğini vurgulanmaktadır. Ayrıca çalışma, politikaların etkin bir şekilde uygulanabilmesi için yerel toplulukların politika geliştirme sürecine dâhil edilmesinin önemine de dikkat çekmektedir. Bu çalışma, küçük ölçekli madenciliğin yönetimi ve sürdürülebilirliğinin artırılması ile sosyo-ekonomik kalkınmaya katkısı konusundaki tartışmalara önemli bir katkı sağlamaktadır (Sinding, 2025).

Yu vd. (2025), sürdürülebilir madencilik uygulamalarını teşvik etmeye yönelik bütüncül bir çerçeve sunmaktadır. Çalışmada, madencilik sektörünün kaynak çıkarımı, çevrenin korunması, sosyal sorumluluk ve ekonomik sürdürülebilirlik arasında nasıl bir denge kurabileceğini incelenmektedir. Analizleri, maden atıklarının yeniden kullanımı gibi teknolojik yenilikler, yerel toplulukların aktif katılımı, madencilik bölgelerinin ekonomik çeşitlendirilmesi ve düzenleyici politikaların uygulanmasındaki zorluklar gibi çeşitli boyutları kapsamaktadır. Çalışmada, sektörün olumsuz etkilerini azaltırken yerel ve küresel kalkınmayı destekleyebilecek daha dengeli bir modele dönüştürülmesinin önemi vurgulanmaktadır. Bu çalışma, madenciliğin yalnızca bir kaynak çıkarma süreci olarak değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik ve sosyo-ekolojik adalet için bir araç olarak yeniden düşünülmesi gerektiğini savunmaktadır (Yu vd., 2025).

3.2. Doğrusal Programlama

DP, temel ekonomik prensiplere dayanır ve kâr maksimizasyonu veya maliyet minimizasyonu gibi belirli bir hedef için sınırlı kaynakların dağıtımını optimize etmeyi amaçlar. DP, belirli bir kriteri optimize etmek amacıyla kısıtları ve eşitsizlikleri dikkate alan bir analizdir; bu kriter örneğin maliyet azaltışı veya kâr artışı olabilir. Bu yöntem, çok aşamalı karar süreçlerinde optimal çözüm bulmayı sağlar ve özyinelemeli optimalite ilkesine dayanır (Bellman, 1957: 3).

Bir DP probleminde, değişkenler için reel değerlere karar verilirken, bu değişkenlerle ilişkili lineer eşitlikler ve/veya eşitsizliklerden oluşan kısıtların sağlanması ve verilen bir doğrusal amaç fonksiyonunun maksimum ya da minimum olması hedeflenir (Goemans, 2015: 1).

Başka bir deyişle DP, doğrusal eşitsizlikler biçiminde ifade edilen kısıtlara uyarak doğrusal bir amaç fonksiyonunu optimize etmeyi amaçlayan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Buradaki optimizasyon, mevcut kaynaklara dayanarak maliyetleri en

aza indirerek veya faydaları en üst düzeye çıkararak belirli bir hedefe ulaşmayı içerir. Birçok alana uygulanabilen disiplinler arası bir yöntemdir. Matematiksel modellemeye dayalı olarak, özellikle üretim, sağlık ve istatistik sektörlerinde çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Özellikle sanayi alanında önemli bir yere sahiptir (Yalçınsoy vd., 2014: 19).

3.2.1. Doğrusal Programlama Modeli

DP, dört temel ögeye dayanır:

- Karar değişkenleri: DP'nin temel unsurlarından biridir. Karar vericinin mümkün olan en iyi sonucu elde etmek için ayarlayabileceği seçimleri temsil ederler. Bu değişkenlere atanan değerlere göre kârı maksimize etmek veya maliyeti minimize etmek mümkündür (Nace, 2020: 4).

- Amaç fonksiyonu: DP modelinin anlamlı sonuçlar verebilmesi için, problemin amacının matematiksel olarak açıkça tanımlanması gerekir. Bu fonksiyon, optimize edilmeye çalışılan sayısal bir değeri temsil eder. İster kârı maksimize etmek ister maliyetleri minimize etmek olsun, en avantajlı çözüme yönelik kararların yönlendirilmesine yardımcı olur. Bileşim seçimi, taşıma ve gıda planlaması gibi çeşitli uygulama alanlarında görülmektedir (Bentzen, 2022: 5).

- Kısıtlayıcılar: DP problemlerinde kısıtlar, karar değişkenlerinin alabileceği sayısal değerlere fiziksel, ekonomik, teknolojik, yasal, etik veya diğer sınırlamalar getiren fonksiyonel eşitlikler veya eşitsizlikler kümesi olarak tanımlanmaktadır (Martinich, 1997: 2).

- İşaret kısıtlaması: DP modelindeki tüm değişkenlerin pozitif veya sıfır olmasını gerektirir. Bu, matematiksel modelin gereklerine uymayacağı için negatif değer alamayacakları anlamına gelir (Yalgın, 1984: 28).

Genel olarak DP modeli aşağıdaki gibi gösterilir (Bolayır ve Ergülen, 2019: 99):
Amaç Fonksiyonu:

$$Max(Min)Z(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \{\leq, =, \geq\} b_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{Eşitlik 2})$$

İşaret kısıtı:

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Modelde kullanılan değişkenler (Bolayır ve Ergülen, 2019: 100);

$Z(x)$: En iyilenecek (optimize edilmeye çalışılan, en büyüklenen (maksimize edilen) veya en küçüklenen (minimum kılınan)) amaç fonksiyonu

x_j : j. karar değişkenine atanacak değer ya da belirlenecek değişken (karar vericinin denetimi altında olan ve bilinmeyen gösteren karar değişkenleri)

c_j : 1 birim j. karar değişkeninin amaç fonksiyonuna katkısı (kar veya maliyet katsayıları)

a_{ij} : j. karar değişkeninin i. kısıttaki katkı katsayısı (ürünlerin seçenekli üretim yolları (teknolojik yapısı) veya teknoloji katsayıları)

b_i : i. kaynak miktarı (ihtiyaçlar, sağ yan değeri)

olarak tanımlanmakta ve a_{ij} , b_i ve c_j 'ler bilinen sabitlerdir. Eğer x_j karar değişkeni kümesi (Eşitlik 1)'de verilen kısıtları sağlarsa “çözüm”, (Eşitlik 1) ve (Eşitlik 2) kısıtlarını sağlarsa “uygun çözüm”, bulunan çözüm amaç fonksiyonunu en iyi (optimal) yapan çözüm ise “optimal çözüm” adını almaktadır. DP'nin amacı optimal çözüme ulaşmaktır.

3.2.2. Doğrusal Programlama için Varsayımlar

DP çeşitli karar verme problemlerine uygulanabilen bir yöntemdir. Ancak kullanımı çoğu zaman belirli varsayımlarla kısıtlanmakta ve bu da bazı durumlarda kapsamını sınırlandırabilmektedir (Bolayır ve Ergülen, 2019: 102; Martinich, 1997: 7):

- Doğrusallık: Modelde yer alan tüm ilişkiler doğrusal olmalıdır. Amaç fonksiyonu ile kısıt denklemlerindeki değişkenler birinci dereceden olup, katsayılar sabit kabul edilir. Bu durum, değişkenlerin modele katkısının orantılı olmasını gerektirir.

- Bölünebilirlik: Karar değişkenleri yalnızca tamsayılarla sınırlı değildir; kesirli değerler de alabilir. Dolayısıyla kaynakların dağıtımı sürekli bir yapı gösterir ve parçalı biçimde tahsis edilebilir.
- Toplanabilirlik: Amaç fonksiyonunun toplam değeri, her bir karar değişkeninin bağımsız katkılarının toplamına eşittir. Başka bir ifadeyle, değişkenler arasında etkileşim söz konusu değildir. Bu varsayım doğrusallık ilkesinin doğal bir sonucudur. Eğer değişkenler arası etkileşim mevcutsa, doğrusal olmayan programlama yöntemlerine başvurulması gerekir.
- Belirlilik (Kesinlik): Modelde kullanılan tüm parametrelerin amaç fonksiyonu katsayıları, teknolojik katsayılar ve mevcut kaynak miktarları kesin olarak bilindiği kabul edilir. Bu nedenle klasik DP modelleri belirsizlik içeren durumları doğrudan kapsamaz.

3.2.3. Doğrusal Programlamanın Çözüm Yöntemleri

Optimizasyon modellerinde kısıtlar, değişken türü dışındaki, karar değişkenlerinin alabileceği değerleri sınırlayan sınırlamaları ve etkileşimleri belirtir (Rardin, 1998: 2).

3.2.3.1. Grafiksel Yöntem

Grafiksel yöntem, özellikle iki karar değişkenini içeren DP problemlerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, problemin kısıtlamalarının görsel olarak temsil edilmesine dayanmaktadır. Her bir kısıt, kartezyen düzlemde düz bir çizgi olarak çizilir ve bu kısıtlarla tanımlanan alanların kesiştiği nokta olan uygulanabilir bölge belirlenir (Konnully, 2013: 16).

Bu bölge, problemin tüm olası çözümlerini içinde barındırır ve en iyi çözüm bu bölgenin uç noktaları arasında yer alır. Doğruların kesiştiği uç noktalar incelenerek, problemin türüne göre maksimize ya da minimize edilebilecek amaç fonksiyonu değerlendirilir. Yöntem, optimum çözümlerin doğrudan görselleştirilmesine olanak tanır ve böylece karar alma sürecini daha sezgisel hale getirir (Bridgelall, 2022: 4).

Ancak iki değişkenden fazlasının söz konusu olduğu problemlerde grafiksel gösterimin yönetilemez hale gelmesi nedeniyle etkisiz kalmaktadır. Bu nedenle bu yöntem, görsel çözümlere hızlı bir şekilde ulaşılmasına olanak verdiği için, çoğunlukla basit iki değişkenli karar problemlerinde kullanılmaktadır (Dantzig, 1963: 104).

3.2.3.2. Simpleks Yöntemi

DP problemlerinde iki değişkenli karar problemlerinin çözümünde çoğunlukla grafiksel yöntemler kullanılmaktadır. Ancak değişken sayısı arttıkça çözünürlük daha karmaşık hale gelmekte ve grafiksel yöntem etkisiz kalmaktadır. Simpleks algoritması, Dantzig tarafından 1951 yılında ortaya atılan, uygulanabilir bölgenin köşeleri arasında gezinerek en iyi çözüme ulaşmak için kullanılan yinelemeli bir yöntemdir. Simpleks algoritması, kısıtlamalarla tanımlanan köşe noktalarını inceler ve bir dizi ardışık matematiksel işlem ile amaç fonksiyonuna uygulanır (Bazaraa vd., 2011: 91).

Bu süreç, her biri mevcut temel uygun çözümü iyileştiren ardışık pivot işlemleri ile ilerleyen Simpleks algoritmasına dayanmaktadır; her adımda pivot elemanının seçimi, bu pivotun çözümü iyileştirme gerekliliğine göre belirlenir (Huang, 2018: 3).

Simpleks yönteminin uygulanması sırasında ortaya çıkabilecek özel durumlar şunlardır; amaç fonksiyonunun aynı değeri verdiği birden fazla baza sahip olduğunda birden çok (alternatif) optimal çözümler, amaç fonksiyonu sonsuz şekilde artabildiğinde sınırsız çözümler, tüm kısıtlamaları sağlayan hiçbir temel uygulanabilir çözüm olmadığına uygulanamaz problemler ve bir temel değişken temel uygulanabilir çözümde sıfır olduğunda dejenerasyondur (Mehta, 2025: 59).

3.2.3.3. Dualite Yöntemi

DP’de dualite yöntemi, her optimizasyon probleminin dual problem (veya primal, birincil veya ilkel problem olarak da adlandırılır) adı verilen ilişkili başka bir probleme sahip olması fikrine dayanır (Balkan, 1977: 16).

Dualite, gölge fiyat yorumu ile DP’nin çarpanlarına ekonomik anlam sağlar ve kaynak miktarındaki değişimlerin hedef fonksiyonun optimal değeri üzerindeki etkisinin, kıt girdilerin değeri olarak görülebilecek dual değişkenler aracılığıyla anlaşılmasına olanak tanır (Duality in Linear Programming, t.y.: 130).

3.2.3.4. Karmakar Algoritması (Nokta Yöntemi)

Simpleks algoritması, optimal bir köşeyi bulmak için uygulanabilir bölgenin kenarları boyunca ilerlerken, Karmarkar algoritması gibi iç-nokta yöntemleri çözümü bölgenin iç kısmında dolaşarak arar (Karmarkar, 1984: 302).

Karmarkar yönteminde yinelemeler (iterasyonlar) uygulanabilir bölgenin kesinlikle iç kısmında tutulur ve adım yönü, amaç fonksiyonunu en hızlı biçimde optimuma doğru azaltacak şekilde seçilir (Salhi ve Lindfield, 1991: 209).

Bu yöntem daha sonra genişletilmiş ve iyileştirilmiş, ilkel iç nokta yöntemleri ve geri dönüşümlü iç nokta yöntemleri gibi algoritmaların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunların her birinin çeşitli endüstriyel ve ticari sektörlerde özel uygulamaları vardır (Wright, 1997: 221).

İç nokta yöntemleri, uygun bölgenin iç kısmında dolaşan iterasyonlar üretmeleri ve primal-dual yapıdan yararlanmaları sayesinde, lineer yarı-tanımlı programlar gibi konveks optimizasyon problemlerini çözmede oldukça etkilidir (Benterki vd., 2007: 50).

3.2.4. Doğrusal Programlamanın Avantajları ve Dezavantajları

DP'nin birçok önemli avantajı bulunmaktadır. Hammadde, işgücü veya makine gibi kaynakların kullanımının optimize edilmesine yardımcı olarak işletmelerin verimliliği artırırken maliyetleri düşürmesine yardımcı olur. Esnekliği sayesinde farklı ihtiyaçlara ve durumlara adapte edilebilmekte, envanter yönetimi, üretim veya lojistik gibi alanlarda karar alma süreçlerini daha verimli hale getirmektedir. Ayrıca, operasyonların planlanması ve yönetimini kolaylaştıran optimum çözümler sunarak en iyi stratejilerin belirlenmesine yardımcı olur (Kunwar ve Sapkota, 2022: 21-23).

DP, karar vericilerin doğrusal kısıtlamalar altında amaç fonksiyonunu en üst düzeye çıkarmalarına veya en aza indirmelerine olanak tanıyan güçlü bir matematiksel optimizasyon aracıdır (Saxena ve Sharma, 2025: 140).

DP güçlü bir matematiksel optimizasyon yaklaşımı olmasına rağmen bazı sınırlamalara sahiptir. Bunlar arasında, bazı iş uygulamalarında ve alanlarda amaç fonksiyonunun ve kısıtlamaların doğrusal fonksiyonlar olarak ifade edilememesi, gerçek hayattaki bir problemde, kısıtlamalara dâhil edilmesi gereken faktörlerin (katsayıların) her zaman ölçülememesi bulunmaktadır. Ayrıca DP modelleri zamanın ve belirsizliğin etkisini dikkate almaz (Coşkun, 2021: 59).

Ayrıca, büyük miktardaki verinin işlenmesi için genellikle özel yazılımların kullanılması gerekir; bu da daha yüksek maliyetlere ve hesaplama sürelerine yol açabilir. Bu zorluklara rağmen DP birçok sektörde güçlü ve yaygın olarak kullanılan bir araç olmaya devam etmektedir. İşletmelerin karar alma süreçlerini iyileştirmelerine ve kaynaklarını optimize etmelerine yardımcı olarak yönetim ve stratejik planlama için değerli bir çözümdür (Bisschop ve Meeraus, 1981: 730).

3.2.5. Doğrusal Programlamanın Uygulama Alanları

Yeterli veri varsa, pek çok günlük problem DP kullanılarak modellenenebilir. Aksi takdirde bu modele uyması için bazı varsayımlar kullanılarak basitleştirilebilirler. DP, özellikle bilgisayarların gelişmesiyle son 20 yılda oldukça popüler hale gelmiştir. Günümüzde pek çok büyük işletme, stratejik kararlardan günlük operasyonel tercihlere kadar pek çok uygulamada bunu kullanmaktadır. DP yönteminin kullanıldığı alandır aşağıda verilmektedir (Öztürk, 2009: 37):

- Atama problemleri
- Beslenme (diyet) problemleri
- Dinamik yatırım planlaması
- Hava kirliliğinin kontrolü
- Karışım problemleri
- Kısa dönemli finansal planlama
- Personel programlaması
- Portföy seçimi problemleri
- Sermaye bütçeleme problemi
- Reklam seçimi problemleri
- Ulaştırma ve lojistik problemleri
- Üretim planlaması ve envanter kontrolü
- Tarımsal planlama.

3.2.6. Doğrusal Programlamanın Çözüm Araçları

DP problemleri, özellikle çok sayıda değişken ve kısıt içerdiğinde, hızla karmaşık hale gelebilir. Bu nedenle çözümlerini kolaylaştırmak için çoğu zaman uzmanlaşmış yazılımların kullanımı şarttır. Bu modelleri büyük ölçekte bile hızlı ve etkili bir şekilde işlemek için tasarlanmış çeşitli bilgisayar araçları bulunmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanlarından birkaçı şunlardır:

- **GUROBI:** Dallanma ve kesme yöntemlerini entegre eder ve Python, C++, Java ve diğer diller için kullanıcı dostu bir arayüzle hızlı çözüme olanak tanır. Finans, lojistik ve enerji alanlarında büyük ölçekli problemlerin modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoklu platform uygulama programlama arayüzü, karmaşık karar alma sistemlerine entegrasyon için büyük esneklik sunar. Gurobi, optimizasyondaki son gelişmeleri içeren verimli teknik desteği ve düzenli güncellemeleri nedeniyle sık kullanılmaktadır. Ayrıca otomatik çözücü ayarlama, hassasiyet analizi ve dağıtılmış

optimizasyon gibi gelişmiş özelliklere de sahiptir. Dâhili çözüm öncesi algoritma ve modern sezgisel yöntemler yakınsamanın hızlandırılmasına yardımcı olur. Etkinliği kanıtlanmış olması nedeniyle günümüzde araştırmacıların ve sanayicilerin tercih ettiği araçlardan biri haline gelmiştir (Gurobi Optimization, t.y.).

- CPLEX: Simpleks, Gomory kesimleri ve paralel optimizasyon gibi gelişmiş yöntemleri kullanarak çok büyük ölçekli problemleri çözebilme yeteneğine sahiptir. Birçok modelleme platformuna entegre edilmiş olup, etkileşimli olarak veya Python, Java, C# gibi diller aracılığıyla kullanılabilir. Endüstriyel alanda, kararlılığı ve tekrarlanabilir sonuçlar üretebilme kabiliyeti nedeniyle sıklıkla tercih edilir. Modüler yapısı sayesinde performansı en üst düzeye çıkarmak için parametrelerin hassas bir şekilde ayarlanmasına olanak sağlar. Ayrıca, kapsamlı bir şekilde belgelendirilmiş olması, akademik ve profesyonel çevrelerde benimsenmesini kolaylaştırmaktadır. Lojistik, planlama veya stratejik analiz konularında önemli bir araç olmaya devam etmektedir (IBM Corporation, 2015: 1).

- GLPK: Baş geliştiricisi, GLPK'nın hem birincil hem de ikili Simpleks ile dal ve sınır yöntemlerini uyguladığını açıklamıştır. Ücretsiz lisansı sayesinde araştırma veya eğitim ortamlarında sıklıkla kullanılmaktadır. AMPL'den esinlenerek geliştirilen MathProg modelleme formatı, problem formülasyonunu nispeten sezgisel hale getirmektedir. Büyük örneklerde ticari çözümlerden daha az performans göstermesine rağmen, GLPK şeffaflığı ve esnekliği nedeniyle popülerliğini sürdürmektedir. PyGLPK veya C/C++ arayüzleri ile Python dillerine entegre edilebilir. Ücretsiz olması akademik ve hükümet projelerinde de popüler olmasını sağlamıştır (GNU, t.y.).

- XPRESS: Finans, tedarik zinciri veya enerji gibi alanlardaki karmaşık sorunları etkin bir şekilde ele alma yeteneğiyle öne çıkmaktadır. Yakınsama hızını artırmak için dinamik dallanma, kesme ve sezgisel stratejileri entegre eder. Ayrıca Python, Java ve C# gibi birçok dille uyumlu esnek bir modelleme ortamı sunmaktadır. Karar alma sistemlerine entegrasyon, sağlam ve duyarlı planlamaya olanak tanır. En önemli özelliklerinden biri de çok çekirdekli mimarileri tam olarak kullanan paralel optimizasyon motorudur. Ayrıca çözüm kayıtlarındaki şeffaflığı ve gelişmiş tanılama araçlarıyla da tanınmaktadır (FICO Xpress Optimization Suite, 2014).

- CLP: Birçok durumda karşılaştırılabilir performansa sahip, tescilli çözümlere göre hafif ve etkili bir alternatiftir. C++ dilinde yazılmıştır ve özel ortamlara veya CBC gibi diğer COIN-OR kütüphaneleriyle kolayca entegre edilebilir. CLP, ön çözüm ve gelişmiş faktörizasyon gibi performansı artıran çeşitli stratejilerle birlikte öncelikle Simpleks algoritmasını kullanır. Açık lisansı sayesinde özellikle akademik ve

endüstriyel prototipleme bağlamlarında oldukça kullanışlıdır. AMPL, JuMP ve PuLP gibi modelleme dilleriyle uyumluluğu onu çok yönlü kılmaktadır (Forrest ve Lougee-Heimer, t.y).

- LP_SOLVE: Simpleks tabanlı ve dal-sınır yöntemlerini uygulayarak küçük ve orta ölçekli modeller için verimli çözümler sunar. Özellikle C, Java, Python ve hatta Excel gibi dillerle COM arayüzleri üzerinden kolay entegrasyonu nedeniyle takdir görmektedir. LP_Solve, modelleri doğrudan okunabilir bir formatta formüle edilmesine ve sonuçları analiz etmek için yararlı teşhisler sunulmasına olanak tanır. Genellikle eğitim, açık kaynaklı projeler ve düşük bütçeli iş uygulamaları için kullanılır. Hafifliğine rağmen, büyük olmayan pratik durumlar için kabul edilebilir bir performans sunmaktadır (Introduction to lp_solve 5.5.2.11, t.y.).

- LINGO: LINGO, doğrusal, doğrusal olmayan ve tamsayılı optimizasyon problemlerini hızlı ve kompakt bir şekilde ifade etmek için güçlü bir cebirsel modelleme dili sağlayan kapsamlı bir optimizasyon modelleme sistemidir. Çoğu optimizasyon modelini verimli bir şekilde çözebilen yerleşik çözücüler sunar ve veri entegrasyonunu veri tabloları ve veritabanlarından destekleyerek model oluşturma ve çözümünü araştırmacılar ve uygulayıcılar için kolaylaştırır (LINDO Systems Inc., 2017: 48).

- LINDO: Simpleks, dal-sınır ve Lagrange gevşeme yöntemleri de dâhil olmak üzere çeşitli algoritmaları entegre eder. Grafiksel arayüz, kısıtlamaların, değişkenlerin ve sonuçların net bir şekilde görselleştirilmesine olanak tanır. Ayrıca CSV ve Excel gibi yaygın formatlardaki verilerin içe/dışa aktarılmasına da olanak tanır. Sağlamlığı ve güvenilirliği nedeniyle finans, lojistik ve stratejik planlamada sıklıkla kullanılır (LINDO Systems Inc., 2003: 197).

- MATLAB: Bu araç kutusu TDP, ikinci dereceden optimizasyon ve gradyan tabanlı yöntemler için sağlam çözücüler içerir. MATLAB ortamı simüle edilmiş modellerle doğrudan entegrasyona olanak vererek mühendislik ve finans alanındaki karmaşık sistemlerin analizini kolaylaştırır, “intlinprog” veya “linprog” gibi fonksiyon modelleriyle hızlı bir şekilde belirlenmesine ve çözülmesine olanak tanır. Ayrıca, grafiksel kullanıcı arayüzü (GUIDE), çözümlerin keşfedilmesini ve sonuçların görselleştirilmesini kolaylaştırır (MathWorks., t.y.).

3.3. Tamsayılı Doğrusal Programlama

TDP yöntemi, değişkenlerin bir kısmının veya tamamının pozitif tamsayı değerleri alacağını varsayan matematiksel programlama problemlerinin çözümüyle

ilgilenir. Başka bir ifade ile TDP, değişkenlerin tamamının veya bir kısmının tamsayı (veya ayrık) değerler aldığı bir DP türüdür (Taha, 2007: 350).

DP problemlerini çözmenin sonuçları çoğunlukla tamsayı olmayan rastgele pozitif sayılardır. Ancak pratikte birçok problem, sonuçların tamsayı olmasını gerektirir. Örneğin; otomobiller, buzdolapları, takım tezgâhları vb. üretimde üretilecek miktarların pozitif tamsayılar (0, 1, 2, 3, ...) olarak ifade edilmesi gerekmektedir. TDP yöntemi, DP yöntemlerini kullanarak bu tür ürünler için üretilecek miktarları belirlemek için kullanılır. Tamsayı değişkenleri içeren modeller genellikle büyük ölçekli planlama modelleridir (Patır, 2010: 194).

Genel tamsayılı programlama modelindeki işaret kısıtında değişkenlerin tamsayı olması durumu dört farklı şekilde olabilmektedir (Bolayır ve Ergülen, 2022: 185):

- Saf (Arı) Tamsayılı Programlama: Tamsayılı programlama modelinde karar değişkenlerinin hepsinin tamsayılı olması isteniyorsa bu DP modeline saf (arı) tamsayılı programlama modeli denir.

- Karma Tamsayılı Programlama: Tamsayılı programlama modelinde karar değişkenlerinin bazılarının tamsayılı, bazılarının kesirli değerler olması isteniyorsa bu DP modeline karma tamsayılı programlama modeli denir.

- (İkili) Tamsayılı Programlama: Tamsayılı programlama modelinde karar değişkenlerinin hepsinin 0 veya 1 tamsayısı olması isteniyorsa bu DP modeline 0-1 (ikili) tamsayılı programlama modeli denir.

- Karma 0-1 (Karma İkili) Tamsayılı Programlama: Tamsayılı programlama modelinde karar değişkenlerinin bazılarının 0-1, bazılarının kesirli değerler olması isteniyorsa bu DP modeline karma 0-1 (karma ikili) tamsayılı programlama modeli denir.

Genel olarak TDP modeli aşağıdaki gibi gösterilir (Bolayır ve Ergülen, 2022: 185):

Amaç Fonksiyonu:

$$MinZ(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{Eşitlik 5})$$

İşaret Kısıtı:

$$x_j \geq 0 \text{ ve } x_j \text{ tamsayı}, j = 1, 2, \dots, \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Modelde kullanılan değişkenler (Bolayır ve Ergülen, 2019: 100);

$Z(x)$: En küçüklenen (minimize edilen) amaç fonksiyonu

x_j : j. karar değişkenine atanacak değer

c_j : Maliyet katsayıları

a_{ij} : j. karar değişkeninin i. kısıttaki katkı katsayısı

b_i : i. kaynak miktarı

olarak tanımlanmaktadır. Genel modelde verilen a_{ij} , b_i ve c_j değerleri bilinen sabitlerdir.

TDP, üretilecek birim sayısı veya birden fazla olası seçenek arasında ikili bir tercih gibi ayrı ayrı alınması gereken kararların modellenmesine olanak tanır (Dantzig, 1963: 211).

3.3.1. Tamsayılı Doğrusal Programlamada Varsayımlar

DP'nin bir uzantısı olan TDP, karmaşık modelleri çözmek için varsayımları basitleştirmeye dayanır. Ancak bu varsayımlar, klasik algoritmaların kullanımını kolaylaştırır da modellerin idealize edilmiş durumlara uygulanabilirliğini kısıtlayabilir ve gerçek durumlarda çözümlerin doğruluğunu değiştirebilir. Bu varsayımlar:

- Doğrusallık: Amaç fonksiyonlarının ve herhangi bir kısıtlamanın doğasının doğrusal olmaması nedeniyle birçok pratik durum, tamamen bir doğrusal program olarak açıklanamaz veya tahmin edilemez. Tüm fonksiyonlar doğrusal ise doğrusal bir program vardır; aksi takdirde doğrusal olmayan programlama olarak adlandırılır. Bu tür doğrusal olmayan problemleri hızlı ve etkin bir şekilde çözme çabaları, gerçek dünyadaki sistemlerde genellikle doğrusal modellerin varsayımlarını ihlal eden doğrusal olmayan davranışlar sergilediği için son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (Kaliyaperumal ve Das, 2022).

- Değişkenlerin ayrıklaştırılması: Bir optimizasyon modelinde tamsayılı değişkenlerin varlığı, modeli sürekli değişkenlere sahip muadilinden temel olarak farklı bir algoritmik karmaşıklık seviyesine taşır; karma tamsayılı konveks optimizasyon, hem sürekli hem de ayrık (discrete) öğeleri birleştirir ve bu birleşim, saf sürekli optimizasyon problemlerine kıyasla bilgi teorik ve algoritmik karmaşıklık özelliklerinde önemli farklılıklara yol açar. (Basu vd., 2023: 3).

- Değişkenlerin bağımsızlığı: TDP modelleri genellikle değişkenlerin bağımsız olduğunu, yani birinin değerinin diğerlerini doğrudan etkilemediğini varsayar. Ancak ulaşım veya üretim ağları gibi karmaşık sistemlerde kararlar sıklıkla birbirine bağlıdır ve değişkenler arasındaki etkileşimler önemli etkilere sahip olabilir (Marchand vd., 2002: 397).

- Değişkenlerin negatif olmaması: Tüm karar değişkenleri negatif olmama kısıtını sağlamalıdır ($x_j \geq 0$), çünkü negatif değerler operasyonel olarak anlam taşımaz (Vanderbei, 2001: 5).

- Deterministik parametreler: Deterministik eniyileme, tüm karar değişkenlerinin ve parametrelerin tam olarak bilindiğini ve zamanla değişmediğini varsayar. Ancak gerçek dünya problemlerinde birçok parametre belirsiz olabilir veya dinamik olarak değişebilir. Bu belirsizliği ele almak için, stokastik programlama çerçeveleri rastgele parametreleri ve senaryo-tabanlı formülasyonları içine alarak deterministik varsayımların ötesine geçer ve parametre değişkenliğine karşı çözüm sağlamayı amaçlar (Li ve Grossmann, 2021: 1-2).

- Tek hedef: Klasik optimizasyon problemlerinde, genellikle yalnızca maliyetlerin en aza indirilmesi veya kârın en üst düzeye çıkarılması gibi tek bir hedefin gözetildiği varsayılır; ancak, özellikle planlama ve karar verme süreçlerinde, birçok uygulamada birden fazla hedefin aynı anda dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin, bir yönetici genellikle ekonomik, çevresel veya sosyal hedefler arasında karşıt olabilen amaçlar için bir uzlaşma bulmak zorundadır. Bu tür problemler, çok amaçlı optimizasyon olarak adlandırılan problemlerin merkezinde yer alır; yani iki veya daha fazla amaç fonksiyonunun aynı anda optimize edilmesi gereken ve çoğunlukla çelişkili hedefler arasında bir denge çözümü aranan problemlerdir (Ehrgott, 2008: 47).

3.3.2. Tamsayılı Doğrusal Programlamanın Çözüm Yöntemleri

TDP problemlerini çözmek için çeşitli kesin algoritmik yöntemler vardır ve bu yöntemlerin amacı optimal çözümü elde etmektir. Uygun bir çözüm bulunduğunda, algoritmanın bu çözümün optimallliğini de gösterebilmesi gerekir; bu bazen çözümün

kendisini bulmak kadar karmaşık olabilir. Operasyonel araştırmada özel olarak kullanılan yöntemler arasında şunlar ayırt edilmektedir (Genova ve Guliaschi, 2011: 6):

- Ayırma ve değerlendirme yöntemi
- Kesme düzlemi yöntemi
- Dal ve kesim yöntemi
- Sezgisel ve metasezgisel yöntemler

Bu yöntemlerle çözüm stratejileri aşağıdaki üç adımı içermektedir (Özder, 2009: 33):

• Adım 1: Herhangi bir 0-1 tamsayılı y değişkenini $0 \leq y \leq 1$ sürekli aralığında değerler alacak şekilde değiştirip, bütün tamsayılı değişkenlerle ilgili tamsayı olma kısıtlarını da kaldırarak TDP çözüm uzayı gevşetilir. Böylelikle normal DP haline gelmiş olur.

• Adım 2: DP problemini çözerek sürekli optimum belirlenir.

• Adım 3: Sürekli optimumdan başlanıp, tekrarlı bir şekilde özel kısıtlar eklenerek çözüm uzayında düzeltmeler yapılır. Böylelikle, tamsayılı gereksinimleri de karşılayacak bir optimum uç noktaya ulaşılmaktadır.

3.3.2.1. Ayırma ve Değerlendirme (Dal-Sınır) Yöntemi

Bu yöntemin ilk önemli uygulamalarından biri, 1960 yılında Land ve Doig tarafından yapılmış olup, TDP problemleri için genel bir algoritma sunmuşlardır. Yöntemin çözüm uzayını daha küçük alt uzaylara böldüğünü ve olası çözümlerin keşfine rehberlik etmek için sistematik sınır testleri uyguladığını açıklamışlardır. Dinamik programlama ile sistematik araştırmayı birleştirerek karmaşık olduğu düşünülen sorunların erişilebilir hale getirilmesini mümkün kılmışlardır (Land ve Doig, 1960: 498).

Daha sonra yönteme, özellikle her alt problemde tamsayı olmayan çözümleri ortadan kaldırmak için kısıtlar eklenmesinden oluşan Gomory hareketleri olan önemli yenilikler eklenmiştir. Her alt probleme bir kesme eklenmesinin, tamsayı olmayan çözümleri ortadan kaldırarak arama alanının boyutunu azalttığını belirtmektedir. Bu kesintiler sürecin verimliliğini artırır ve optimum bütünsel çözüm arayışını hızlandırır (Gomory, 2009: 94).

Dal-sınır yöntemi, karma tamsayılı optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan sistematik bir yaklaşımdır. Bu yöntem, çözüm uzayını aşamalı olarak alt problemlere ayırır ve amaç fonksiyonu için hesaplanan sınır değerleri yardımıyla optimal sonuca ulaşamayacak çözümleri elimine eder (Shoja vd., 2025: 1).

Bu yöntem, TDP problemlerini çözmek için dal ve sınırlama algoritması kullanıldığında etkilidir; ancak alt problemler çoğaldığında verimliliği düşebilir ve sınırların kalitesi ile budama sürecine bağlı olarak daha dikkatli önlemler gerektirebilir. (Inayatullah vd, 2019: 3).

3.3.2.2. Kesme Düzlemi Yöntemi

Ralph E. Gomory tarafından 1950’li yıllarda karmaşık kombinatoriyal problemleri çözmek için geliştirilen bu yöntemin amacı, optimum olmayabilecek kesirli çözümleri eleyerek çözüm alanını daraltmaktır. Pratikte bu yöntem, başlangıç probleminin bir dizi alt probleme bölünmesine ve daha sonra ayırma ve değerlendirme yöntemi kullanılarak çözülmesine olanak tanır. Yöntemin prensibi, tamsayılardaki DP probleminin doğrusal gevşetilmesinin, sürekli bir çerçevede optimum olsa da ayrık bir problem için geçerli olmayan kesirli çözümler üretmesi gerçeğine dayanmaktadır. Böylece kesme düzlemi yöntemi, tamsayı çözümlerin uygulanabilirliğini korurken kesirli çözümleri ortadan kaldıran hiper düzlemler ekleyerek doğrusal gevşeme poligonunu ayarlar. Verimli dilimleme şemalarının uygulanması, aranacak çözüm sayısını önemli ölçüde azaltabilir ve böylece en iyi tamsayı çözüme doğru yakınsamayı hızlandırabilir (Gomory, 2009: 81).

Dal-sınır ve kesit düzlemi yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 5’de verilmektedir.

Tablo 5. Dal-sınır ve kesit düzlemi yöntemlerinin karşılaştırılması (Özder, 2009: 42).

Dal-Sınır Yöntemi	Kesme Düzlemi Yöntemi
- Dal-Sınır algoritmasının altında yatan temel fikir, uygun çözüm alanı içerisindeki bütün tamsayılı çiftlerini incelemektir. - Optimum sonucu kullanıcıya sunması açısından kesme düzleminden daha üstündür. - Dal-sınır algoritmasının en büyük dezavantajı her tamsayılı çözüm çiftinin elde edildiği düğümlerde DP yapılması gerektiğidir. Büyük çaplı bir problemde çok zaman harcanarak her bir düğüm için ayrı işlem yapılır.	- Kesme düzlemi algoritmasının altında yatan fikir ise, optimum DP çözümüne yakın optimum tamsayı noktasını bulmaktır. - Çözüme dal-sınır yöntemine kıyasla daha kısa sürede ulaşılır. - Kesme düzlemi algoritmasının, yuvarlama hatalarına karşı hassas oluşu bir dezavantajdır. Bazen optimum sonuca ulaşamayabilir. - Yöntemin başarısı problemin şekline bağlıdır. Optimum çözüme ulaşmak için bazen sadece kısıtların sırasını değiştirmek, gerekli kesme düzlemi sayısını önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Doğrusal gevşetmenin çözümü sonucunda kesirli bir çözüm elde edildiğinde, bu kesirli çözümü dışlamak ancak tüm geçerli tamsayılı çözümleri korumak amacıyla geçerli bir kesme düzlemi oluşturulması gerekir. Bu yöntemin etkinliği, arama uzayını hızlı bir şekilde daraltabilecek güçlü eşitsizlikler üretme kapasitesine büyük ölçüde bağlıdır (Schrijver, 1998: 213).

3.3.2.3. Dal ve Kesim Yöntemi

Bu yöntem, klasik yöntemlerin sınırlamalarını aşarak, dallanma ve birleştirmeyi kesme düzlemleriyle birleştirerek TDP problemlerini çözer. Dallanma ve birleştirme ilkesi, arama alanının daha küçük alt problemlere bölündüğü ve her birinin yinelemeli olarak keşfedildiği dallanma ve birleştirme fikrine dayanır. Her yinelemede alt ve üst sınırlar hesaplanarak daha iyi çözüme ulaşamayan düğümlerin elenmesine olanak sağlanır. Ancak bu yöntem, doğrusal gevşemeden kaynaklanan kesirli çözümleri ortadan kaldırmak için soruna kesme düzlemlerinin eklenmesini de içerir. Mevcut çözüm tarafından sağlanmayan geçerli eşitsizlikler olan bu kesme düzlemleri, arama bölgesinin kademeli olarak rafine edilmesine olanak tanır. Dallanma sürecine kesmelerin dâhil edilmesi, yalnızca arama alanının boyutunu azaltmakla kalmaz, aynı zamanda global en iyi çözüme yakınsama hızını da artırır. Böylece, her düğüme kesme düzlemleri eklemek, tamsayı çözümleri etkilemeden tamsayı olmayan çözümleri ortadan kaldırır ve böylece optimum arama sürecini hızlandırır (Padberg ve Rinaldi, 1991: 62).

Doğrusal gevşetmenin çözümü kesirli değerler içerdiğinde, bu çözümleri ortadan kaldırmak amacıyla kesme düzlemleri modele eklenir. Bu kesmeler, tüm tamsayılı uygulanabilir çözümleri korurken kesirli çözümleri dışlayacak şekilde tasarlanır. Ancak aşırı sayıda kesme düzlemi eklenmesi problemin boyutunu artırarak algoritmanın performansını olumsuz etkileyebileceğinden, kesmeler dikkatli seçilmelidir (Wolsey, 1998: 131-132).

Dal ve kes (branch-and-cut) yöntemlerine ilişkin literatürde, temel zorluğun kesme düzlemlerinin (cutting planes) seçimi olduğu yaygın biçimde kabul edilmektedir. Çünkü kesmelerin rastgele veya ölçsüz biçimde eklenmesi, her ne kadar dallanma ağacında incelenen düğüm sayısını azaltabilse de, toplam hesaplama süresini önemli ölçüde artırabilmektedir. Uygun olmayan bir kesme seçimi, dallanma ağacı içindeki doğrusal gevşetmelerin çözümünü daha karmaşık ve zaman alıcı hale getirebilir. Bu nedenle, kesmelerin algoritmaya entegre edilmesi sürecinde dikkatli ve stratejik bir yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir (Dey ve Molinaro, 2018: 237).

3.3.2.4. Sezgisel ve Metasezgisel Yöntemler

Karmaşık optimizasyon problemlerinde, meta-sezgisel algoritmalar güçlü birer alternatif yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Bu algoritmalar, kabul edilebilir hesaplama süreleri içinde yaklaşık çözümler üretme kapasitesine sahiptir. Üst düzey stratejiler olarak işlev gören meta-sezgiseller, alt düzey sezgisel yöntemleri yönlendirerek arama uzayının hem kapsamlı biçimde keşfedilmesini hem de yerel düzeyde etkin biçimde kullanılmasını sağlar; böylece küresel keşif ile yerel yoğunlaşma arasında dengeli bir yapı oluşturur (Ramadan, 2025: 66).

Metasezgiler ise arama alanını daha sistematik bir şekilde keşfetmeyi amaçlayan bir dizi yöntemi kapsayan küresel stratejileri temsil etmektedir. Bu yöntemler özellikle hesaplama açısından son derece zor olan problemler için uygundur. Genetik algoritma, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) veya karınca kolonisi algoritması gibi metasezgisel yöntemler, yerel optimumlara düşmekten kaçınarak geniş çözüm alanlarını keşfetme yeteneğine sahiptir. Doğa olaylarından esinlenen bu yöntemler, suboptimal çözümlerde durağanlığı önlemek için arama alanının keşfi ve kullanımı arasında bir denge bulmayı amaçlamaktadır (Almufti vd., 2023: 15).

Genetik algoritma (GA), doğal seçim sürecini simüle eden popüler bir metasezgisel yöntemdir. Mutasyon, çaprazlama, büyüme gibi operatörleri kullanarak çözümler üretir. Genetik algoritma, özellikle TDP bağlamında, keşif ve yararlanma arasında bir denge sağlayarak, neredeyse optimum çözümler üreterek karmaşık kombinatoriyal problemleri çözme yeteneğine sahiptir (Consoli ve Darby-Dowman, 2006: 3).

Aşağıdaki Tablo 6'da, kullanılan çözüm yöntemlerinin temel özelliklerinin ve performanslarının karşılaştırmalı bir özeti sunulmaktadır.

Tablo 6. Çözüm yöntemlerinin genel karşılaştırma tablosu

Yöntem	Tür	İlke	Faydalar	Sınırlar	Tipik Uygulamalar
Dal-Sınır Yöntemi	Birebir aynı	Dal ve sınır yöntemleri ile arama ağacı	Garantili optimumluk, yaygın olarak kullanılır.	Karmaşık durumlarda yüksek hesaplama süresi	Tahsis, planlama, üretim
Kesme Düzlemi Yöntemi	Birebir aynı	Kesirli çözümleri elemek için kademeli olarak kesintiler eklenmesi	Modeli güçlendirir, yakınsamayı hızlandırır.	Büyük sorunlarda tek başına çok etkili değildir.	Kombine optimizasyon, polihedral analiz

Tablo 6. (Devamı)

Yöntem	Tür	İlke	Faydalar	Sınırlar	Tipik Uygulamalar
Dal ve Kesim Yöntemi	Birebir aynı	Kesimleri dal ve kesim yapısına entegre etmek	Yüksek performanslı ticari çözümler için referans yöntemidir.	Uygulama karmaşıklığı, ek kesintilere bağlıdır.	Büyük endüstriyel modeller, karmaşık planlama
Sezgisel ve Metasezgisel Yöntemler	Yaklaşık	Optimum değere yakın çözümler için stokastik arama	Hız, çok büyük ölçekte uygulanabilir.	En iyiyi garanti etmez, yapılandırma parametrelerine oldukça bağımlıdır.	Zaman kısıtlaması veya büyük boyutlara sahip gerçek yaşam problemleri

TDP için sıklıkla kullanılan bir diğer metasezgisel yöntem ise karıncaların kolektif yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilen karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) dur. Karınca kolonisi optimizasyonu, dinamik bir ortamda karıncaların adaptif davranışlarını simüle ederek, gezgin satıcı problemi ve diğer TDP varyantları da dâhil olmak üzere kombinatoriyal optimizasyon problemlerinde iyi sonuçlar göstermektedir. Bu yöntemler, kesin yöntemlerin çok zor olduğu durumlarda TDP problemlerinin çözümü için olmazsa olmazdır. Kaliteli çözümlerin hızlı bir şekilde sunulmasını sağlayan esnek bir yaklaşım sunarlar. Bu, zaman ve kaynak kısıtlamalarının mükemmel bir optimuma ulaşılmasına izin vermediği pratik uygulamalar için genellikle yeterlidir.

3.3.3. Tamsayılı Doğrusal Programlamanın Uygulama Alanları

TDP, belirli kısıtlar altında işgücünün optimal dağılımını belirlemek için kullanılan güçlü bir yöntemdir. Bu yaklaşım, her vardiyada kaç personelin çalıştırılacağı ve toplam işgücü maliyetinin nasıl minimize edileceği gibi kararların bilimsel ve sistematik bir şekilde alınmasına olanak sağlar. Bu yöntem, madencilik sektöründe işgücü planlaması için de uygulanabilir; özellikle vardiya planlaması, işçi sayısının optimizasyonu ve maliyet kontrolü açısından etkin bir çözüm sunmaktadır. Örneğin, bir işletmede TDP yardımıyla planlama yapıldığında, makine kapasite kısıtları ve iş talepleri dikkate alınarak üretim verimliliği maksimize edilebilir ve maliyetler en aza indirilebilir (Çevik, 2006: 157).

Bu yöntemin, dağıtım güzergâhlarının optimizasyonu ile ilgili karmaşık problemlerin çözümünde uygulanması bulunmaktadır. Hedef, ulaşım maliyetlerini en aza indirerek taleplere etkin bir şekilde cevap vermektir. Bu yöntemin uygulanması,

mevcut lojistik ve insan kaynakları kaynaklarının optimize edilmesiyle iş gücü planlamasında ve operasyonel performansta önemli iyileşmeler sağlayabileceğini göstermektedir (Wan ve Xu, 2025: 464).

Çevik (2006) tarafından yapılan çalışmada, madencilik sektöründe İKY kapsamında farklı görev ve vardiyalara uygun işgücü dağılımını sağlamak için TDP modellerinin kullanımı incelenmiştir. Bu modeller, kapasite kısıtları, çalışma saatleri ve çalışanların beceri seviyeleri gibi operasyonel değişkenleri dikkate alarak işgücünün etkin tahsisini sağlamayı hedeflemektedir. Bu sayede hem operasyonel gereklilikler karşılanmakta hem de işçilik maliyetleri minimize edilmektedir. Çalışmada bu yaklaşım şu şekilde ifade edilmiştir: Bu çalışmada Tokat il merkezinde faaliyet gösteren bir işletmede TDP yardımıyla işletmeye minimum maliyeti sağlayacak işgücü planlaması yapılmıştır (Çevik, 2006: 158).

3.3.4. Tamsayılı Doğrusal Programlamanın Avantajları ve Dezavantajları

TDP, DP modeline tamsayılılık koşulunun eklenmesiyle, bazı ya da tüm karar değişkenlerinin tamsayı (ayrık) değerler aldığı bir optimizasyon problemidir. Gerçek hayattaki optimizasyon problemlerinde, özellikle atama, çizelgeleme ve kaynak tahsisi gibi bölünemez kararları içeren durumlarda, tamsayılı değişkenler kritik bir rol oynamaktadır. DP gevşetmeleri alt ve üst sınırlar sağlayabilse de, çoğu zaman TDP problemlerinin doğasında bulunan kombinatoriyal yapıyı tam olarak yansıtamaz. Bu nedenle, en iyi tamsayılı çözümlerin etkin bir biçimde elde edilebilmesi için özel çözüm yaklaşımlarına ve uyarlanmış algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Alan, 2024: 1533).

Karma TDP yöntemleri, son elli yıl içinde önemli ölçüde gelişme göstermiş ve endüstriyel ile ticari uygulamalarda vazgeçilmez hale gelmiştir. Bu yöntemlerin başarısını açıklayan iki temel neden vardır: sürekli DP'ye dayalı çözücülerin etkinliği ve tamsayılı formülasyonların sunduğu yüksek modelleme esnekliği. Bu yöntemler, sürekli DP'nin temsil edemediği kombinatoriyal ve mantıksal kısıtların doğrudan modellenmesine olanak tanır ve böylece gerçek karar problemlerinin daha doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlar. Ancak, TDP'de etkili formülasyonlar geliştirmek kolay değildir; çünkü formülasyonun kalitesi, çözücünün performansını doğrudan etkiler. Bu bağlamda, Vielma (2015), karma TDP'nin endüstri ve ticarete karşılaşılan çok çeşitli optimizasyon problemlerinin çözümünde vazgeçilmez bir araç haline geldiğini belirtmektedir. Ona göre bu başarının temelinde iki ana unsur bulunmaktadır: DP çözücülerindeki kayda değer ilerlemeler ve tamsayılı değişkenlerin sağladığı modelleme esnekliği (Vielma, 2015: 4).

Tamsayılı değişkenlerin tanıtılması çözüm uzayında kesintilere yol açar. Bu kesintiler, optimum çözümlerin bulunmasını daha karmaşık hale getirir ve çözüm yöntemlerinin artık bu kesintileri hesaba katmasını gerektirir. Sonuç olarak, hesaplamalar daha karmaşık hale gelir ve arama süreci yavaşlar. Ayrıca, bu kopukluklar optimum çözüme yakınsamada ek zorluklar oluşturabilir ve elde edilen çözümlerin verimliliğini artırmak için dal-sınır (branch and bound) gibi özel yöntemlerin uygulanmasını gerektirir (Liberti, 2009: 58)

TDP, otomotiv ve enerji gibi endüstrilerdeki karmaşık problemleri çözmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu ortamlarda TDP'nin uygulanması, endüstriyel verilerin heterojenliği ve kısıt modellemesindeki belirsizliklerle ilgili zorluklarla karşı karşıyadır. Özellikle süreç içerisinde öngörülemeyen değişiklikler yaşandığında önerilen çözümlerde hatalara yol açabilmektedir. TDP güçlü bir araç olmasına rağmen, güvenilir sonuçları garantilemek için dikkatli parametre kalibrasyonu ve iyi belirsizlik yönetimi gerektirir (Polat ve Gürtuna, 2018: 86).

Gerçek hayattaki problemlerde, girdilerin ve çıktılarının bölünemez olması durumu, karar değişkenlerinin tamsayı değerler almasını gerektirir. Personel sayısı, makine sayısı vb. bu duruma örnektir. DP ile elde edilen optimal çözüm değerleri tamsayı değilse ve çözümün tamsayı olması isteniyorsa, yönetici başka bir çözüm tekniği olan tamsayılı programlamaya başvurmalıdır. TDP modelinin değişkenleri ayrık olup, bu değişkenlerin bir kısmı veya tamamı tamsayı değerler almak zorundadır. Bazı durumlarda doğrusal problemlerde elde edilen değerler kesirli olabilir, ancak bu kesirli çözümler işçi sayısı gibi tamsayılı olması gereken karar değişkenleri için anlamsızdır (Ekin, 2024: 550-551).

4. UYGULAMA

4.1. İşletmenin Profili

Eti Gold Madencilik A.Ş., Gümüşhane ilinin Merkez ilçesine bağlı Karamustafa Köyü Midi mahallesi mevkiinde, il merkezine yaklaşık 40 km mesafede yer almakta olup toplam 19.410.700 m² yüzölçümüne sahip bir alanda faaliyet göstermektedir. İşletmenin 847.500 m²'lik kapalı alanı bulunmaktadır. Maden yatırım faaliyetlerine 2010 yılında başlanmış, Ağustos 2011 itibarıyla üretim sürecine geçilmiştir. Çinko, kurşun, gümüş ve altın üretimi gerçekleştiren işletme, Türkiye'de değerli metal üretimine önemli katkılar sunmaya devam etmektedir.

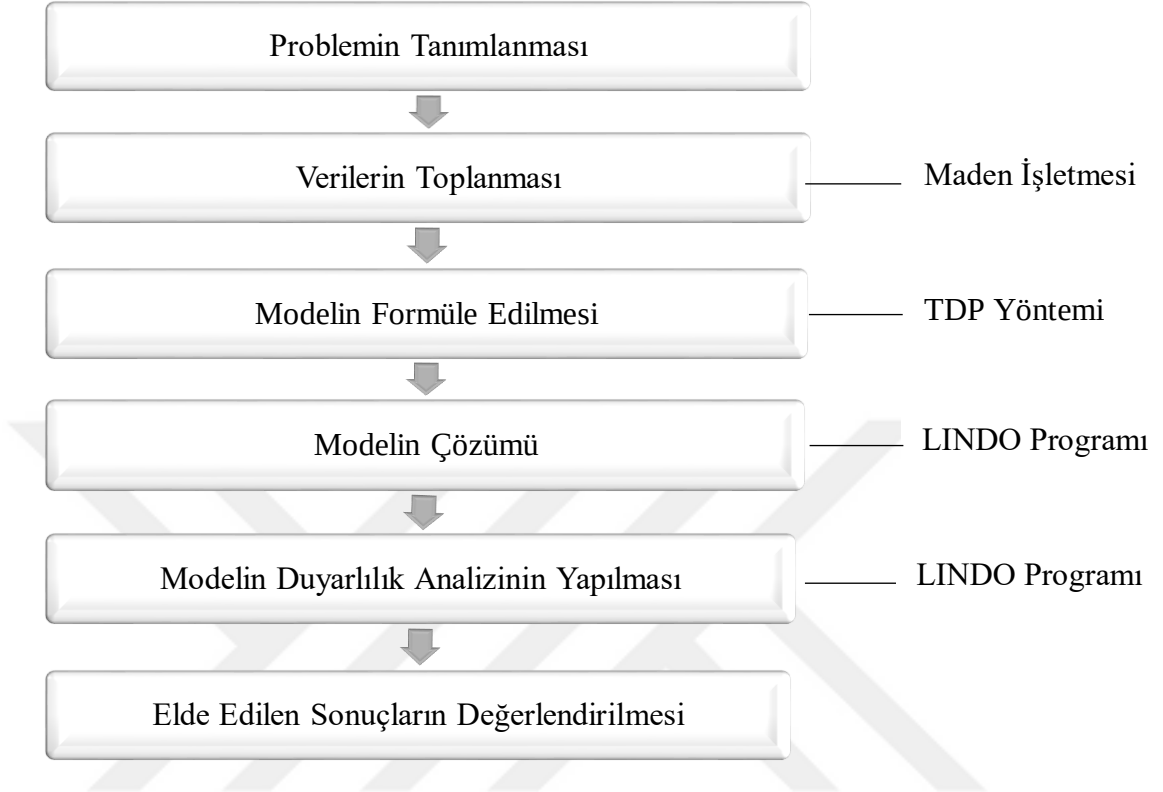
İşletme 418 kişiyi istihdam etmektedir. Aileleri de dâhil olmak üzere, maden yaklaşık 1.520 kişiyi geçindirmektedir. Ayrıca, yerel işletmelere yaptığı ekonomik katkı sayesinde Gümüşhane ili ve çevresine yaklaşık %70 oranında ekonomik etki yaratmakta, böylece yerel ekonomiye ve refaha kalıcı bir katkı sağlamaktadır.

Gümüşhane ilinde yer altı ve yer üstü ocaklar aracılığıyla cevher üretimi yapılmakta, çıkarılan cevherler zenginleştirme tesislerinde işlenerek konsantre ve dore şeklinde nihai ürüne dönüştürülmektedir. Yurt dışına yönelik satışlar Trabzon Limanı üzerinden gerçekleştirilirken, diğer kıymetli metallerin satışı ise İstanbul Altın Borsası aracılığıyla doğrudan Merkez Bankası'na yapılmaktadır. Gümüşhane ilinde sanayi kuruluşlarının sınırlı olması nedeniyle madencilik faaliyetleri, il ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. İldeki diğer büyük ölçekli maden ocaklarının rezervlerinin tükenmiş olması, Eti Gold Madencilik A.Ş.'nin üretimini Gümüşhane ili açısından daha da stratejik bir konuma getirmektedir.

İşletmenin yer altı ve yer üstü maden ocaklarından 2024 yılı için 720.000 ton cevher üretimi, zenginleştirme işlemleri sonrasında ise 600 kg altın ve 1.500 kg gümüş üretimi planlanmaktadır. Aynı yıl için öngörülen ciro miktarı 1.500.000.000 TL'dir. Mevcut durumda işletmenin önümüzdeki 30 yılı kapsayacak yeterli cevher rezervine sahip olduğu belirtilmekte olup, gerçekleştirilecek yeni yatırımlarla istihdam ve üretim kapasitesinin üç katına çıkarılması hedeflenmektedir. Yasal düzenlemeler ve teknolojik projelerin hayata geçirilmesiyle birlikte, madencilik sektörünün Gümüşhane ili ve Türkiye ekonomisine sağladığı katkının artarak devam etmesi beklenmektedir.

4.2. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada izlenen yöntem Şekil 5’de verilmektedir.



Şekil 5. Çalışmada izlenen yöntem

Bu çalışma, 2009 yılında Gümüşhane’de kurulan Eti Gold Madencilik A.Ş.’nin 2025 yılı gerçek verilerini kullanarak madencilik sektöründe optimum işgücü planlamasına odaklanmaktadır. Amaç, çalışan türlerine göre her vardiyaya atanacak optimum çalışan sayısını belirlemek ve madencilik operasyonlarının sorunsuz yürütülmesinden ödün vermeden işçilik maliyetlerini en aza indirmektir. Yöntem, üç sabit vardiya etrafında düzenlenmiş bir TDP modeline dayanmaktadır. Çalışmadaki vardiyalar; 08:00-16:00, 16:00-00:00 ve 00:00-08:00 vardiyalarıdır. Çalışmadaki modelde, madendeki Haziran 2025 verileri kullanılmıştır. Böylece bu çalışmada gerçek madencilik koşullarını yansıtacak şekilde bir uygulama yapılmıştır.

Bu çalışmadaki veriler ve bilgiler, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu’ndan (28/05/2025 tarih ve 2025/5 sayılı kararı) ve Eti Gold Madencilik A.Ş.’den izin alındıktan sonra uygulama yapılan maden işletmesindeki yetkiliden alınmıştır.

İşgücü planlarının geliştirilmesinde matematiksel modellerin kullanılması, planlamayı basitleştirir ve netleştirir. Optimal planlama, matematiksel işgücü planlama

modellerinin çözülmesiyle elde edilir. Matematiksel modeller arasında DP, işgücü planlaması için en etkili ve yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. DP kullanılarak oluşturulan modellerde, DP modeline optimum çalışan sayısını belirlemek için bir tamsayı koşulunun eklenmesiyle DP modeli bir TDP modeline veya kısaca bir tamsayılı programlama modeline dönüşür (Bolayır ve Ergülen, 2022: 184).

Çözüm, operasyonel kısıtlamalara uyarak her birim için vardiya başına gereken optimum çalışan sayısını belirleyen LINDO yazılımı kullanılarak uygulanmıştır. Çalışmada, yönetim kadrosu hariç olmak üzere farklı birimlere yayılmış 418 çalışandan elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu çalışanlar, yer altı ve açık ocak üretimi, bakım, güvenlik, sağlık, laboratuvar, inşaat, çevre, mutfak, temizlik ve idari işler gibi departmanlarda operatör, şoför, teknisyen, bakım personeli ve kalifiye işçi gibi çeşitli pozisyonlarda görev yapmaktadır. 2025 Haziranda tüm pozisyonlar için brüt aylık maaş 22.500 TL olarak belirlenmiştir. İş gücü, her birim ve ekibin özel ihtiyaçlarına göre dağıtılmaktadır.

Geçici fazla mesai ödemesi yaparken işletme, geçici işçileri işe almak veya başka bir yere atamak yerine mevcut çalışanların fazla mesailerini kullanmayı tercih etmektedir. Her çalışana vardiyası sırasında 30 dakikalık bir öğle yemeği molası verilmektedir. Molalar vardiyaya bağlı olarak farklı şekilde planlanmaktadır. Her vardiya için öğle yemeği molaları öğlen, kahve molaları ise 10:00 ve 14:00'da verilmektedir. 16:00'dan 00:00'a kadar olan vardiyada öğle yemeği molaları 18:00 civarında, çay molaları ise 18:00 ve 22:00'de verilmektedir. Son olarak, 00:00 ile 08:00 vardiyası için öğle yemeği molaları 01:00 ile 02:00 arasında, çay molaları ise 02:00 ile 06:00 arasında verilmektedir. Aşağıda Tablo 7'de madendeki birimlere göre vardiyalardaki çalışanların sayılarının dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 7. Madendeki birimlere göre vardiyalardaki çalışanların sayıları

Madendeki Birimler	Madendeki Vardiyalar		
	08:00-16:00	16:00-00:00	00:00-08:00
Yer Altı İşçisi 1 Nolu Çalışan	56	40	30
İK İdari ve Sosyal İşler Departmanı	20	20	14
Muhasebe Departmanı/Depo Müdürü	3	3	2
Açık Ocak Maden Departmanı	20	13	
Plan Proje Departmanı	3		
Harita Departmanı	3		

Tablo 7. (Devamı)

Madendeki Birimler	Madendeki Vardiyalar		
	08:00-16:00	16:00-00:00	00:00-08:00
Arama ve Sondaj Departmanı	6	5	
Üretim Departmanı	20	20	20
Elektrik Bakım Onarım Departmanı	15	15	10
Tesis Bakım Onarım Departmanı	5	5	3
Mekanik Atölye Departmanı	10	4	4
Yer Altı Mekanik Atölye Bakım Departmanı	4	2	2
Baraj ve İnşaat Departmanı	22		
Laboratuvar Departmanı	5	5	2
Çevre Departmanı	4		
İş Sağlığı ve Güvenliği Departmanı	1	1	1

Bu çalışma programları, iş yüküne göre ayarlanabilmektedir. Çalışma koşulları, çalışanların refahını ve işletmenin sorunsuz işleyişini sağlamak için işletme tarafından sağlanan yemek, konaklama ve ulaşım gibi sosyal hizmetleri de içermektedir.

4.3. Problemin Tanımı

Eti Gold Madencilik A.Ş., 2009 yılında Gümüşhane ilinde kurulmuş olup madencilik sektöründe 7/24 kesintisiz olarak faaliyet göstermektedir. İşletme, yer altı işçisi 1 nolu çalışan, İK idari ve sosyal işler departmanı, muhasebe müdürlüğü/ambar şefliği, açık ocak maden departmanı, plan proje departmanı, harita departmanı, arama ve sondaj departmanı, üretim departmanı, elektrik bakım onarım departmanı, tesis bakım onarım departmanı, mekanik atölye departmanı, yer altı mekanik atölye bakım departmanı, baraj ve inşaat departmanı, laboratuvar departmanı, çevre departmanı, iş sağlığı ve güvenliği departmanı gibi çeşitli birimlerde 418 kişiyi istihdam etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Haziran 2025 verilerini baz alınarak, işgücü maliyetlerini en aza indirirken verimli bir organizasyon sağlamak amacıyla, iş türü ve vardiya başına düşen optimum çalışan sayısını belirlemektir. Çalışma, personel yönetimini kolaylaştırmak için rotasyon olmaksızın üç sabit vardiya (08:00-16:00, 16:00-00:00 ve 00:00-08:00) halinde yapılandırılmıştır. Planlama birkaç kısıtlamaya uymalıdır; üretim, bakım ve güvenlik gibi kritik faaliyetlerin sürekliliğini sağlamak için mevcut personeli aşmadan her vardiyada her personel kategorisinin bulunması gerekmektedir.

Özellikle üretimin yoğun olduğu sırada iş yükü dalgalanmalarının yaşandığı bir anda, işletme esnek bir strateji de benimsemektedir. Düzenli personel seviyeleri yetersiz olduğunda, güvenlik ve üretkenlik standartlarına saygı göstererek acil ihtiyaçları karşılamak için belirli çalışanlara geçici olarak fazla mesai atanabilmektedir.

Bu operasyonel esneklik, iş yüküne ve personel mevcudiyetine bağlı olarak etkinleştirilebilen bir yedek değişken olarak fazla mesainin dâhil edildiği planlama modelinde dikkate alınmaktadır. Program, üretimi kesintiye uğratmayacak şekilde düzenlenen 30 dakikalık öğle yemeği molası ve çay molalarını içermektedir. Tüm çalışanlar, kıdemlerinin ve pozisyonlarının özellikleri dikkate alınarak 22.500 TL tutarında sabit bir aylık maaş almaktadır.

Burada amaç, istikrarlı ve verimli operasyonları sağlamak için insan kaynaklarını en iyi şekilde organize etmek, farklı kısıtlamalara göre gerçekleri entegre etmektir. Bu amaçla çalışmanın uygulamasında, hassas ve hemen uygulanabilir çözümler sağlamak için TDP'ye dayalı bir matematiksel model kullanılmıştır.

Tablo 8'de, madendeki birimlere göre vardiyalardaki sayıların dağılımı ile çalışanların iş türlerine göre aylık maaşları gösterilmektedir. Bu veriler, işletmenin 7/24 çalışma ortamında insan kaynaklarını etkili bir şekilde yönetmesi için güvenilir bir araç sağlamak amacıyla matematiksel bir model oluşturmak ve optimizasyon hedeflerini tanımlamak için kullanılmıştır.

Tablo 8. Madendeki birimlere göre vardiyalarda istihdam edilecek çalışanların sayıları ile iş türlerine göre aylık maaşları

Madendeki Birimler	Madendeki Vardiyalar			Çalışan Sayısı	Birim Maaş (TL)
	08:00-16:00	16:00-00:00	00:00-08:00		
Yer Altı İşçisi 1 Nolu Çalışan	56	40	30	126	22.500
İK İdari ve Sosyal İşler Departmanı	20	20	14	54	22.500
Muhasebe Departmanı/Depo Müdürü	3	3	2	8	22.500
Açık Ocak Maden Departmanı	20	13		33	22.500
Plan Proje Departmanı	3			3	22.500
Harita Departmanı	3			3	22.500
Arama ve Sondaj Departmanı	6	5		11	22.500
Üretim Departmanı	20	20	20	60	22.500
Elektrik Bakım Onarım Departmanı	15	15	10	40	22.500
Tesis Bakım Onarım Departmanı	5	5	3	13	22.500
Mekanik Atölye Departmanı	10	4	4	18	22.500

Tablo 8. (Devamı)

Madendeki Birimler	Madendeki Vardiyalar			Çalışan Sayısı	Birim Maaş (TL)
	08:00-16:00	16:00-00:00	00:00-08:00		
Yer Altı Mekanik Atölye Bakım Departmanı	4	2	2	8	22.500
Baraj ve İnşaat Departmanı	22			22	22.500
Laboratuvar Departmanı	5	5	2	12	22.500
Çevre Departmanı	4			4	22.500
İş Sağlığı ve Güvenliği Departmanı	1	1	1	3	22.500

4.4. Önerilen Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli

Madencilik sektöründe işgücü dağılımını TDP kullanarak optimize etmek için birkaç önemli parametrenin dikkate alınması gerekir. Bunlar arasında 08:00-16:00, 16:00-00:00 ve 00:00-08:00 olmak üzere üç vardiyaya bölünmüş çalışma saatleri, yer altı işçisi 1 nolu çalışan, İK idari ve sosyal işler departmanı, muhasebe departmanı/depo müdürü, açık ocak maden departmanı, plan proje departmanı, harita departmanı, arama ve sondaj departmanı, üretim departmanı, elektrik bakım onarım departmanı, tesis bakım onarım departmanı, mekanik atölye departmanı, yer altı mekanik atölye bakım departmanı, baraj ve inşaat departmanı, laboratuvar departmanı, çevre departmanı, iş sağlığı ve güvenliği departmanı olmak üzere mevcut personelin birimleri operasyonel birimleri ve çalışan başına birim ücret maliyeti yer alır. Matematiksel modeli oluşturmadan önce, her birime ve her vardiyaya atanan işçi sayısına karşılık gelen karar değişkenlerini açıkça tanımlamak esastır. Bu değişkenler, her bir birimin operasyonel ihtiyaçlarını karşılayarak maliyetleri en aza indiren optimum kombinasyonu belirlemeye yardımcı olacaktır. TDP'nin kullanımı, kısıtlamalar ve madencilik faaliyetinin sürekli doğası ile tutarlı, gerçekçi planlama sağlar.

İndis:

- x: Yer altı işçisi 1 nolu çalışan
- y: İK idari ve sosyal işler departmanı
- z: Muhasebe departmanı/depo müdürü
- w: Açık ocak maden departmanı
- u: Plan proje departmanı
- v: Harita departmanı
- g: Arama ve sondaj departmanı
- h: Üretim departmanı
- t: Elektrik bakım onarım müdürlüğü
- d: Tesis bakım onarım müdürlüğü
- q: Mekanik atölye departmanı

m: Yer altı mekanik atölye bakım departmanı

r: Baraj ve inşaat departmanı

s: Laboratuvar departmanı

p: Çevre departmanı

k: İş sağlığı ve güvenliği departmanı

Modelin karar değişkenleri aşağıdaki şekilde açıklanmıştır:

x₁₁: 08:00-16:00 vardiyasında yer altı işçisi 1 nolu çalışan sayısı

x₁₂: 16:00-00:00 vardiyasında yer altı işçisi 1 nolu çalışan sayısı

x₁₃: 00:00-08:00 vardiyasında yer altı işçisi 1 nolu çalışan sayısı

y₂₁: 08:00-16:00 vardiyasında İK idari ve sosyal işler departmanında çalışan sayısı

y₂₂: 16:00-00:00 vardiyasında İK idari ve sosyal işler departmanında çalışan sayısı

y₂₃: 00:00-08:00 vardiyasında İK idari ve sosyal işler departmanında çalışan sayısı

z₃₁: 08:00-16:00 vardiyasında muhasebe departmanında/depo müdürlüğünde çalışan sayısı

z₃₂: 16:00-00:00 vardiyasında muhasebe departmanında/depo müdürlüğünde çalışan sayısı

z₃₃: 00:00-08:00 vardiyasında muhasebe departmanında/depo müdürlüğünde çalışan sayısı

w₄₁: 08:00-16:00 vardiyasında açık ocak maden departmanında çalışan sayısı

w₄₂: 16:00-00:00 vardiyasında açık ocak maden departmanında çalışan sayısı

u₅₁: 08:00-16:00 vardiyasında plan proje departmanında çalışan sayısı

v₆₁: 08:00-16:00 vardiyasında harita departmanında çalışan sayısı

g₇₁: 08:00-16:00 vardiyasında arama ve sondaj departmanında çalışan sayısı

g₇₂: 16:00-00:00 vardiyasında arama ve sondaj departmanında çalışan sayısı

h₉₁: 08:00-16:00 vardiyasında üretim departmanında çalışan sayısı

h₉₂: 16:00-00:00 vardiyasında üretim departmanında çalışan sayısı

h₉₃: 00:00-08:00 vardiyasında üretim departmanında çalışan sayısı

t₁₀₁: 08:00-16:00 vardiyasında elektrik bakım onarım departmanında çalışan sayısı

t₁₀₂: 16:00-00:00 vardiyasında elektrik bakım onarım departmanında çalışan sayısı

t₁₀₃: 00:00-08:00 vardiyasında elektrik bakım onarım departmanında çalışan sayısı

d₁₁₁: 08:00-16:00 vardiyasında tesis bakım onarım departmanında çalışan sayısı

d₁₁₂: 16:00-00:00 vardiyasında tesis bakım onarım departmanında çalışan sayısı

d₁₁₃: 00:00-08:00 vardiyasında tesis bakım onarım departmanında çalışan sayısı

q₁₂₁: 08:00-16:00 vardiyasında mekanik atölye departmanında çalışan sayısı

q₁₂₂: 16:00-00:00 vardiyasında mekanik atölye departmanında çalışan sayısı

q₁₂₃: 00:00-08:00 vardiyasında mekanik atölye departmanında çalışan sayısı

m₁₃₁: 08:00-16:00 vardiyasında yer altı mekanik atölye bakım departmanında çalışan sayısı

m₁₃₂: 16:00-00:00 vardiyasında yer altı mekanik atölye bakım departmanında çalışan sayısı

m₁₃₃: 00:00-08:00 vardiyasında yer altı mekanik atölye bakım departmanında çalışan sayısı

r₁₄₁: 08:00-16:00 vardiyasında baraj ve inşaat departmanında çalışan sayısı

s₁₅₁: 08:00-16:00 vardiyasında laboratuvar departmanında çalışan sayısı

s₁₅₂: 16:00-00:00 vardiyasında laboratuvar departmanında çalışan sayısı

s₁₅₃: 00:00-08:00 vardiyasında laboratuvar departmanında çalışan sayısı

p₁₆₁: 08:00-16:00 vardiyasında çevre departmanında çalışan sayısı

k₁₇₁: 08:00-16:00 vardiyasında iş sağlığı ve güvenliği departmanında çalışan sayısı

k₁₇₂: 16:00-00:00 vardiyasında iş sağlığı ve güvenliği departmanında çalışan sayısı

k₁₇₃: 00:00-08:00 vardiyasında iş sağlığı ve güvenliği departmanında çalışan sayısı

Çalışmanın üçüncü bölümünde teorik formülasyonu verilen TDP modeli, Eti Gold Madencilik A.Ş. madencilik işletmesinde işgücü yönetimini optimize etmek için geliştirilmiştir. Bu model, 24 saatlik bir süre boyunca operasyonel sürekliliği sağlarken işgücü maliyetlerini düşürmek için ekip kısıtlamalarını ve her birimin özel ihtiyaçlarını entegre eder. Model, 2025 Haziran ayındaki gerçek verilere dayalı olarak hazırlanmış ve LINDO yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Böylece model, her birim için optimum işçi sayısının belirlenmesini sağlamıştır. Bu optimizasyon için kurulan model aşağıdaki Tablo 9’da sunulmaktadır.

Tablo 9. LINDO paket programı ile kurulan model

Min
22500x ₁₁ +22500x ₁₂ +22500x ₁₃ +22500y ₂₁ +22500y ₂₂ +22500y ₂₃ +22500z ₃₁ +22500z ₃₂ +22500z ₃₃ +22500w ₄₁ +22500w ₄₂ +22500u ₅₁ +22500v ₆₁ +22500g ₇₁ +22500g ₇₂ +22500h ₉₁ +22500h ₉₂ +22500h ₉₃ +22500t ₁₀₁ +22500t ₁₀₂ +22500t ₁₀₃ +22500d ₁₁₁ +22500d ₁₁₂ +22500d ₁₁₃ +22500q ₁₂₁ +22500q ₁₂₂ +22500q ₁₂₃ +22500m ₁₃₁ +22500m ₁₃₂ +22500m ₁₃₃ +22500r ₁₄₁ +22500s ₁₅₁ +22500s ₁₅₂ +22500s ₁₅₃ +22500p ₁₆₁ +22500k ₁₇₁ +22500k ₁₇₂ +22500k ₁₇₃
St
x ₁₁ +x ₁₂ +x ₁₃ ≥126
y ₂₁ +y ₂₂ +y ₂₃ ≥54

Tablo 9. (Devami)

$z31+z32+z33 \geq 8$
$w41+w42 \geq 33$
$u51 \geq 3$
$v61 \geq 3$
$g71+g72 \geq 11$
$h91+h92+h93 \geq 60$
$t101+t102+t103 \geq 40$
$d111+d112+d113 \geq 13$
$q121+q122+q123 \geq 18$
$m131+m132+m133 \geq 8$
$r141 \geq 22$
$s151+s152+s153 \geq 12$
$p161 \geq 4$
$k171+k172+k173 \geq 3$
$x11 \geq 0$
$x12 \geq 0$
$x13 \geq 0$
$y21 \geq 0$
$y22 \geq 0$
$y23 \geq 0$
$z31 \geq 0$
$z32 \geq 0$
$z33 \geq 0$
$w41 \geq 0$
$w42 \geq 0$
$u51 \geq 0$
$v61 \geq 0$
$g71 \geq 0$
$g72 \geq 0$
$h91 \geq 0$
$h92 \geq 0$
$h93 \geq 0$
$t101 \geq 0$
$t102 \geq 0$
$t103 \geq 0$
$d111 \geq 0$
$d112 \geq 0$
$d113 \geq 0$
$q121 \geq 0$
$q122 \geq 0$
$q123 \geq 0$
$m131 \geq 0$
$m132 \geq 0$
$m133 \geq 0$
$r141 \geq 0$
$s151 \geq 0$
$s152 \geq 0$
$s153 \geq 0$

Tablo 9. (Devamı)

p161>=0
k171>=0
k172>=0
k173>=0
End

4.5. Bulgular

Çalışma için kurulan saf TDP modeli, LINDO yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Bu çözüm, işletmenin her bir biriminde gerçekleştirilen belirli görevleri dikkate alarak optimum bir personel dağılımı sağlamıştır. Haziran 2025 tarihli gerçek verilere dayanarak hazırlanan model 418 çalışana ihtiyaç olduğu bulunmuştur. Bu durum maden işletmesinin optimal personel sayısı ile çalıştığını göstermiştir. Birim ve vardiya bazındaki bu dağılım, işletmenin tüm faaliyet yelpazesini temsil eden 16 fonksiyonel birimi kapsamaktadır. Çalışan başına aylık 22.500 TL maaş maliyetini temel alan model, 418 çalışanın tamamı için toplam 9.405.000 TL maliyetle optimum bir çözüm belirlenmiştir. Bu dağılım, operasyonel ihtiyaçlar ve tahsis edilen personel seviyeleri arasında bir uyum sağlayarak vardiya kaynaklı işten çıkarmaları veya personel eksikliklerini ortadan kaldırmıştır.

- 08:00-16:00: Günün ilk vardiyasını temsil eden bu vardiya operasyonların kalbidir ve özellikle idari, denetim, planlama ve önleyici bakım fonksiyonları için işgücünün önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Bu zaman diliminde; insan kaynakları (y birimi), laboratuvar (s birimi), çevre (p birimi), iş sağlığı ve güvenliği (k birimi) departmanlarının yanı sıra üretim (h birimi), bakım (d ve t birimleri), muhasebe ve ambar (z birimi), planlama ve projeler (u birimi), haritalama (v birimi), sondaj (g birimi) ve yüzey madenciliği (w birimi) departmanları olmak üzere personelin önemli bir bölümü yer almaktadır. Yer altı mekanik teknisyenleri (m birimi) ve mekanik atölye teknisyenleri (q birimi) de alma operasyonları, önleyici bakım ve planlı müdahaleler için hazır bulunmaktadır. Yönetim ve destek hizmetlerinin eş zamanlı olarak bulunması nedeniyle yönetim ve koordinasyon faaliyetleri öncelikle bu vardiyada yürütülür.

- 16:00-00:00: Üretim sürekliliğini temsil eden bu ikinci vardiya, öğleden sonra ve akşam saatlerinde üretim faaliyetlerinin sürekliliğini sağlamaktadır. Bu vardiyada, özellikle yer altı işçilerini (x birimi), yer altı mekanik teknisyenlerini (m birimi) ve ekipman onarım teknisyenlerini (q birimi) ve genel üretim (h birimi), bakım (d ve t birimleri), sondaj (g birimi) ve yüzey madenciliği (w birimi) personeli bulunmaktadır. Operasyonel ihtiyaçlara bağlı olarak ayrıca çevre hizmetleri (p birimi), laboratuvar (s birimi), iş sağlığı ve güvenliği (k birimi) ve lojistik ve idari desteğin azaltılması için

sınırlı veya çağrı üzerine çalışan muhasebe/ambar (z birimi), planlama (u birimi) ve haritalama (v birimi) grupları da mevcuttur. İdari görevler günün bu saatinde daha az yaygın olsa da bu vardiya, maden çıkarma hızını korumak ve bir arıza veya olay durumunda hızlı müdahale etmek için hayati önem taşımaktadır.

•00:00-08:00: Bu vardiya, hedefli gözetim ve sürekliliği temsil eder. Gece saatlerine denk gelen bu üçüncü vardiya, öncelikle tesislerin güvenliğini sağlamaya, sürekli gözetime ve maden sahasının belirli stratejik bölgelerindeki üretim faaliyetlerinin devamlılığını sağlamaya ayrılmıştır. Seferber edilen işgücü kasıtlı olarak sınırlandırılmış, ancak kritik işlevlerde varlıklarını sürdürebilmeleri için özenle seçilmiştir. Bunlar arasında yer altı işçileri (x birimi), yer altı mekanik teknisyenleri (m birimi), mekanik atölye işçileri (q birimi), laboratuvar görevlileri (s birimi), iş sağlığı ve güvenliği görevlileri (k birimi), çevre izleme görevlileri (p birimi) ve elektrik bakım teknisyenleri (t birimi) bulunur. Bazı özel durumlarda, özellikle hassas veya stratejik öneme sahip sektörlerde, iş sürekliliğini sağlamak için genel üretim (h birimi), sondaj (g birimi), yüzey madenciliği (w birimi) veya hidrolik ve inşaat işleri (r birimi) gibi diğer birimler de çağrılabilir. Buna karşılık, idari hizmetler (y ve z birimleri), planlama (u birimi) ve haritalama (v birimi) genellikle bu vardiyada bulunmaz, bu da temel işlevleri korurken hedeflenen personel azaltımlarına ve maliyet optimizasyonuna olanak tanır.

TDP modelinden elde edilen sonuçların yorumlanmasında, personel fazlalığı ve eksikliğin analizi temel bir adımdır. Bu analiz, özellikle TDP tipi planlama modellerinde olmak üzere, işgücü planlama literatüründe yaygın olarak kullanılan metodolojik yaklaşımlarla tutarlıdır.

Bu amaçla kullanılan ana gösterge, boşluk değişkeni olarak da bilinen “gevşeklik”tir. Gevşeklik, model tarafından fiilen tahsis edilen kaynak düzeyi ile talep kısıtlamaları tarafından gerekli kılınan minimum düzey arasındaki farkı temsil eder. Bu durum, personel fazlalığı veya eksikliği durumlarının kesin olarak belirlenmesine olanak tanır. Daha spesifik olarak:

•Pozitif bir gevşeklik (gevşeklik > 0), personel fazlalığını gösterir; yani tahsis edilen çalışan sayısı gerekli ihtiyaçları aşmaktadır.

•Negatif bir gevşeklik (gevşeklik < 0), izin verilen formülasyonlarda, personel eksikliğini yansıtır ve ihtiyaçların tam olarak karşılanmadığını gösterir.

•Sıfır gevşeklik değeri (gevşeklik=0), kısıtlamanın doygunluğa ulaştığı, başka bir deyişle, çalışan tahsisinin tanımlanan ihtiyaçlara tam olarak karşılık geldiği anlamına gelir.

Sonuçlar incelendiğinde, talep kısıtlamalarıyla ilişkili tüm boşluk değerlerinin sifıra eşit olduğu elde edilmiştir. Bu, tüm kısıtlamaların tamamen karşılandığını ve modelin her birim ve her vardiya için işletmenin ihtiyaçlarına tam olarak uyan sayıda işçi tahsis ettiğini göstermektedir. Sonuç olarak, incelenen birimlerde personel fazlalığı veya eksikliği durumları gözlemlenmemiştir. Bu sonuç, modelin optimal işgücü planlamasını sağlama yeteneğini, işletmenin operasyonel gereksinimlerini tam olarak karşılayarak aşırı veya yetersiz insan kaynağı oluşturmaktan doğrulamaktadır.

TDP yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlar (Ek 2) incelendiğinde birim ve vardiya (08:00-16:00, 16:00-00:00 ve 00:00-08:00) dağılımına göre; yer altı işçileri olan x birimine 126 işçi, İK idari ve sosyal işler departmanı olan y birimine 54 işçi, muhasebe departmanı/depo müdürü olan z birimine 8 işçi, açık ocak maden departmanı olan w birimine 33 işçi, plan proje departmanı olan u birimine 3 işçi, harita departmanı olan v birimine 3 işçi, arama ve sondaj departmanı olan g birimine 11 işçi, üretim departmanı olan h birimine 60 işçi, elektrik bakım onarım departmanı olan t birimine 40 işçi, tesis bakım onarım departmanı olan d birimine 13 işçi, mekanik atölye departmanı olan q birimine 18 işçi, yer altı mekanik atölye bakım departmanı olan m birimine 8 işçi, baraj ve inşaat departmanı olan r birimine 22 işçi, laboratuvar departmanı olan s birimine 12 işçi, çevre departmanı olan p birimine 4 işçi, iş sağlığı ve güvenliği departmanı olan k birimine 3 işçi atanmıştır. Model sonucunda; maden işletmesindeki işin aksamadan yürümesini sağlayacak şekilde gerekli olan personel sayısı karşılanmış, personel fazlalılığı veya eksikliliği gözlenmemiş, herhangi bir dengesizlik tespit edilmemiştir. Bu durum personel sayısının operasyonel ihtiyaçlarla tam olarak örtüştüğünü, personel tahsisinin optimal ve dengeli olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Saf TDP modelinin, Haziran 2025'e ait gerçek veriler temel alınarak LINDO yazılımı aracılığıyla çözülmesi sonucunda elde edilen bulgular, işgücü planlamasında benimsenen yaklaşımın bilimsel ve operasyonel açıdan geçerliliğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Model, maden işletmesinin 16 fonksiyonel birimine ve üç vardiya sistemine (08:00–16:00, 16:00–00:00 ve 00:00–08:00) 418 çalışanın verimli bir şekilde dağıtıldığı ve operasyonların eksiksiz ve kesintisiz bir şekilde yürütüldüğü optimum bir çözüm sağlamıştır.

Çalışan başına aylık 22.500 TL ücret maliyeti esas alınarak gerçekleştirilen optimizasyon, toplam maliyeti 9.405.000 TL seviyesinde minimize etmiş olup, bu sonuç her bir çalışanın talep kısıtlarının karşılanmasına doğrudan katkı sunduğu, son derece etkin bir insan kaynağı tahsisine işaret etmektedir. TDP yönteminin çözümü, tüm kısıtların tam olarak doygunluk noktasına ulaştığını göstermekte; bu durum, gerek birimler gerekse vardiyalar bazında herhangi bir personel fazlalığı ya da eksikliği bulunmadığını ve belirlenen personel sayılarının üretim sisteminin gerçek ihtiyaçlarıyla birebir örtüştüğünü doğrulamaktadır.

Elde edilen bulgularla, işgücü talebindeki artışın toplam maliyet üzerinde çalışan başına aylık ücret kadar, yani birebir orantılı bir artışa yol açtığını gösteren gölge fiyatların yorumu ile daha da güçlenmekte; böylece modelin bünyesinde herhangi bir atıl kapasite barındırmadığı ve ihtiyaçlardaki her değişimin maliyetlere anında yansıdığı ortaya konulmaktadır. Ayrıca vardiyalar arasında gözlemlenen fonksiyonel farklılaşma, faaliyetlerin rasyonel bir biçimde organize edildiğini göstermekte; birinci vardiyanın ağırlıklı olarak idari, koordinasyon ve önleyici bakım işlevlerini üstlendiği, ikinci vardiyanın üretim faaliyetlerinin sürekliliğini ve yoğunluğunu sağladığı, üçüncü vardiyanın ise özellikle güvenlik, gözetim ve kritik süreçlerin istikrarını hedefli bir personel yapısı ile teminat altına aldığı anlaşılmaktadır. Bu çerçevede TDP modeli, madencilik sektöründe stratejik insan kaynakları yönetimi açısından son derece etkili bir karar destek aracı olarak öne çıkmakta; işgücü büyüklüğünün belirlenmesi, maliyetlerin kontrol altına alınması ve örgütsel sürdürülebilirliğin sağlanması konularında güvenilir, tekrarlanabilir ve uyarlanabilir bir analitik çerçeve sunarken, madencilik faaliyetlerine özgü operasyonel ve iş güvenliği gerekliliklerinin eksiksiz biçimde karşılanmasını da garanti etmektedir.

Modeli çözmek için LINDO çözücüsünün kullanılması, insan kaynaklarının bölünmezliği veya vardiyaların katılığı gibi karmaşık kombinatorial kısıtlamaları yönetme becerisi, işletme yöneticileri tarafından doğrudan kullanılabilir tutarlı sonuçların üretilmesini sağlamıştır. Ayrıca, modelin modüler yapısı, haftalık, aylık, mevsimlik gibi zaman dilimlerine uyarlanabilir ve sürekli çalışma ve işgücü rasyonalizasyonu gibi benzer kısıtlamalarla karşı karşıya kalan diğer endüstriyel sektörlere aktarılabilir hale getirecektir.

Çalışma, herhangi bir işletmenin modellemesinde bulunan belirli sınırlamaları kabul etmektedir. Sonuçların güvenilirliği, girdi verilerinin kalitesine ve sistemin temsilini basitleştirmek için yapılan varsayımlara bağlıdır. Gelecekte, ekip devri, çalışan refahının dikkate alınması, plansız devamsızlıklar veya personelin çok yönlülüğü gibi ek değişkenlerin entegre edilmesi, modelin esnekliğini ve sağlamlığını artıracaktır. Bu sosyal ve insani yönler, ekonomik performans ve sosyal sorumluluğu bir araya getirerek daha dengeli bir yönetime doğru ilerlemek için çok önemlidir.

Ek olarak, bu araştırma daha fazla metodolojik geliştirmeye yol açmaktadır. Örneğin doğrusal olmayan programlama, meta-sezgisel yöntemler veya yapay zekâdan türetilen yöntemleri birleştiren hibrit yöntemleri kullanmak, daha karmaşık ve dinamik sorunların ele alınmasını mümkün kılabilir. Bu, özellikle operasyonel beklenmedik durumların (arızalar, devamsızlıklar, pik yükler) yönetimini, çevresel hedeflerin entegrasyonunu veya çok kriterli kaynak optimizasyonunu sağlayacaktır.

Bu tezin, operasyonel açıdan literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Stratejik bir endüstriyel sektörde optimum insan kaynakları planlaması için sağlam bir analitik çerçeve önerirken, verimlilik, maliyetler ve operasyonel süreklilik açısından ölçülebilir kazanımları vurgulamaktadır. Ölçülebilir yapısı sayesinde bu model, işgücü yönetiminin rekabet gücü ve kurumsal dayanıklılık için temel bir kaldıraç olduğu diğer faaliyet alanlarına da uygulanabilen, gelecekteki genişlemeler için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Bu bağlamda bu tez, TDP yönteminin madencilik işletmelerinde işgücü planlaması için güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. Kaynakları optimize etmek, üretkenliği artırmak ve operasyonel sürdürülebilirliği sağlamak için sistematik ve etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışmanın, madencilik sektöründe gelişmiş optimizasyon yöntemlerinin entegrasyonuna yönelik gelecekteki araştırmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Acemoglu, D. ve Restrepo, P. (2019). Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labor. *Journal of Economic Perspectives*, 33(2), 3–30.
- Achterberg, T. (2009). SCIP: Solving constraint integer programs. *Mathematical Programming Computation*, 1, 1–41.
- Adranyi, E., Stringer, L. C. ve Altink, H. (2023). Impacts of artisanal and small scale gold mining on rural livelihood trajectories: Insights from Ghana. *The Extractive Industries and Society*, 14, 101273.
- Afra, S. (2014). *Financial analysis of mining investments employing FAST modeling standard*. Unpublished master's thesis, Eastern Mediterranean University, Cyprus.
- Afrapoli, A. M. ve Askari-Nasab, H. (2015). Open-pit mine production optimization: A review of models and algorithms. *Mining Optimization Laboratory*, 1(780), 80–110.
- Ágoston, G. ve Masters, B. A. (2009). *Encyclopedia of the Ottoman Empire*. New York: Infobase Publishing.
- Ait Razouk, A. (2007). *Gestion stratégique des ressources humaines recherche théorique et empirique sur la durabilité de la relation entre stratégie RH et performance*. Unpublished doctoral thesis, Université Pierre Mendès, France.
- Akıncı, M. ve Yıldırım, F. (2025). Mining induced environmental degradation and displacement in the context of ecosocial work: A qualitative study in rural areas. *Sustainability*, 17(17), 7757.
- Akyürek, H. A. (2013). *Yapay zeka teknikleri kullanarak akıllı iş gücü yönetimi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Mevlana Üniversitesi, Konya.
- Alan, K. Ş. (2024). A novel alternative algorithm to find all multiple solutions of general integer linear program. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 42(5), 1532–1541.
- Almufti, S. M., Shaban, A. A., Ali, Z. A., Ali, R. I. ve Fuente, J. D. (2023). Overview of metaheuristic algorithms. *Polaris Global Journal of Scholarly Research and Trends*, 2(2), 10-32.
- Andrews, M., Pritchett, L. ve Woolcock, M. (2017). *Building state capacity: Evidence, analysis, action*. United Kingdom: Oxford University Press.
- Arroyo, J. M. ve Conejo, A. J. (2000). Optimal response of a thermal unit to an electricity spot market. *IEEE Transactions on Power Systems*, 15(3), 1098-1104.

- Aryanezhad, M.-B., Fakhim Hashemi, N., Makui, A. ve Javanshir, H. (2012). A simple approach to the two-dimensional guillotine cutting stock problem. *Journal of Industrial Engineering International*, 8, 21.
- Asare, B. Y. A., Robinson, S., Powell, D. ve Kwasnicka, D. (2022). Health and related behaviours of fly-in fly-out workers in the mining industry in Australia: A cross-sectional study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 96, 105–120.
- Auty, R. M. (1993). *Sustaining the Development of Mining Economies: The Resource Curse Thesis*. London: Routledge.
- Badam, P. J. (2024). A review on occupational health & safety implementation protocols of the mining & petroleum industries in Ghana. *Dinkum Journal of Medical Innovations Y4pedumenu: Dinkum Publishers*, 3(8), 609-618.
- Bajany, D. M. (2017). *A mixed integer linear programming model for truck-shovel scheduling to minimize fuel consumption*. Unpublished master's thesis, University of Pretoria, South Africa.
- Bal, P. M. ve De Lange, A. H. (2015). From flexibility human resource management to employee engagement and perceived job performance across the lifespan: A multisample study. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 88(1), 126–154.
- Balkan, E. M. (1977). *Linear programming and development planning models*. Unpublished master's thesis, University of North Carolina at Greensboro, USA.
- Ballard, C. ve Banks, G. (2003). Resource wars: The anthropology of mining. *Annual Review of Anthropology*, 32(1), 287–313.
- Basu, A., Jiang, H., Kerger, P. ve Molinaro, M. (2025). Information complexity of mixed-integer convex optimization. *Mathematical Programming*, 210(1), 3-45.
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J. ve Sherali, H. D. (2011). *Linear programming and network flows*. New Jersey: John Wiley & Sons, 4th Edition.
- Bellman, R. (1957). *Dynamic Programming*. Princeton University Press.
- Benterki, D., Crouzeix, J. P. ve Merikhi, B. (2007). A numerical feasible interior point method for linear semidefinite programs. *RAIRO-Operations Research*, 41(1), 49-59.
- Bentzen, E. (2022). *An Introduction to Linear Programming with Applications*. Copenhagen Business School. https://research-api.cbs.dk/ws/portalfiles/portal/88373654/eric_bentzen_an_introduction_to_linear

- Bisschop, J. ve Meeraus, A. (1981). Toward successful modeling applications in a strategic planning environment. Dantzig, G. B., Dempster, M. A. H. ve Kallio, M. (Eds.), In *Large-Scale Linear Programming* (pp. 711-746), IIASA Collaborative Paper. IIASA, Laxenburg, Austria. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/1762/7/CP-81-701.pdf> Erişim Tarihi: 12.12.2025
- Blake, L. R., Brickey, A., Goycoolea, M., Lamas, P., Pagnoncelli, B. K. ve Newman, A. (2021). Underground mine scheduling under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 294(1), 340–352.
- Bridgelall, R. (2022). *Tutorial and practice in linear programming: Optimization problems in supply chain and transport logistics*. arXiv:2211.07345.
- Bolayır, B. ve Ergülen, A. (2019). *Bulanık mantık, doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlama*. Bursa: Ekin Yayınevi.
- Bolayır, B. ve Ergülen, A. (2022). Otel personelinin optimal işgücü planlaması: Saf tamsayıli programlama uygulaması. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(2), 178-196.
- Brake, D. J. ve Bates, G. P. (2002). Limiting metabolic rate (thermal work limit) as an index of thermal stress. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 17(3), 176-186.
- Brika, Z. (2019). *Optimisation de la planification stratégique d'une mine à ciel ouvert en tenant compte de l'incertitude géologique*. Unpublished doctoral thesis, Ecole Polytechnique, Montreal, Canada.
- Burgess-Limerick, H., Horberry, T., Lynas, D., Hill, A. ve Haight, S. (2024). *Human aspects of automation and new technology in mining: Integrating people and technology through human-centred design*. White Paper, Sustainable Minerals Institute, University of Queensland.
- CEDEFOP. (2012). *Building on skills forecasts — comparing methods and applications*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://www.cedefop.europa.eu/files/5518_en.pdf Erişim Tarihi: 04.12.2025
- Chimunhu, P., Topal, E., Ali Asad, M. W., Faradonbeh, R. S. ve Ajak, A. D. (2024). The future of underground mine planning in the era of machine learning: Opportunities for engineering robustness and flexibility. *Mining Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*, 133(6), 1–17.

- Codoceo-Contreras, L., Rybak, N. ve Hassall, M. (2024). Exploring the impacts of automation in the mining industry: A systematic review using natural language processing. *Mining Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*, 133(3), 191–213.
- Consoli, S. ve Darby-Dowman, K. (2006). *Combinatorial optimization and metaheuristics*. Brunel University, UK. <https://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/9631> Erişim Tarihi: 15.12. 2025
- Coşkun, M. (2021). *Developing multi-objective linear programming approaches*. Unpublished master's thesis, Middle East Technical University (METU), Ankara, Türkiye.
- Çabuk, A., Ünyılmaz, G. D., Aykanat, E., Can, K., Çavdar, M., Bala, Y. S., Şeker, B., Karakuş, S. ve Tepe, S. (2025). Giyilebilir sağlık teknolojilerinin ve mobil sağlık uygulamalarının iş sağlığı ve güvenliğine etkisi. *Turkish Academic Research Review*, 10(1), 177–188.
- Çevik, O. (2006). Tam sayılı doğrusal programlama ile işgücü planlaması ve bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 157–171.
- Çevikçelik, M. (2021). *Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nün hukuki statüsü*. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/b5247479729175f_ek.pdf Erişim Tarihi: 25.11.2025
- Çolakoğlu, S., Chung, Y. ve Tarhan, A. B. (2016). Strategic human resource management in facilitating organizational change. In *Project Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 173–193). IGI Global.
- Daft, R. L. (2004). Theory Z: Opening the corporate door for participative management. *Academy of Management Perspectives*, 18(4), 117–121.
- Daly, A., Humphreys, D., Raffo, J. D. ve Valacchi, G.. (2022). Global challenges for innovation in the mining industries. Daly, A., Humphreys, D., Raffo, J. D. ve Valacchi, G. (Eds.), In *Global Challenges for Innovation in Mining Industries* (pp. 1-10), United Kingdom: Cambridge University Press.
- Dantzig, G. B. (1963). *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press.
- Dardeniz, G., Sipahi, İ. T. ve Yıldırım, T. (2019). An insight into Old Hittite metallurgy: Alloying practices at Hüseyindede (Çorum, Turkey). *Anatolian Studies*, 69, 77–94.

- de Holanda Araujo, C. (2024). *Automation and skill evolution: examining the impact on workforce skillsets in the mining industry*. Unpublished master's thesis, University of British Columbia, Canada.
- Dey, S. S. ve Molinaro, M. (2018). Theoretical challenges towards cutting-plane selection. *Mathematical Programming*, 170(1), 237-266.
- Doğan, O. (2023). Bir açık ocak maden işletmesinde ocak tozlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 10(97), 1496–1503.
- Dong, Y., Li, Y., Zuo, J., Yi, J. (2025). A new integer linear programming model of transportation problem. *Theoretical and Natural Science*, 108, 120-128.
- Duality in Linear Programming. (t.y.). <https://web.mit.edu/15.053/www/AMP-Chapter-04.pdf> Erişim Tarihi: 27.11.2025
- Dubiński, J. (2013). Sustainable development of mining mineral resources. *Journal of Sustainable Mining*, 12(1), 1–6.
- Duncan, A., Kalsi, J. ve Mavisakalyan, A. (2022). *Towards a healthy and safe workplace in the mining industry: A review and mapping of current practice*. Bankwest Curtin Economics Centre for the Department of Mines, Industry Regulation and Safety, Government of Western Australia. https://bcec.edu.au/assets/2022/11/Towards-a-healthy-and-safe-workforce-in-the-mining-industry_Final.pdf Erişim Tarihi: 15.11.2025
- Ehrgott, M. (2008). Multiobjective optimization. *Ai Magazine*, 29(4), 47-47.
- Eisenbrand, F., Hunkenschröder, C., Klein, K. M., Koutecký, M., Levin, A. ve Onn, S. (2019). An algorithmic theory of integer programming. *arXiv: 1904.01361*.
- Eivazy, H. ve Askari-Nasab, H. (2012). A mixed integer linear programming model for short-term open pit mine production scheduling. *Mining Technology*, 121(2), 97-108.
- Ekhsan, M. (2019). The impact of motivation, job satisfaction and compensation on employee productivity: Evidence from a mining and port company. *Advances in Intelligent Systems Research*, 173, 410–412.
- Ekin, E. (2024). Solution approach to p-median facility location problem with integer programming and genetic algorithm. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 26(2), 547-562.
- Elevli, S. ve Elevli, B. (2010). Performance measurement of mining equipments by utilizing OEE. *Acta Montanistica Slovaca*, 15(2), 95–101. <https://actamont.tuke.sk/pdf/2010/n2/1elevli.pdf> Erişim Tarihi: 18.12. 2025

- Enow, O. F., Gbabo, E. Y., Ofoedu, A. T., Chima, P. E. ve Adebawale, O. J. (2023). Environmental impact of mining activities: A review of management strategies and rehabilitation techniques. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 3(2), 822–828.
- Erdoğan, H. H. (2016). *A quantitative risk assessment methodology for occupational accidents in underground coal mines: A case of Turkish hard coal enterprises*. Unpublished master's thesis, Middle East Technical University (METU), Ankara, Türkiye.
- Erdoğan, A. ve Salepçioğlu, M. A. (2020). Stratejik insan kaynakları yönetiminde yetenek yönetimi yaklaşımı. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 15(59), 291–324.
- Erkayaoğlu, M. (2020). Madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği yönetimi için veri entegrasyonu uygulaması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 105–114.
- Espínola, F., Castillo, E. ve Orellana, L. F. (2025). Bibliometric and PESTEL analysis of deep-sea mining: Trends and challenges for sustainable development. *Mining*, 5(2), 36.
- Fenerli, R. U. ve Güven, S. (2019). *Maden planlama ve önemi*. Jeometalurji, Maden Planlama, Cevher Hazırlama, Yermam. https://www.yermam.org.tr/uploads/kutuphane/485622_maden_planlama_ve_önemi_01_06_2019.pdf Erişim Tarihi: 09.11.2025
- FICO Xpress Optimization Suite (2014). <http://www.fico.com/en/products/fico-xpress-optimization-suite> Erişim Tarihi: 19.11.2025
- Fonseca, A., McAllister, M. L. ve Fitzpatrick, P. (2014). Sustainability reporting among mining corporations: A constructive critique of the GRI approach. *Journal of Cleaner Production*, 84, 70-83.
- Foo, N. ve Salim, R. (2022). The evolution of mining employment during the resource boom and bust cycle in Australia. *Mineral Economics*, 35(2), 309–324.
- Forrest, J. J. H. ve Lougee-Heimer, R. (t.y.). *CLP User's Guide*. <https://coin-or.github.io/Clp/> Erişim Tarihi: 19.11.2025
- Genova, K. ve Guliashki, V. (2011). Linear integer programming methods and approaches—a survey. *Journal of Cybernetics and Information Technologies*, 11(1), 3-25.
- Gholamnejad, J., Lotfian, R. ve Kasmaeeyazdi, S. (2020). A practical, long term production scheduling model in open pit mines using integer linear programming.

- Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 120(12), 665–670.
- Gilberthorpe, E. ve Rajak, D. (2019). The anthropology of extraction: Critical perspectives on the resource curse. In *Why does development fail in resource rich economies* (pp. 12-30). Routledge.
- GNU (t.y.). *GLPK (GNU Linear Programming Kit)*.
<https://www.gnu.org/software/glpk/> Erişim Tarihi: 17.11.2025
- Goemans, M. (2015). *An Introduction to Linear Programming*. Notes de cours, MIT.
- Gomory, R. E. (2009). Outline of an algorithm for integer solutions to linear programs and an algorithm for the mixed integer problem. In *50 years of integer programming 1958-2008: From the early years to the state-of-the-art* (pp. 77-103). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gunawan, H., Pala, R., Tijiang, B., Razak, M. ve Qur'ani, B. (2024). Global challenges of the mining industry: Effect of job insecurity and reward on turnover intention through job satisfaction. *SA Journal of Human Resource Management*, 22, Article a2555.
- Gurobi Optimization (t.y.). *Gurobi optimizer reference manual*.
<https://docs.gurobi.com/projects/optimizer/en/current/index.html> Erişim Tarihi: 19.11.2025
- Gwatidzo, T. ve Benhura, M. (2013). *Mining sector wages in South Africa*. LMIP Working Paper 1. Labour Market Intelligence Partnership, Human Sciences Research Council, South Africa.
- Hakanen, J. J., Bakker, A. B. ve Schaufeli, W. B. (2006). Burnout and work engagement among teachers. *Journal of School Psychology*, 43(6), 495-513.
- Halvani, G. H., Zare, M. ve Mirmohammadi, S. J. (2009). The relation between shift work, sleepiness, fatigue and accidents in Iranian Industrial Mining Group workers. *Industrial Health*, 47(2), 134–138.
- Hamid, A. (2018). Use of foreign workers in the mining sector. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Energy and Mining Law (ICEML 2018)*, *Advances in Economics, Business and Management Research*, 59, 15–18.
- Hilson, G. (2002). The environmental impact of small-scale gold mining in Ghana: identifying problems and possible solutions. *Geographical Journal*, 168(1), 57-72.
- Hilson, G. ve Potter, C. (2005). Structural adjustment and subsistence industry: Artisanal gold mining in Ghana. *Development and Change*, 36(1), 103-131.

- Huang, Q. (2018). *The Simplex Method*. Lecture notes for CS395 – Simplex Algorithm, The University of Texas at Austin. https://www.cs.utexas.edu/~huangqx/2018_CS395_Lecture_15.pdf Erişim Tarihi: 24.11.2025
- Huang, S., Li, G., Ben Awuah, E., Afum, B. O. ve Hu, N. (2019). A robust mixed integer linear programming framework for underground cut and fill mining production scheduling. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 34(6), 397–414.
- Hürriyet Gazetesi (2023, 12 Nisan). *Açıklandı! CVK madencilik borsada ne zaman işlem görecektir? İşte CVK Maden halka arz sonuçları.* <https://www.hurriyet.com.tr/bilgi/galeri/cvk-maden-halka-arz-sonuclari-2023-cvk-maden-isletmeleri-halka-arz-sonuclari-aciklandi-cvkmdborsada-ne-zaman-islem-gorecek-kac-lot-verdi-42249314/1> Erişim Tarihi: 17.11.2025
- Hyder, Z., Siau, K. ve Nah, F. F. H. (2019). Artificial intelligence, machine learning, and autonomous technologies in mining industry. *Journal of Database Management*, 30(2), 67–79.
- IBM Corporation. (2015). *IBM ILOG CPLEX optimization studio, CPLEX user's manual*. Version 12, Release 6. <https://www.engineering.iastate.edu/~jdm/ee458/CPLEX-UsersManual2015.pdf> Erişim Tarihi: 19.11.2025
- Inayatullah, S., Riaz, W., Jafree, H. A., Siddiqi, T. A., Imtiaz, M., Naz, S. ve Hassan, S. A. (2019). A note on branch and bound algorithm for integer linear programming. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 34(6), 1-6.
- International Council on Mining and Metals (ICMM). (2022). *The role of mining in national economies* (2nd ed.). London: ICMM.
- International Institute for Sustainable Development (IISD) & Intergovernmental Forum on Mining (IGF). (2025). *Evidence Based Research on the Impact of New Technologies in the Mining Industry*. Winnipeg: IISD & IGF Secretariat.
- International Labour Office. (2018). *Safety and health in opencast mines: ILO code of practice*. Geneva: ILO. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@sector/documents/normativeinstrument/wcms_617123.pdf Erişim Tarihi: 23.11.2025
- International Labour Organization. (2024). *Chemical exposures in mining: Impacts for occupational safety and health*. Genève: ILO.

- Introduction to lp_solve 5.5.2.11 (t.y.). <https://lpsolve.sourceforge.net/5.5/> Erişim Tarihi: 12.11.2025
- Islam, M. M., Abankwa, B., Pranto, M. A., Sakibul, S., Hasan, M. G. R., Akther, M. A. ve Shoumi, S. (2025). Optimization of transportation infrastructure for mining supply chain efficiency. *North American Academic Research*, 8(2), 231–262.
- İkizler, H. ve Çelik, B. D. (2022). Labor productivity and real unit wage index in Türkiye. *Industrial Policy*, 1(2), 88-92.
- Jackson, H. ve Quinlan, M. (2024). Contract labour in mining and occupational health and safety: A critical review. *The Economic and Labour Relations Review*, 35(3), 576–613.
- Jaillet, P., Loke, G. G. ve Sim, M. (2022). Strategic workforce planning under uncertainty. *Operations Research*, 70(2), 1042–1065.
- Kalenov, O. ve Kukushkin, S. (2021). Digital transformation of mining enterprises. *E3S Web of Conferences*, 278, 01015.
- Kaliyaperumal, P. ve Das, A. (2022). A mathematical model for nonlinear optimization which attempts membership functions to address the uncertainties. *Mathematics*, 10(10), 1743.
- Karaöz, B. (2014). *Maden üretim planlaması ve çizelgelemesi üzerine bir tam sayılı programlama önerisi: Kar maden örneği*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Karmarkar, N. (1984). A new polynomial-time algorithm for linear programming. In *Proceedings of the Sixteenth Annual ACM Symposium on Theory of Computing* (pp 302-311).
- Katrancı, A. (2018). *Tamsayılı programlama tekniği ile vardiya planlaması: İtfaiye teşkilatı örneği*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Kaya, O. ve Şimşek, S. (2021). Maden iş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları. *Journal of Technical and Applied Sciences*, 1(3), 30–58.
- Kaydım, H. E. (2022). *Long-term production scheduling optimization for a polymetallic open pit mine*. Unpublished master's thesis, Middle East Technical University (METU), Ankara, Türkiye.
- Keenan, J., Kemp, D. ve Owen, J. (2019). Corporate responsibility and the social risk of new mining technologies. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 26(4), 752-760.

- Keskin, Ö. (2011). Osmanlı Devleti'nde maden hukukunun tekâmülü (1861-1906). *OTAM Ankara Üniversitesi Osmanlı Tarihi Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 29(29), 125-147.
- Kirkpatrick, D. L. ve Kirkpatrick, J. D. (2006). *Evaluating training programs: The four levels*. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 3th Edition.
- Kissell, F. N. (2006). *Handbook for methane control in mining*. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).
- Klotz, E. ve Newman, A. M. (2013). Practical guidelines for solving difficult mixed integer linear programs. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 18(1-2), 18–32.
- Koçali, K. (2018). Investigation of occupational health and safety culture and applications in open pit mines by using worker questionnaires. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 57(1), 15–24.
- Konnully, J. G. (2013). *Linear programming – graphical method*. https://www.researchgate.net/publication/271588986_Linear_Programming_-_Graphical_Method Erişim Tarihi: 25.11.2025
- Koushavand, B., Askari-Nasab, H. ve Deutsch, C. V. (2014). A linear programming model for long-term mine planning in the presence of grade uncertainty and a stockpile. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(4), 451-459.
- Kowalski-Trakofler, K. M. ve Vaught, C. (2001). *The evolving mining workforce: Training issues*. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).
- Kowalski-Trakofler, K. M., Vaught, C., Mallett, L. G., Brnich, M. J., Reinke, D. C., Steiner, L. J. ve Wiehagen, W. J. (2004). Safety and health training for an evolving workforce: An overview from the mining industry (Information Circular 9474). Pittsburgh, PA: National Institute for Occupational Safety and Health.
- Köker, E. (2019). *Madencilik sektöründe arama, geliştirme ve üretim faaliyetlerinin vergi usul kanunu ve Türkiye finansal raporlama standartları açısından incelenmesi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Işık Üniversitesi, İstanbul.
- Kunwar, R. ve Sapkota, H. P. (2022). An introduction to linear programming problems with some real life applications. *European Journal of Mathematics and Statistics*, 3(2), 21–27.
- Kuranchie-Mensah, E. B. ve Amponsah-Tawiah, K. (2016). Employee motivation and work performance: A comparative study of mining companies in Ghana. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(2), 255–309.

- Külekçi, G. ve Ünker, F. (2022). Madencilik işlemlerinde robotların kullanılabilirliğinin araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 137–142.
- Labour Act of Turkey (2003). *Law no. 4857*.
<https://natlex.ilo.org/dyn/natlex2/natlex2/files/download/64083/TUR64083%20English.pdf> Erişim Tarihi: 25.11.2025
- Lahiri Dutt, K. (2015). The feminisation of mining. *Geography Compass*, 9(9), 523–541.
- Land, A. H. ve Doig, A. G. (1960). An automatic method for solving discrete programming problems. *Econometrica*, 28(3), 497-520.
- Laurence, D. C. (2011). Establishing a sustainable mining operation — an overview, *Journal of Cleaner Production*, 19(2-3), 278-284.
- Lazarenko, Y., Garafonova, O., Marhasova, V. ve Tkalenko, N. (2021). Digital transformation in the mining sector: Exploring global technology trends and managerial issues. *E3S Web of Conferences*, 315, 04006.
- Le, A. B., Balogun, A. O. ve Smith, T. D. (2022). Long work hours, overtime, and worker health impairment: A cross sectional study among stone, sand, and gravel mine workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7740. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9265419/> Erişim Tarihi: 29.12.2025
- Lèbre, É., Stringer, M., Svobodova, K., Owen, J. R., Kemp, D., Côte, C., Arratia-Solar, A. ve Valenta, R. K. (2020). The social and environmental complexities of energy transition metal extraction. *Nature Communications*, 11(1), 1–8.
- Lengnick-Hall, M. L. ve Moritz, S. (2003). The impact of e-HR on the human resource management function. *Journal of Labor Research*, 24(3), 365–379.
- LINDO Systems Inc. (2003). *LINDO user's manual*.
<https://www.lindo.com/downloads/PDF/LindoUsersManual.pdf> Erişim Tarihi: 13.11.2025
- LINDO Systems Inc. (2017). *LINGO, The modeling language and optimizer*.
<https://www.lindo.com/downloads/PDF/LINGO%2818%29.pdf> Erişim Tarihi: 13.11.2025
- Li, C. ve Grossmann, I. E. (2021). A review of stochastic programming methods for optimization of process systems under uncertainty. *Frontiers in Chemical Engineering*, 2, 622241.
- Li, X. (2024). Mining automation and robotics: Revolutionizing the future of mining. *Journal of Powder Metallurgy & Mining*, 13(6), 450.

- Liberti, L. (2009). Reformulations in mathematical programming: Definitions and systematics. *RAIRO – Operations Research*, 43(1), 55–85.
- Long, M., Schafrik, S., Kolapo, P., Agioutantis, Z. ve Sottile, J. (2024). Equipment and Operations automation in mining: A review. *Machines*, 12(10), 713.
- Lund, E., Pekkari, A., Johansson, J. ve Lööw, J. (2024). Mining 4.0 and its effects on work environment, competence, organisation and society – a scoping review. *Mineral Economics*, 37(4), 827–840.
- Malzeme Maliyetleri (t.y.). <https://www.slideserve.com/aria/malzeme-maliyetleri>
Erişim Tarihi: 17.11.2025
- MAPEG (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü) (2024). *2024 – 2028 stratejik planı*.
<https://www.mapeg.gov.tr/Uploads/Dosyalar/MAPEG-2024-2028-Y%C4%B1llar%C4%B1-Stratejik-Plan%C4%B1-Foto%C4%9Frafl%C4%B1.pdf>
Erişim Tarihi: 19.11.2025
- Marchand, H., Martin, A., Weismantel, R. ve Wolsey, L. A. (2002). Cutting planes in integer and mixed integer programming. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1–3), 397–446.
- Martinich, J. S. (1997). *Linear programming*. Lecture notes, Department of Mathematics, University of Kentucky. Adapted with permission from *Production and Operations Management: An Applied Modern Approach*, New York: Wiley.
- Martins, F. P., Botelho Junior, A. B., Batalhão, A. C. S., Paschoalotto, M. A. C. ve Mantera Veras, M. (2025). Mining chemical exposures on health & environment impact: A global scoping review. *Journal of Sustainability*, 1(2), 1–31.
- MathWorks. (t.y.). *Linprog and intlinprog (MATLAB optimization solvers)*. In *Optimization Toolbox™ Documentation*. MathWorks.
<https://www.mathworks.com/help/optim/ug/optim.problemdef.optimizationproblem.solve.html> Erişim Tarihi: 13.11.2025
- Mbumwae, W. J. (2025). Assessing the impact of training and development on employee performance and productivity: A case study of kansanshi copper mine in Zambia. *East African Finance Journal*, 4(3), 138-151.
- Mehmet Koçak Danışmanlık Grubu (t.y.). *İş hukukunda yıllık ücretli izin*.
<https://www.mehmetkocak.com/2021/07/yayinlarimiz/sirkuler/sirkuler-2021-42-sayili-is-hukukunda-yillik-ucretli/> Erişim Tarihi: 25.10.2025
- Mehta, J. (2025). *Lecture notes on operations research*.
<https://jaygmehta.com/assets/pdf/PS04EMTH30.pdf> Erişim Tarihi: 21.11.2025

- Melo, M. T., Nickel, S. ve Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management – a review. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 401–412.
- MIHR (Mining Industry Human Resources Council). (2017). *Aperçu du marché du travail dans l'industrie minière au Canada*. https://mihr.ca/wp-content/uploads/2020/03/National-Report-2017_FR_WEB.pdf [web:576] Erişim Tarihi: 02.12.2025
- Miljković, N. (2024). Analysis of teamwork by sectors in a mining company. *Engineering Management*, 10(1), 24–38.
- Millington, K. A. (2017). *How changes in technology and automation will affect the labour market in Africa*. K4D Helpdesk Report. Brighton, UK: Institute of Development Studies.
- Mining Industry Human Resources Council. (2013). *Managing through the cycle — a strategic approach to workforce planning in the mining industry*. <https://mihr.ca/wp-content/uploads/2020/03/Managing-through-the-Cycle.pdf> Erişim Tarihi: 20.11.2025
- Mining Industry Human Resources Council. (2020). *The changing nature of work: Innovation, automation and Canada's mining workforce*. https://mihr.ca/wp-content/uploads/2020/05/MIHR_Innovation_Report_EN_WEB.pdf Erişim Tarihi: 20.11.2025
- Montiel, L. ve Dimitrakopoulos, R. (2017). A heuristic approach for the stochastic optimization of mine production schedules. *Journal of Heuristics*, 23, 397–415.
- Moritz, T., Ejdemo, T., Söderholm, P. ve Wårell, L. (2017). The local employment impacts of mining: An econometric analysis of job multipliers in Northern Sweden. *Mineral Economics*, 30(1), 53–65.
- Musevenzo, T., Mashavira, N., Chikove, M. ve Matenda, F. R. (2024). Employee engagement, job satisfaction and decent work in the Zimbabwean gold mining sector. *SA Journal of Human Resource Management*, 22, 2710.
- Nace, D. (2020). *Lecture notes in linear programming modeling*. https://www.hds.utc.fr/~dnace/dokuwiki/_media/fr/modelizimi_prog_linear.pdf Erişim Tarihi: 20.11.2025
- National Research Council. (2013). *Emerging workforce trends in the U.S. energy and mining industries: A call to action*. The National Academies Press. <https://nap.nationalacademies.org/resource/18250/energy-mining-workforce.pdf> Erişim Tarihi: 12.12.2025

- Nickerson, E. (2019). Local content policies in the mining sector: Scaling up local procurement. *International Institute for Sustainable Development*.
- OECD. (2025). *Mining for talent: Addressing regional workforce challenges in a changing resources industry*. OECD Local Economic and Employment Development (LEED) Papers. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/06/mining-for-talent_ca2ef39b/d89677f7-en.pdf Erişim Tarihi: 16.11.2025
- Omidi, L., Zare, S., Moradi Rad, R., Meshkani, M. ve Kalantary, S. (2017). Effects of shift work on health and satisfaction of workers in the mining industry. *International Journal of Occupational Hygiene*, 9(1), 21–25.
- Osazevaru, H. O., Young, U. O. ve Akpomimie, P. (2023). Human resources planning and organizational performance: Telecoms in focus. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 5(8), 554–575.
- Özdemir, H. F. (2007). Demir çağı: Başlangıcı ve başlatanları, Anadolu'ya etkileri üzerine. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 501–518.
- Özder, U. (2009). *Kobilerde otomasyona geçiş sürecinde tamsayılı doğrusal programlama yöntemini kullanarak karar verme*. Yayımlanmamış doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Öztürk, A. (2009). *Yöneylem Araştırması*. Bursa: Ekin Yayınevi, 12. Baskı.
- Padberg, M. ve Rinaldi, G. (1991). A branch-and-cut algorithm for the resolution of large-scale symmetric traveling salesman problems. *SIAM Review*, 33(1), 60-100.
- Palka, D. (2017). The role and importance of training for improving the safety and awareness of the technical staff in the mining plant. In *CBU International Conference Proceedings 2017: Innovations in Science and Education* (1195-1198). Prague: CBU Research Institute.
- Palmer, A. W., Vujanic, R., Hill, A. J. ve Scheduling, S. J. (2017). Weekly maintenance scheduling using exact and genetic methods. *Mining Technology*, 126(4), 200-208.
- Pamuk, Ş. (2004). Institutional change and the longevity of the Ottoman Empire, 1500–1800. *Journal of Interdisciplinary History*, 35(2), 225-247.
- Paravarzar, S., Pourrahimian, Y., Askari-Nasab, H. ve Emery, X. (2018). Short-term underground mine planning: A review. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 12(1), 305-334.

- Patır, S. (2010). Tam sayılı programlama ve Malatya Maksan Transformatör İşletmesine bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1), 193-206.
- Pelders, J. L., Nelson, G. ve Magweregwede, F. (2019). Shift cycles and fatigue in the South African mining industry. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119(1), 81–90.
- Perakende Okulum (t.y.). *İnsan Kaynakları Yönetimini Oluşturan İşlevler*. <https://www.perakendeokulum.com/insan-kaynaklari-yonetimini-olusturan-islevler/> Erişim Tarihi: 17.11.2025
- Pizarro, J. M. ve Fuenzalida, F. A. (2021). Mental health in mine workers: a literature review. *Industrial Health*, 59(6), 343-370.
- Polat, U. ve Gürtuna, F. (2018). Enerji yönetiminde doğrusal programlama ve karma tamsayılı doğrusal programlama uygulamalarının bir derlemesi: Karar vericiler/üreticilerden tüketicilere. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(2), 84–89.
- Poulard, F. D. X., Didier, C., Pokryska, Z., D'Hugues, P., Charles, N., Dupuy, J. J. ve Save, M. (2017). Exploitation minière et traitement des minerais. *INERIS: Verneuil-en-Halatte, France*, 6.
- Pulak, C. (2000). The copper and tin ingots from the Late Bronze Age shipwreck at Uluburun. *Anatolian Meta/l (Der Anschnitt, Beiheft 13)*. BOChUm, 137-157.
- Rábago, K. R., Lovins, A. B. ve Feiler, T. E. (2001). Energy and sustainable development in the mining and minerals industries. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, 41.
- Ralston, J. C. R., Hainsworth, D. W., Reid, D. C., Anderson, D. L. ve McPhee, R. J. (2001). Recent advances in remote coal mining machine sensing, guidance, and teleoperation. *Robotica*, 19(5), 513–526.
- Ramadan, R. (2025). A comprehensive review of metaheuristic algorithms: Classification, applications, and future directions. *International Journal of Computers and Informatics*, 6, 64–69.
- Rardin, R. L. (1998). *Optimization in Operations Research*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Republic of Turkey. (t.y.). *The Turkish mining law numbered 3213 (Amendments brought by Law Numbered 5177 are entered to the text)*. https://www.turkey-japan.com/business/category2/category2_182.pdf Erişim Tarihi: 10.11.2025

- Rivera Letelier, O., Espinoza, D., Goycoolea, M., Moreno, E. ve Muñoz, G. (2020). Production scheduling for strategic open pit mine planning: A mixed-integer programming approach. *Operations Research*, 68(5), 1425–1444.
- Ruël, H. ve Van der Kaap, H. (2012). E-HRM usage and value creation. Does a facilitating context matter?. *German Journal of Human Resource Management*, 26(3), 260-281.
- Sachs, J. D. ve Warner, A. M. (2001). The curse of natural resources. *European Economic Review*, 45(4-6), 827-838.
- Sahoo, P. K., Mohanty, R. K. ve Rout, H. S. (2022). Social security of mining workers: Policy versus practice. *Journal of Human Rights and Social Work*, 8(2), 1–18.
- Sakarya, Ş., Yazgan, K. F. ve Yıldırım, H. H. (2017). Kurumsal yönetim derecelendirmesinin hisse senedi performansına etkisi: BİST kurumsal yönetim endeksi üzerine bir inceleme. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 18(40), 55–76.
- Saleem, H. A. (2025). Automation and artificial intelligence in enhancing mining efficiency and sustainability: A review. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 12(1), 213–228.
- Salhi, A. ve Lindfield, G. R. (1991). Effects of ordering and updating techniques on the performance of the Karmarkar algorithm. *RAIRO – Operations Research*, 25(2), 209–235. <https://eudml.org/doc/105011> Erişim Tarihi: 11.11.2025
- Saraç, H. (2022). Otomasyonun yükselişi. Kitleli işsizlik mi? Yeni istihdam mı? İşgücü piyasasına etkisine dair bir değerlendirme. *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 13(2), 55–76.
- Saxena, H. ve Sharma, S. (2025). Linear programming for resource allocation and profit maximization in furniture production. *Asian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 7(1), 139–147.
- Schrijver, A. (1998). *Theory of Linear and Integer Programming*. John Wiley & Sons.
- Shoja, S., Arnström, D. ve Axehill, D. (2025). A unifying complexity-certification framework for branch-and-bound algorithms for mixed-integer linear and quadratic programming. <https://arxiv.org/pdf/2503.16235.pdf> Erişim Tarihi: 16.11.2025
- Sierpińska, M. ve Kustra, A. (2008). Bonus systems in mining industry: Current situation and future developments. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 24(2/3), 224–235.

- Silva, A., Beneteli, T. A. P., Silva, L., Pessin, G., Euzébio, T. A. M. ve Cota, L. P. (2022). A mixed-integer linear programming model for the stockpiles blending problem in a nickel mine. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 13(2), 93–118.
- Sinding, K. (2025). Artisanal mining policy development. *Mineral Economics*, 38(2), 461-471.
- Sipahi, F., Zeybek, H. İ., Akaryalı, E., Çavuşoğlu, İ. ve Gücer, M. A. (2022). Altın madenciliği, tarihi ve günümüz: Gümüşhane örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 20(2), 528–549.
- Skawina, B., Astrand, M., Sundqvist, F., Greberg, J., Salama, A. ve Ekbeck, P. (2021). Automatic closed loop scheduling in underground mining using discrete event simulation. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 121(6), 277–282.
- Smit, N. W. H., De Beer, L. T. ve Pienaar, J. (2016). Work stressors, job insecurity, union support, job satisfaction and safety outcomes within the iron ore mining environment. *SA Journal of Human Resource Management*, 14(1), a719.
- Smith, G. L. (2012). Strategic long term planning in mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 112(9), 761–774.
- Sohail, M. (2025). The future of automation in the mining industry: How machines and artificial intelligence are replacing manual processing. *Spectrum of Engineering Sciences*, 3(10), 1986–1993.
- Söderholm, P. ve Svahn, N. (2015). Mining, regional development and benefit-sharing in developed countries. *Resources Policy*, 45, 78-91.
- Sökmen, M. E. (2016). *Yeraltı madenlerinde personel takip ve haberleşme sistemlerinin incelenmesi*. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
<https://www.csgb.gov.tr/Media/omqj15xv/mehmeterensokmen.pdf> Erişim Tarihi: 19.11.2025
- Sönmez, A. (2016). Türkiye maden sektörü ihracatına konjonktürel faktörlerin etkisi. *Yönetim ve Ekonomi*, 23(2), 315–336.
- Şafak, R. E., Şensöğüt, C. ve Kasap, Y. (2018). Açık ocak işletmelerinde iş güvenliği uygulaması: Örnek ocak çalışması. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 57, 99–108.
- Şahiner, Ş. F. ve Gölbaşı, O. (2023). Simulation-based optimization of maintenance crew configuration in mining sites. In *Proceedings of the 28th International Mining Congress and Exhibition of Türkiye* (541–549).

- Tabii Kaynaklar Dairesi Başkanlığı / TOBB Türkiye Madencilik Meclisi (2020). *Türkiye madencilik sektörü gelişim raporu (2020)*. Ankara: Özyurt Matbaacılık. <https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2021/MADENGELISIM2020.pdf> Erişim Tarihi: 16.11.2025
- Taha, H. A. (2007). *Operations Research: An Introduction*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc, 8th Edition. ISBN 0131889230.
- T.C. Sayıştay Başkanlığı. (2021). *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 2020 Yılı sayıştay düzenlilik denetim raporu*. <https://www.sayistay.gov.tr/reports/download/eaYwz9wQX1-maden-tetkik-ve-arama-genel-mudurlugu> Erişim Tarihi: 27.11.2025
- T.C. Ticaret Bakanlığı (2021). *Madencilik*. [https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Madencilik%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Sekt%C3%B6r%C3%9C%C3%BCnleri%20Raporu%202021.pdf](https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Madencilik%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Sekt%C3%B6r%C3%9C%C3%BCnleri%20Sekt%C3%B6r%C3%9C%C3%BCnleri%20Raporu%202021.pdf) Erişim Tarihi: 10.12.2025
- Tetzlaff, E. J., Goggins, K. A., Pegoraro, A. L., Dorman, S. C., Pakalnis, V. ve Eger, T. R. (2021). Safety culture: A retrospective analysis of occupational health and safety mining reports. *Safety and Health at Work*, 12(2), 201-208.
- Topal, E. (2008). Early start and late start algorithms to improve the solution time for long-term underground mine production scheduling. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 108(2), 99-107.
- Topp, V., Soames, L., Parham, D. ve Bloch, H. (2008). *Productivity in the mining industry: Measurement and interpretation*. Staff Working Paper, Productivity Commission, Government of Australia.
- Tsichla, K. ve Adam, K. (2022). The evolution of health and safety training needs of the mining sector in Greece and EU. *Materials Proceedings*, 5(1).
- Tucker, P. ve Folkard, S. (2012). *Working time, health and safety: A research synthesis paper*. Conditions of Work and Employment Series No. 31, International Labour Organization (ILO).
- Türengül, M. (2024). İşletmelerde insan kaynakları planlaması ve planlama örnekleri. *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*, 10(2), 264–270.
- Türkay, B. (1998). Distribution system planning using mixed integer programming. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 6(1), 37-48.
- Tyurin, A. ve Kuvataev, I. (2020). Improving the efficiency of a mining enterprise by coordinating production processes. *E3S Web of Conferences*, 174, 1–10.

- U.S. Department of the Interior. (2017). *2014 minerals yearbook — Turkey*. U.S. Geological Survey. <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/mineral-pubs/country/2014/myb3-2014-tu.pdf> Erişim Tarihi: 29.12.2025
- Vanderbei, R. J. (2001). *Linear Programming: Foundations and Extensions* (5). Springer.
- Vielma, J. P. (2015). Mixed integer linear programming formulation techniques. *SIAM Review*, 57(1), 3-57.
- Wan, Z. ve Xu, J. (2025). Optimizing workforce planning in university cleaning services using integer programming: A cost reduction approach. *Proceedings of the 2nd International Conference on Engineering Management, Information Technology and Intelligence (EMITI 2025)* (pp. 462–467).
- Wick, I. (2003). *Workers' tool or PR ploy? A guide to codes of international labour practice* (3rd revised edition). Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn. <https://www.jussempir.org/Newsletters/Resources/GuidetoCOCEvert.pdf> Erişim Tarihi: 13. 11.2025
- Wolsey, L. A. (1998). *Integer Programming*. Wiley.
- Wright, S. J. (1997). Primal-dual interior-point methods. *Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM)*.
- Yalçın, Ü. ve Özbal, H. (2000). *Anatolian Metallurgy: The First Metal – COPPER*.
- Yalçın, A. O. (1984). Doğrusal programlama ve madencilğe ilişkin iki basit örnek. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 23(3), 25–40.
- Yalçınsoy, A., Zincirkiran, M. ve Tiftik, H. (2014). Approach of capacity planning through linear programming technique: A practice in textile enterprise. *International Journal of Innovative Research in Management*, 3(3), 16-29.
- Yalçın, A. O. (1984). Doğrusal programlama ve madencilğe ilişkin iki basit örnek. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 23(3), 25–40.
- Yener, K. A. (2000). *The domestication of metals: The rise of complex metal industries in Anatolia (Vol. 4)*. Leiden, The Netherlands: Brill.
- Yıldız, T. D. ve Maral, M. (2020). Supervision in the development of Turkish mining legislation. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(4), 1637–1677.
- Yu, H., Zahidi, I., Fai, C. M. ve Liang, D. (2025). From devastation to restoration: Charting the course towards sustainable mining practices. *Journal of Environmental Management*, 391, 126660.

- Zanjani, M. K., Ait-Kadi, D. ve Noureldath, M. (2010). Robust production planning in a manufacturing environment with random yield: A case in sawmill production planning. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 882-891.
- Zhang, C., Odonkor, P., Zheng, S., Khorasgani, H., Serita, S., Gupta, C. ve Wang, H. (2020). Dynamic dispatching for large scale heterogeneous fleet via multi agent deep reinforcement learning. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Big Data (BigData)* (pp. 1436–1441). IEEE.
- Zhao, Z., Fan, L. ve Han, Z. (2021). Hybrid quantum Benders' decomposition for mixed-integer linear programming. <https://arxiv.org/abs/2112.07109> Erişim Tarihi. 03.11.2025
- 3213 Sayılı Maden Kanunu. (1985, 15 Haziran). *Resmî Gazete (Sayı: 18785)*. <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18785.pdf> Erişim Tarihi: 17.11.2025
- 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. (2012, 30 Haziran) *Resmî Gazete (Sayı: 28339)*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120630-1.htm> Erişim Tarihi: 17.11.2025

EKLER

Ek 1. Eti Gold Madencilik A.Ş. İzin Dilekçesi



Ek 2. Önerilen Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelinin LINDO Paket Program ile
Çözümü

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 16

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 9405000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	126.000000	0.000000
X12	0.000000	0.000000
X13	0.000000	0.000000
Y21	0.000000	0.000000
Y22	54.000000	0.000000
Y23	0.000000	0.000000
Z31	0.000000	0.000000
Z32	0.000000	0.000000
Z33	8.000000	0.000000
W41	0.000000	0.000000
W42	33.000000	0.000000
U51	3.000000	0.000000
V61	3.000000	0.000000
G71	0.000000	0.000000
G72	11.000000	0.000000
H91	0.000000	0.000000
H92	60.000000	0.000000
H93	0.000000	0.000000
T101	0.000000	0.000000
T102	0.000000	0.000000
T103	40.000000	0.000000
D111	0.000000	0.000000
D112	13.000000	0.000000
D113	0.000000	0.000000
Q121	0.000000	0.000000
Q122	0.000000	0.000000
Q123	18.000000	0.000000
M131	0.000000	0.000000

M132	8.000000	0.000000
M133	0.000000	0.000000
R141	22.000000	0.000000
S151	0.000000	0.000000
S152	0.000000	0.000000
S153	12.000000	0.000000
P161	4.000000	0.000000
K171	0.000000	0.000000
K172	0.000000	0.000000
K173	3.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
-----	------------------	-------------

2)	0.000000	-22500.000000
3)	0.000000	-22500.000000
4)	0.000000	-22500.000000
5)	0.000000	-22500.000000
6)	0.000000	-22500.000000
7)	0.000000	-22500.000000
8)	0.000000	-22500.000000
9)	0.000000	-22500.000000
10)	0.000000	-22500.000000
11)	0.000000	-22500.000000
12)	0.000000	-22500.000000
13)	0.000000	-22500.000000
14)	0.000000	-22500.000000
15)	0.000000	-22500.000000
16)	0.000000	-22500.000000
17)	0.000000	-22500.000000
18)	126.000000	0.000000
19)	0.000000	0.000000
20)	0.000000	0.000000
21)	0.000000	0.000000
22)	54.000000	0.000000
23)	0.000000	0.000000
24)	0.000000	0.000000
25)	0.000000	0.000000

26)	8.000000	0.000000
27)	0.000000	0.000000
28)	33.000000	0.000000
29)	3.000000	0.000000
30)	3.000000	0.000000
31)	0.000000	0.000000
32)	11.000000	0.000000
33)	0.000000	0.000000
34)	60.000000	0.000000
35)	0.000000	0.000000
36)	0.000000	0.000000
37)	0.000000	0.000000
38)	40.000000	0.000000
39)	0.000000	0.000000
40)	13.000000	0.000000
41)	0.000000	0.000000
42)	0.000000	0.000000
43)	0.000000	0.000000
44)	18.000000	0.000000
45)	0.000000	0.000000
46)	8.000000	0.000000
47)	0.000000	0.000000
48)	22.000000	0.000000
49)	0.000000	0.000000
50)	0.000000	0.000000
51)	12.000000	0.000000
52)	4.000000	0.000000
53)	0.000000	0.000000
54)	0.000000	0.000000
55)	3.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 16

ETİK KURUL KARARI



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ KURULU



Sayı : E-95674917-108.99-333497

Konu : Etik Kurul Onay

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Banu BOLAYIR

"TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE İŞGÜCÜ PLANLAMASI: MADEN İŞLETMESİNDE BİR UYGULAMA" konulu etik kurul başvurunuz, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'nun **28/05/2025 tarih 2025/5 sayılı** toplantısında görüşülmüş olup; projenin yürürlükteki mevzuata uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmiştir.
Bilgilerinize rica ederim.

Prof. Dr. Rıdvan ŞAHİN
Kurul Başkanı

ÖZGEÇMİŞ

Jean Darly Korila, 2012 yılında Kongo Cumhuriyeti'nde bulunan Baccalauréat en Génie Industriel série E | Lycée Technique 5 Février 1979 au Congo Brazzaville'nden Endüstri Mühendisliği alanında lise diplomasını almıştır. Daha sonra 2016 yılında Tunus'ta bulunan Licence appliquée en Génie Électrique Spécialité: Systèmes Embarqués et Mobiles | Ecole Polytechnique Méditerranéenne Privée de Tunis'da Gömülü ve Mobil Sistemler alanında lisans derecesini elde etmiştir. Şuan Türkiye'de Gümüşhane Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde Yönetim ve Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitime devam etmektedir. Fransızca, İtalyanca, İngilizce ve Türkçe bilmektedir.