

**T.C.**  
**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**İŞLETME ANABİLİM DALI**  
**YÖNETİM VE STRATEJİ TEZSİZ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**YEŞİL MADENCİLİK: SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK UYGULAMALARI VE  
GELECEK PERSPEKTİFLERİ**

**Tezsiz Yüksek Lisans Dönem Projesi**

**Aylin KAYA**

**Ankara, 2025**

**T.C.**  
**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**İŞLETME ANABİLİM DALI**  
**YÖNETİM VE STRATEJİ TEZSİZ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**YEŞİL MADENCİLİK: SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK UYGULAMALARI VE  
GELECEK PERSPEKTİFLERİ**

**Tezsiz Yüksek Lisans Dönem Projesi**

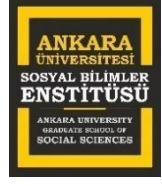
**Aylin KAYA**

**Proje Danışmanı: Prof. Dr. Özlem ATAY**

**Ankara, 2025**



**T.C. ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
MÜDÜRLÜÇÜ  
DÖNEM PROJESİ DEĞERLENDİRME  
FORMU**



**Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,**

**Enstitünüz İŞLETME Anabilim Dalı 23942223 numaralı tezsiz yüksek lisans öğrencisi Aylin KAYA'nın**

**“YEŞİL MADENCİLİK: SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK UYGULAMALARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ” adlı (“GREEN MINING: SUSTAINABLE MINING PRACTICES AND FUTURE PERSPECTIVES”)**

**tezsiz yüksek lisans dönem projesi tarafımda değerlendirilmiş olup,**

**BAŞARILI**



**BAŞARISIZ**



**bulunmuştur.**

**Dönem projesi danışmanı olarak, adı geçen öğrencinin notunun, dönem projesinin Enstitünüz Müdürlüğü'ne tesliminden önce *Öğrenci İşleri Bilgi Sistemi*'ne (OİBS) tarafımdan işlendiğini beyan ederim.**

**DÖNEM PROJESİ DANIŞMANI ONAYI**

**TARİH: 27-01-2025**

**Prof. Dr. Özlem ATAY**

**T.C.**  
**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,**

Prof. Dr. Özlem ATAY danışmanlığında hazırladığım “YEŞİL MADENCİLİK: SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK UYGULAMALARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ (Ankara, 2025)” adlı dönem projesindeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

**Tarih: 27-01-2025**

**Aylin KAYA**

## İÇİNDEKİLER

<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	
<b>GİRİŞ</b> .....	1
<b>BİRİNCİ BÖLÜM</b> .....	2
1. TEMEL KAVRAMLAR .....	2
2. YEŞİL MADENCİLİĞİN TEMEL İLKELERİ .....	3
2.1. Çevresel Sürdürülebilirlik .....	3
2.2. Ekonomik Sürdürülebilirlik .....	4
2.3. Sosyal Sürdürülebilirlik .....	5
2.4. Kaynak Verimliliği.....	6
2.5. Güvenlik ve Risk Yönetimi .....	8
3. ÇEVRESEL ETKİLER VE YÖNETİM .....	10
3.1. Madencilik Faaliyetlerinin Çevresel Etkileri .....	10
3.2. Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm .....	11
3.3. Su Yönetimi .....	13
3.4. Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Kullanımı .....	15
3.5. Biyolojik Çeşitliliğin Korunması .....	16
4. YEŞİL MADENCİLİK TEKNOLOJİLERİ .....	18
4.1. Yenilikçi Madencilik Teknikleri .....	18
4.2. Otomasyon ve Dijitalleşme .....	18
4.3. Çevre Dostu Patlatma ve Kazı Yöntemleri.....	19
4.4. Karbon Yakalama ve Depolama Teknolojileri (CCS) .....	19
5. SOSYAL SORUMLULUK VE TOPLULUK İLİŞKİLERİ .....	21
5.1. Yerel Toplumların Ekonomik Desteklenmesi.....	21
5.2. Topluluklarla Şeffaf ve Etkili İletişim .....	21
5.3. Eğitim ve Kapasite Geliştirme Programları.....	21
5.4. Kültürel Mirasın ve Geleneklerin Korunması .....	22
5.5. Toplumsal Cinsiyet Eşitliği ve Kadınların Güçlendirilmesi .....	22
5.6. Sağlık ve Sosyal Hizmetlerin Desteklenmesi.....	22
<b>İKİNCİ BÖLÜM</b> .....	23
6. YEŞİL MADENCİLİK: SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK UYGULAMALARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ.....	23
6.1. Örnek Olay: Hekimhan Madencilik A.Ş. Çevresel Ve Sosyal Yönetim Planı (ÇSYP).....	23
6.1.1. Çevresel Yönetim Ve Kaynakların Korunması .....	23
6.1.2. Toplum Katılımı Ve Sosyal Sorumluluk Projeleri .....	24
6.1.3. Çalışan Sağlığı ve Güvenliği .....	25

6.2. Örnek Olay: Çin’de Nadir Toprak Elementleri Madenciliği.....	25
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM</b> .....	27
7. YEŞİL MADENCİLİK GELECEK PERSPEKTİFLERİ .....	27
7.1. Gelecekte Beklenen Eğilimler.....	27
7.2. Araştırma ve Geliştirme Alanları (Ar-Ge).....	28
7.3. Stratejik Yol Haritası.....	30
<b>SONUÇ</b> .....	31
<b>KAYNAKÇA</b> .....	33
<b>ÖZET</b> .....	36
<b>ABSTRACT</b> .....	37

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Sürdürülebilir madencilik uygulamalarının beş boyutlu temsili .....3

## GİRİŞ

Değişen dünyada, toplumsal ve çevresel nedenlerle madencilik faaliyetleri giderek zorlaşmaktadır. Arazi kullanımlarında rekabet artmakta, pek çok büyük şirket başka ülkelere yatırım yapmaktadır. Ancak madencilik bölgelerinde karşılaşılan en büyük sorun su ve enerji kaynaklarında yaşanan kıtlıktır.

İnsanlık olarak mineral bazlı ürünlerin kullanımının radikal olarak azalmasına henüz hazır değiliz. Fosil yakıtlar yerine ikame edilen elektrikli sistemler de madencilik yapmayı gerektirmektedir. Ancak tüm dünyada, madencilik faaliyetlerine giderek daha fazla karşı çıkılıyor. Madencilik sektörü bu noktada imajını ve performansını iyileştirmek ve karşılaştığı zorlukları aşabilmek için yeni bir konsept geliştirdi; “Yeşil Madencilik” (Nurmi, 2017).

Bu konsept, sürdürülebilir madencilik uygulamalarını kapsamaktadır. Çevresel ayak izlerini azaltmak için su, enerji malzeme verimliliğini teşvik etmektedir. YM, maden kaynaklarının en verimli şekilde kazanılmasına olanak tanır ve madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıkları en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, sürdürülebilir madencilik uygulamalarını genel hatlarıyla Yeşil Madencilik konsepti içinde ele alınmış olup, gelecek perspektifi değerlendirilmiştir.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### 1. TEMEL KAVRAMLAR

Yeşil madencilik, minerallerin, metallerin ve fosil yakıtların üretilmesi, işlenmesi ve dağıtılması için çevresel olarak sürdürülebilir bir yöntemdir. Atıkların en aza indirilmesi, su ve enerji tüketiminin azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, yeniden ağaçlandırmaya teşvik etmesi gibi protokoller içerir. Fakat en önemli uygulamalarından biri gelecek nesiller için sürdürülebilir kaynaklar bırakmayı amaçlamasıdır.

Ekolojik koruma ve sosyal sorumluluk projeleri ile geleneksel madencilik yöntemlerinden ayrılmaktadır. Sanayi devrimiyle beraber gelişen makineleşme, başta kömür ve demir gibi madenlere olan ihtiyacı arttırmıştır. Hammadde ve pazar arayışıyla beraber ülkeler arasında sömürgecilik yarışını başlatmıştır. Bu dönemde gelişen vahşi madencilik faaliyetleri son yüz yıl içinde iklim krizi dahil ekolojik sorunları beraberinde getirmiştir.

Hava ve su kaynaklarının hızla kirlenmesi, yeşil alanların bozulması ve doğal kaynakların tükenmesi gibi sorunlar insanlığın devamlılığını tehdit eden boyutlara ulaşmıştır (Seyidoğlu, 1996). Çevresel sorunlar sadece ekonomik faaliyetler sonucu kaynaklanmamaktadır. Aynı zamanda yanlış kalkınma politikalarının da bir sonucudur. Örneğin; yanlış tarımsal uygulamalar, ormanlık alanların imara açılması, denizlerde yapılan vahşi avcılık gibi faaliyetler sayılabilir.

İşte tüm bu olumsuzluklara bir çare arandığı sırada bir kavram ortaya çıkmıştır “Sürdürülebilirlik”. Yeşil madencilik ise, içinde sürdürülebilirliği de kapsayan bir konseptir. Çevresel etkilerin azaltılması, karbon ayak izinin azaltılması, sosyal sorumluluk projeleri ile önem taşımaktadır. Bir başka ifadeyle, yeşil madencilik, ekonomik kalkınmanın vazgeçilmez bir unsuru olan madencilik faaliyetlerini, sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu hale getirme çabasıdır.

Bu proje madencilik faaliyetlerinin uzun vadeli etkileri göz önüne alındığında, bu yaklaşımın yaygınlaşması, hem doğa hem de insanlar için büyük bir kazanç olacağını anlatmak için yazılmıştır.

## 2. YEŞİL MADENCİLİĞİN TEMEL İLKELERİ

Yeşil madenciliğin temel ilkeleri, sürdürülebilir madenciliğin beş boyutlu diyagramıyla gösterilebilir. Ayrıca sürdürülebilir finans araçları da YM temel ilkeleri arasında gösterilir.



**Şekil 1.** Sürdürülebilir madencilik uygulamalarının beş boyutlu temsili

**Kaynak:** (ACSMP,2011,AusTrade, 2013)

### 2.1. Çevresel Sürdürülebilirlik

Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunması, ekosistemlerin zarar görmeden faaliyetlerin yürütülmesi ve çevresel etkilerin minimize edilmesini içeren bir yaklaşımdır. Yeşil madencilik kapsamında çevresel sürdürülebilirliği sağlamaya yönelik temel prensipler aşağıda detaylandırılmıştır:

### **2.1.1. Karbon Salınımının Azaltılması**

Madencilik sektöründe kullanılan fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının geçirilmesi, karbon salınımını önemli ölçüde azaltabilir. Güneş ve rüzgar enerjisi gibi kaynaklar, madencilik faaliyetleri için uygun enerji çözümleri sunar. Ayrıca, elektrikli maden araçları ve ekipmanlarının kullanımı da karbon emisyonlarının düşürülmesine katkıda bulunur (Johnson, 2019).

### **2.1.2. Biyolojik Çeşitliliğin Korunması**

Madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği alanlarda flora ve faunanın korunması önceliklidir. Maden çıkarma işlemleri sırasında bölgedeki doğal yaşam alanlarının en az şekilde etkilenmesi için ekolojik dengeyi gözetilen planlama yapılmalıdır. Bunun yanı sıra, rehabilitasyon çalışmalarıyla, maden sahalarının faaliyet sonrasında doğal haline döndürülmesi sağlanır (Smith & Brown, 2020).

### **2.1.3. Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm**

Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıkların etkili bir şekilde yönetilmesi çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Asit maden drenajı gibi çevresel riskler, modern yöntemlerle kontrol altına alınmalıdır. Ayrıca, maden atıklarının yeniden işlenerek ekonomik değer oluşturması, doğal kaynak kullanımını azaltabilir (UNEP, 2022).

### **2.1.4. Su Kaynaklarının Korunması**

Madencilik faaliyetleri sırasında su tüketimi oldukça yüksektir. Bu nedenle, su geri kazanım sistemleri kullanılarak su tüketimi azaltılabilir. Örneğin, kapalı devre su sistemleri, madencilik işlemlerinde kullanılan suyun tekrar kullanılmasını sağlar ve doğal su kaynakları üzerindeki baskıyı hafifletir (World Bank, 2021).

### **2.1.5. Enerji Verimliliği**

Enerji verimliliği, çevresel sürdürülebilirliğin önemli bir ayağıdır. Daha az enerji tüketen ekipmanların kullanımı ve enerji kayıplarını minimize eden teknolojilere geçiş, enerji tasarrufuna katkı sağlar. Bu sayede, hem karbon ayak izi azaltılır, hem de ekonomik sürdürülebilirlik desteklenir (Johnson, 2019)

## **2.2. Ekonomik Sürdürülebilirlik**

Madencilik faaliyetlerinin uzun vadeli ekonomik fayda sağlaması için kaynak verimliliğinin artırılması ve geri dönüşümü destekleyen yöntemlerin kullanılması esastır. Bu kapsamda, gelişmiş teknoloji ve süreçlerin kullanımı kaynak kullanımını optimize eder. Örneğin, "otonom maden ekipmanları" ve "veri analitiği" tabanlı süreç iyileştirmeleri, enerji

tüketimini ve atık miktarını azaltırken operasyonel verimliliği artırmaktadır (Johnson, 2019). Ayrıca, madenlerde "kuru yığın liçi" yöntemi gibi su tüketimini minimize eden teknolojiler, doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunur (Smith & Brown, 2020). Atıkların yeniden işlenmesiyle, ekonomiye kazandırılan değerli metallerin geri dönüşümü sağlanırken doğal kaynak tüketimi azaltılabilir (UNEP, 2022). Bu, hem maliyetleri düşürür hem de sektörün sürdürülebilirliğini sağlar. Örneğin, bir madencilik şirketi enerji tüketimini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yaparak maliyetlerini düşürebilir ve çevresel etkilerini minimize edebilir. Rio Tinto gibi şirketler, operasyonlarında güneş enerjisi panelleri kullanarak yıllık enerji harcamalarında önemli tasarruflar elde etmiştir (Smith & Brown, 2020). Ayrıca, "otonom maden ekipmanları" kullanımı, insan kaynaklı hataları azaltırken operasyonel verimliliği artırır ve iş gücü maliyetlerini düşürür. Bu tür teknolojik yenilikler, sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunarak kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlar.

### **2.2.1 Yenilikçi Finansman Modelleri**

Yeşil madencilik projelerinin finansmanı için karbon kredileri ve çevre dostu teşvikler kullanılmaktadır. Bu modeller, hem şirketlerin sürdürülebilirlik hedeflerini destekler hem de ekonomik kazanç sağlar. Örneğin, Avustralya'daki maden şirketleri karbon ticaret mekanizmalarını kullanarak hem çevresel hem de mali avantajlar elde etmiştir (World Bank, 2021).

### **2.2.2. İleri Teknoloji Kullanımı**

Yapay zeka ve IoT tabanlı izleme sistemleri, madencilik operasyonlarında hem çevresel etkilerin hem de maliyetlerin azaltılmasını sağlar. Örneğin, dijital ikiz teknolojisiyle sahaların simülasyonu yapılarak enerji tüketimi ve kaynak kullanımını optimize edilebilir (Johnson, 2019).

## **2.3. Sosyal Sürdürülebilirlik**

Sosyal sürdürülebilirlik, yeşil madenciliğin topluluklar, çalışanlar ve paydaşlarla uyum içinde yürütülmesini sağlayan önemli bir ilkesidir. Bu yaklaşım, yerel halkın ekonomik refahını artırmayı, çalışan sağlığı ve güvenliğini önceliklendirmeyi ve toplumsal kabulü güçlendirmeyi amaçlar.

### **2.3.1. Yerel Toplulukların Desteklenmesi**

Madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bölgelerde yaşayan topluluklar, bu faaliyetlerin doğrudan etkisini hisseder. Yeşil madencilik, yerel istihdam yaratma, eğitim programları ve sosyal altyapı projeleri ile bu topluluklara değer katmayı hedefler. Örneğin,

Peru’da bir maden şirketi, yerel halkın eğitimine yatırım yaparak istihdam oranlarını artırmış ve ekonomik kalkınmaya katkıda bulunmuştur (UNEP, 2022).

### **2.3.2. İşçi Sağlığı ve Güvenliği**

Madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bölgelerde yaşayan topluluklar, bu faaliyetlerin doğrudan etkisini hisseder. Yeşil madencilik, yerel istihdam yaratma, eğitim programları ve sosyal altyapı projeleri ile bu topluluklara değer katmayı hedefler. Örneğin, Peru’da bir maden şirketi, yerel halkın eğitimine yatırım yaparak istihdam oranlarını artırmış ve ekonomik kalkınmaya katkıda bulunmuştur (UNEP, 2022).

### **2.3.3. Şeffaflık ve Toplumsal Katılım**

Madencilik süreçlerinde şeffaflık, yerel halkın güvenini kazanmak için kritik bir unsurdur. Yeşil madencilik uygulamaları, toplulukların karar alma süreçlerine katılmasını sağlar. Örneğin, Kanada’daki bir maden şirketi, yerel topluluklarla düzenli diyalog mekanizmaları kurarak projeler hakkında bilgi paylaşımı yapmış ve toplumsal kabulü artırmıştır (World Bank, 2021).

### **2.3.4. Kültürel ve Ekolojik Denge**

Madencilik faaliyetleri sırasında bölgedeki kültürel mirasın korunması ve ekolojik dengenin gözetilmesi, sosyal sürdürülebilirliğin bir parçasıdır. Maden sahalarının yakınında yaşayan yerel halkın kültürel değerlerine saygı gösterilmesi ve çevresel etkilerin minimize edilmesi, toplumsal uyumu güçlendirebilir. Örneğin, Avustralya’da bir maden şirketi, yerel Aborjin topluluklarının kutsal alanlarını koruyarak sosyal sürdürülebilirlik konusunda örnek bir yaklaşım sergilemiştir (Johnson, 2019).

## **2.4. Kaynak Verimliliği**

Doğal kaynakların etkili bir şekilde kullanılması, sürdürülebilir madenciliğin temel ilkelerindendir. Kaynak verimliliğini artırmak için yenilikçi teknolojilerin kullanımı, atıkların geri dönüşümü ve alternatif hammaddelerin değerlendirilmesi kritik önem taşır.

Kaynak verimliliği, madencilik faaliyetleri sırasında doğal kaynakların mümkün olan en düşük seviyede tüketilmesini ve süreçlerin çevresel etkilerinin azaltılmasını sağlar. Bu yaklaşımlar, yalnızca sürdürülebilir kalkınmayı desteklemekle kalmaz, aynı zamanda uzun vadede şirketlerin maliyetlerini düşürür ve rekabet avantajı sağlar.

#### **2.4.1. Daha Az Kaynakla Daha Fazla Üretim**

Yeşil madencilik, yenilikçi teknolojiler kullanarak daha az enerji ve su tüketimi ile daha fazla üretim elde etmeyi amaçlar. Örneğin, düşük enerjili kırma ve öğütme teknikleri, madencilik faaliyetlerinin karbon ayak izini azaltabilir. Rio Tinto, enerji verimli işlemler ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak madenlerinden birinde enerji tüketimini %30 oranında azaltmıştır (Smith & Brown, 2020).

#### **2.4.2. Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi**

Madencilik atıklarının geri kazanımı ve yeniden kullanımı, kaynak verimliliğini artırmanın önemli bir yoludur. Örneğin, Brezilya'daki Vale şirketi, demir cevheri üretiminden kalan atık çamurları tuğla yapımında kullanarak, yılda 5 milyon ton atığın çevreye zarar vermesini önlemiştir (UNEP, 2022).

#### **2.4.3. Su Verimliliği ve Geri Dönüşüm**

Madencilik faaliyetlerinde su tüketimi büyük bir çevresel etkidir. Yeşil madencilik, kullanılan suyun geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanımı üzerine yoğunlaşır. Örneğin, Anglo American, Güney Afrika'daki bir madeninde su geri dönüşüm sistemleri kurarak su kullanımını %50 azaltmıştır (World Bank, 2021).

#### **2.4.4. Enerji Verimliliği ve Karbon Azaltımı**

Madencilik süreçlerinde enerji tüketimini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları ve verimli teknolojiler kullanılır. Örneğin, Avustralya'daki bir altın madeni, güneş enerjisi ve enerji depolama teknolojileri kullanarak karbon emisyonlarını yıllık %40 oranında azaltmıştır (Johnson, 2019).

#### **2.4.5. Kaynakların Dijital Yönetimi**

Dijitalleşme ve yapay zeka teknolojileri, madencilik süreçlerini optimize ederek kaynak kullanımını artırır. Örneğin, Barrick Gold, yapay zeka tabanlı analizlerle madenlerdeki cevherin daha verimli bir şekilde çıkarılmasını sağlamış ve gereksiz kazıları %20 oranında azaltmıştır (Mining Technology, 2022).

Bunlara ek olarak sektörler arası iş birlikleri ve devlet politikaları eklenebilir. Avrupa Birliği'nin "Döngüsel Ekonomi Paketi" madencilikte kaynak verimliliği için finansal teşvikler sunmaktadır (European Commission, 2020).

## 2.5. Güvenlik ve Risk Yönetimi

Madencilik faaliyetleri sırasında iş sağlığı ve güvenliği standartlarının sağlanması, çalışanlar ve çevre için hayati öneme sahiptir. Ayrıca, doğal afetler, çevresel kazalar ve operasyonel risklerin minimize edilmesi için proaktif bir yaklaşım benimsenmelidir.

Güvenlik ve risk yönetimi, madencilik sektörünün en kritik unsurlarından biridir. Çalışanların, yerel halkın ve çevrenin korunması, hem etik hem de operasyonel açıdan büyük bir öneme sahiptir.

### 2.5.1. İşçi Sağlığı ve Güvenliği

Madencilik sektörü, barındırdığı tehlikeler nedeniyle en yüksek riskli iş grubudur. Yeşil madencilik konseptinde, çalışanların güvenliğini artırmak için teknolojik yenilikler ve sıkı iş sağlığı politikaları benimsenmektedir.

**a) Otomasyon ve Robotik Sistemler:** Otonom maden araçları ve uzaktan kumandalı makineler, çalışanların yüksek riskli alanlarda fiziksel olarak bulunma ihtiyacını azaltır. Örneğin, Rio Tinto, Avustralya’da otonom kamyon filolarını devreye sokarak iş kazalarını %40 oranında azaltmıştır (Smith & Brown, 2020).

**b) Koruyucu Ekipman ve Eğitim Programları:** Çalışanlara yönelik eğitim programları ve ileri koruyucu ekipmanlar, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını azaltmada önemli bir rol oynar. Anglo American, çalışanlarına düzenli eğitim ve sağlık taramaları sağlayarak meslek hastalıklarını %25 oranında azaltmıştır (UNEP, 2022).

### 2.5.2. Yerel Halk Güvenliği

Madencilik faaliyetleri çevresel etkileri nedeniyle yerel halk için tehlike oluşturabilir. Yeşil madencilik, bu riskleri minimum seviyede tutmayı hedefler.

**a) Çevresel Risklerin Azaltılması:** Su ve hava kirliliği gibi çevresel etkiler, yerel halk sağlığı üzerinde ciddi sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, su arıtma sistemleri ve emisyon kontrol teknolojileri kritik öneme sahiptir. Örneğin, Vale, Brezilya’da geliştirdiği su geri dönüşüm sistemleriyle yerel halkın su kaynaklarının kirlenmesini engellemiştir (World Bank, 2021).

**b) Acil Durum Yönetimi:** Madencilik bölgelerinde acil durum planları oluşturmak ve yerel halkı bu süreçlere dahil etmek, olası kazalara karşı hazırlıklı olmayı sağlar. Barrick Gold, maden sahalarına yakın topluluklarla acil durum tatbikatları düzenleyerek halkın risklere karşı bilinçlenmesini sağlamıştır (Mining Technology, 2022).

### 2.5.3. Risk Yönetimi

Risk yönetimi, sadece meydana gelen sorunlara tepki vermek yerine, olası riskleri önceden tespit etmeyi ve önlem almayı içerir.

**a) Dijitalleşme ve Veri Analitiği:** Yapay zeka ve büyük veri analitiği, maden sahalarındaki riskli durumları öngörmek ve önceden müdahale etmek için kullanılabilir. Örneğin, BHP Billiton, sensör teknolojisi ve veri analitiği kullanarak potansiyel çökme risklerini önceden tespit etmektedir (Johnson, 2019).

**b) Şeffaflık ve Paydaş Katılımı:** Risk yönetimi süreçlerinde şeffaflık, yerel halkın güvenini kazanmak için önemlidir. Kanada'daki bir maden şirketi, çevresel ve güvenlik risklerini düzenli raporlayarak yerel topluluklarla güçlü bir güven ilişkisi kurmuştur (UNEP, 2022).

### 2.5.4. Psikososyal Risklerin Yönetimi

Madencilik sektöründe çalışanların yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda psikolojik sağlığı da dikkate alınmalıdır. Stres, uzun çalışma saatleri ve izole çalışma ortamları, çalışanlar üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir.

Çalışanların mental sağlığını desteklemek için refah programları ve psikolojik danışmanlık hizmetleri sağlanabilir. Örneğin, AngloGold Ashanti, çalışanlarına stres yönetimi ve iş-yaşam dengesi üzerine düzenli programlar sunmaktadır (Smith & Brown, 2020).

### 2.5.5. Tedarik Zinciri Güvenliği

Madencilik sektöründeki güvenlik riskleri yalnızca sahalarla sınırlı değildir; tedarik zincirindeki olası sorunlar da ele alınmalıdır. Yeşil madencilik, tüm tedarik zinciri boyunca güvenliği sağlamayı amaçlar.

Çocuk işçi çalıştırılmaması, zorla çalıştırmanın önlenmesi ve güvenli lojistik gibi konular, tedarik zinciri güvenliğinin bir parçasıdır. Fairmined Sertifikası, bu tür etik tedarik zinciri uygulamalarını teşvik eden önemli bir standarttır (UNEP, 2022).

Güvenlik ve risk yönetimi için kullanılan standartlar ISO 45001 ve ICMM'dir (International Council on Mining and Metals).

### **3. ÇEVRESEL ETKİLER VE YÖNETİM**

#### **3.1. Madencilik Faaliyetlerinin Çevresel Etkileri**

Madencilik sektörü, çevre üzerinde ciddi etkiler bırakabilir. Bu etkiler, habitat kaybından su kirliliğine, hava kalitesindeki bozulmalardan iklim değişikliğine kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Ancak yeşil madencilik uygulamaları, bu etkileri azaltmayı ve çevre ile uyumlu bir çalışma modeli oluşturmayı hedefler.

##### **3.1.1. Toprak ve Habitat Tahribatı**

Madencilik faaliyetleri sırasında yüzey kazıları, ormanların ve doğal habitatların yok olmasına neden olabilir. Bu durum, biyolojik çeşitliliği olumsuz etkiler ve toprak erozyonu gibi çevresel sorunlara yol açar.

Örnek: Endonezya'da kömür madenciliği nedeniyle yağmur ormanlarının geniş bir bölümü tahrip olmuştur. Ancak, yeşil madencilik kapsamında yapılan rehabilitasyon çalışmaları, yerel flora ve faunanın bir kısmının geri kazanılmasını sağlamıştır (UNEP, 2022).

##### **3.1.2. Su Kirliliği**

Madencilik faaliyetleri, özellikle asidik maden drenajı yoluyla yeraltı ve yüzey sularının kirlenmesine neden olabilir. Çözünen ağır metaller, bölgedeki ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturabilir.

Örnek: Kanada'da bir maden şirketi, su kirliliğini önlemek için geliştirdiği filtreleme sistemleri ile arsenik seviyelerini %80 oranında azaltmayı başarmıştır (World Bank, 2021).

##### **3.1.3. Hava Kirliliği**

Madencilik sırasında taş kırma, taşıma ve işleme gibi faaliyetler sırasında yayılan toz ve emisyonlar hava kalitesini olumsuz etkiler. Bu durum, hem insan sağlığı hem de çevre açısından tehlikelidir.

Örnek: Avustralya'da bir altın madeni, toz emisyonlarını kontrol altına almak için yenilikçi nemlendirme sistemleri kullanmış ve çevredeki hava kalitesini %35 iyileştirmiştir (Johnson, 2019).

##### **3.1.4. İklim Değişikliği ve Karbon Emisyonları**

Madencilik sektörü, özellikle enerji yoğun süreçler nedeniyle yüksek karbon emisyonlarına katkıda bulunur. Ancak yenilenebilir enerji ve enerji verimli teknolojilerin kullanımı, bu etkiyi azaltmada önemlidir.

Örnek: BHP Billiton, madencilik faaliyetlerinde güneş enerjisi kullanımını artırarak karbon emisyonlarını %20 oranında düşürmüştür (Mining Technology, 2022).

### 3.1.5. Atık Yönetimi

Madencilik faaliyetleri sonucunda büyük miktarda atık oluşur. Bu atıklar, ağır metaller ve toksik maddeler içerdiğinden çevreye zarar verebilir. Ancak, yeşil madencilik, atıkların geri kazanımı ve çevresel etkilerinin azaltılmasını amaçlar.

Örnek: Hindistan'da bir boksit madeni, atık malzemeleri inşaat sektöründe kullanarak hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamıştır (Smith & Brown, 2020).

## 3.2. Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm

Madencilik sektöründe ortaya çıkan atıklar, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu atıklar, yerel ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde uzun vadeli etkiler yaratmaktadırlar. Yeşil madencilik uygulamaları, atık yönetimini iyileştirmeyi ve atıkların geri dönüşümünü teşvik ederek çevre üzerindeki yükü azaltmayı hedeflemektedir.

### 3.2.1. Madencilik Atık Türleri

Madencilik faaliyetleri esnasında ortaya çıkan başlıca atık türleri şunlardır:

**a) Cevher Atıkları (Tailings):** Metal veya mineral çıkarma sırasında geriye kalan ince partiküllü malzemelerdir. Genellikle toksik kimyasallar içerebilir.

**b) Toprak ve Kayalar (Overburden and Waste Rock):** Madencilik esnasında cevhere ulaşmak için kazılan, ancak ekonomik değeri olmayan örtü veya dolgu malzemelerdir.

**c) Kimyasal Atıklar:** Siyanür, sülfürik asit gibi maden işleme sırasında kullanılan kimyasallar.

### 3.2.2. Yeşil Madencilikte Atık Yönetimi Yaklaşımları

Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıkların çevreye zarar vermemesi için kullanılan yöntemler vardır.

#### a) Geri Dönüşüm ve Yeniden Kullanım:

- **Atık Malzemelerin İnşaat Sektöründe Kullanımı:** Maden atıkları, çimento üretimi veya dolgu malzemesi olarak kullanılabilir.

Örnek: Güney Afrika'da bir altın madeni, cevher atıklarını tuğla üretiminde kullanarak ekonomik değer yaratmıştır (UNEP, 2022).

- **Metal ve Mineral Geri Kazanımı:** Cevher atıklarından kalan değerli minerallerin ileri teknolojiyle yeniden işlenmesi mümkündür.

Örnek: Şili’de bir bakır madeni, tailings havuzlarından bakır geri kazanımı sağlayarak yıllık üretimini %15 artırmıştır (World Bank, 2021).

#### **b) Sıfır Atık Politikası:**

Bazı şirketler, atık miktarını tamamen ortadan kaldırmayı hedefleyen "sıfır atık" politikalarını benimser.

Örnek: Kanada’da bir nikel madeni, tüm atıklarını geri dönüştürerek sıfır atık hedefini gerçekleştiren ilk madenlerden biri olmuştur (Johnson, 2019).

#### **c) Depolama ve İzleme:**

- **Modern Cevher Atığı Toplama Alanı:** Cevher atığı depolarında geçirimsiz zemin tabakaları ve çevre kontrol sistemleri kullanılarak yeraltı suyu kirliliği önlenir. Örnek: Avustralya’da bir maden şirketi, tailings depolama alanlarına biyolojik filtre sistemleri ekleyerek toksik sızıntıları engellemiştir (Smith & Brown, 2020).
- **Uzaktan İzleme Sistemleri:** Depolama tesislerinin durumu sensörler ve dronlarla izlenerek, potansiyel sızıntılar veya çökmeler anında tespit edilebilir.

Örnek: Brezilya’da Vale, dron tabanlı bir izleme sistemi kurarak tailings barajlarında oluşabilecek riskleri önceden tespit etmektedir (Mining Technology, 2022).

### **3.2.3. Teknolojik İnovasyonlar**

Teknoloji, madencilik atık yönetiminde yenilikçi çözümler sunmaktadır:

**a) Atık Su Arıtma Sistemleri:** Maden sularındaki kirleticileri gidererek, suyun geri kazanımını sağlar.

Örnek: Hindistan’da bir kömür madeni, su geri dönüşüm sistemleri ile yıllık 500 milyon litre su tasarrufu sağlamıştır (UNEP, 2022).

**b) Bioleaching Teknolojisi:** Mikroorganizmalar kullanılarak cevher atığı içerisindeki değerli metallerin ayrıştırılması sağlanabilmektedir. Bu yöntem çevre dostudur.

Örnek: Peru’da bir altın madeni, bioleaching teknolojisi ile arsenik ve siyanür atıklarını %90 oranında azaltmıştır (World Bank, 2021).

### 3.2.4. Çevresel Sosyal Faydalar

a) **Ekonomik Değer Yaratımı:** Atıkların geri dönüştürülmesi, şirketler için ek gelir kaynakları oluşturabilir.

b) **Yerel Toplumların Katkısı:** Atık yönetimi projeleri, yerel istihdam yaratabilir ve çevresel eğitim programlarıyla halkı bilinçlendirebilir.

c) **Doğal Kaynakların Korunması:** Atıkların yeniden kullanımı, yeni kaynakların çıkarılma ihtiyacını azaltır ve doğal çevre üzerindeki baskıyı hafifletir.

### 3.3. Su Yönetimi

Su, madencilik faaliyetlerinde en çok kullanılan doğal kaynaklardan biridir. Ancak yanlış yönetildiğinde çevresel sorunlara ve hatta felakete yol açabilmektedir. Yeşil madencilik, suyun etkin kullanımı, geri dönüşümü ve su kaynaklarının korunmasını öncelik haline getirmeyi amaçlar.

#### 3.3.1. Madencilikte Suyun Kullanımı

Madencilik sektöründe su, farklı süreçlerde kullanılır:

a) **Cevher İşleme:** Değerli minerallerin ayrıştırılması için kullanılan su, genellikle kimyasal maddelerle kontamine olabilir.

b) **Toz Kontrolü:** Toz oluşumunu engellemek için maden sahalarında su püskürtülür.

c) **Cevher Atığı Yönetimi:** Cevher işleme sonrası kalan malzemeler genellikle su ile karıştırılarak depolanır.

Bu süreçler, yeraltı ve yüzey sularına zarar verebilir ve suyun aşırı tüketimi, bölgedeki su kaynaklarını tükenme riskiyle karşı karşıya bırakabilir.

#### 3.3.2. Sürdürülebilir Su Yönetimi Yaklaşımları

Yeşil madencilik kapsamında su yönetimini iyileştirmek için çeşitli yöntemler uygulanır:

a) **Su Geri Dönüşümü ve Yeniden Kullanım:** Madencilik süreçlerinde kullanılan suyun arıtılarak tekrar kullanılması, hem su tüketimini azaltır hem de çevresel etkileri en aza indirir.

Örnek: Güney Afrika'da bir platin madeni, su arıtma sistemleri sayesinde kullandığı suyun %80'ini geri dönüştürmektedir (UNEP, 2022).

**b) Su Tüketiminin Azaltılması:** Yeni teknolojiler ve süreç optimizasyonları, madencilikte kullanılan su miktarını düşürebilir.

Örnek: Şili’de bir bakır madeni, deniz suyunu arıtıp kullanarak yerel su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltmıştır (Smith & Brown, 2020).3.3.3.

**c) Kirlilik Kontrolü:** Asidik maden drenajı ve kimyasal sızıntılar, su kirliliğinin başlıca nedenlerindedir. Yeşil madencilik, bu tür kirliliği önlemek için aşağıdaki yöntemleri uygular;

- **Geçirimsiz Zemin Kaplamaları:** Cevher atığı depolama alanlarında kullanılarak yeraltı suyunun kirlenmesi önlenir.
- **Nötralizasyon Teknikleri:** Asidik drenajı nötrlemek için kimyasal veya biyolojik yöntemler kullanılır.

Örnek: Kanada’da bir altın madeni, asidik drenajı kontrol altına almak için biyolojik filtreleme sistemleri kurmuştur (Johnson, 2019).

### 3.3.3. Akıllı Su Yönetimi Sistemleri

Teknoloji, su yönetiminde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır:

**a) Uzaktan İzleme ve Sensörler:** Su tüketimi ve kirlilik seviyeleri, sensörler ve IoT (Internet of Things) teknolojileriyle gerçek zamanlı olarak izlenebilir.

Örnek: Avustralya’da bir maden şirketi, su kaynaklarını izlemek için sensör tabanlı bir sistem kurarak %25 daha az su tüketmiştir (World Bank, 2021).

**b) Su Ayak İzi Analizi:** Şirketler, faaliyetlerinin su tüketimi üzerindeki etkisini ölçerek optimize edici stratejiler geliştirebilir.

### 3.3.4. Çevresel ve Sosyal Faydalar

**a) Su Kaynaklarının Korunması:** Geri dönüşüm ve etkin kullanım, yerel ekosistemlerin korunmasına katkıda bulunur.

**b) Toplum Sağlığının İyileştirilmesi:** Su kirliliğinin önlenmesi, yerel halkın sağlık sorunlarını azaltır.

**c) Ekonomik Kazançlar:** Su geri dönüşüm sistemleri, şirketlere uzun vadede maliyet tasarrufu sağlar.

### 3.4. Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Enerji, madencilik sektöründe yüksek miktarlarda tüketilen bir kaynaktır. Bu nedenle, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, sürdürülebilir madencilik hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Yeşil madencilik, enerji tüketimini azaltmayı, karbon ayak izini küçültmeyi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmayı hedefler.

#### 3.4.1. Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği, daha az enerji kullanarak aynı miktarda veya daha fazla üretim yapmayı ifade eder. Bu, hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlar.

##### a) Teknolojik İnovasyonlar

- **Yüksek Verimli Makineler:** Modern ekipmanlar, enerji tüketimini azaltmak için optimize edilmiştir. Örneğin, elektrikli maden araçları, fosil yakıtlı araçlara kıyasla %30 daha az enerji tüketir.

Örnek: Rio Tinto, otomatik ve elektrikli kamyonlar kullanarak enerji verimliliğini %25 artırmıştır (IEA, 2022).

- **Akıllı Enerji Yönetim Sistemleri:** IoT ve yapay zeka teknolojileriyle enerji tüketimi gerçek zamanlı olarak izlenebilir ve optimize edilebilir.

Örnek: Anglo American, enerji tüketimini izlemek için sensör tabanlı bir sistem kurmuş ve yıllık enerji tüketimini %15 oranında azaltmıştır (World Bank, 2021).

**b) Enerji Kaybının Azaltılması:** Enerji kaybını önlemek için maden ekipmanlarının bakım ve modernizasyonu kritik öneme sahiptir. Ayrıca, atık ısı geri kazanım sistemleri kullanılarak enerji kaybı en aza indirilebilir.

Örnek: Güney Afrika'daki bir platin madeni, atık ısıyı geri dönüştürerek enerji ihtiyacını %10 azaltmıştır (UNEP, 2022).

#### 3.4.2. Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Yenilenebilir enerji kaynakları, madencilik sektörünün karbon ayak izini önemli ölçüde azaltmaktadır. Son yıllarda hükümetlerde yapılan düzenlemelerle tercih edilmektedir.

- a) **Güneş Enerjisi:** Güneş enerjisi, madencilik sahalarının enerji ihtiyaçlarını karşılamak için ideal bir kaynaktır.

Örnek: Şili’de bir bakır madeni, % 100 güneş enerjisiyle çalışarak yıllık 80.000 ton karbon emisyonunu engellemiştir (IEA, 2023).

- b) Rüzgar Enerjisi:** Rüzgar enerjisi, büyük madencilik tesislerinde kullanılabilen bir diğer yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Örnek: Avustralya’da bir demir madeni, rüzgar türbinleri kurarak enerji ihtiyacının %40’ını yenilenebilir kaynaklardan karşılamaktadır (Mining Journal, 2021).

- c) Jeotermal Enerji:** Bazı maden sahaları, jeotermal enerjiden yararlanarak enerji maliyetlerini azaltabilmektedir.

Örnek: Endonezya’daki bir nikel madeni, jeotermal enerji sistemine geçerek fosil yakıt kullanımını %50 oranında düşürmüştür (UNEP, 2022).

- d) Hibrit Sistemler:** Birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının bir arada kullanıldığı hibrit sistemler, enerji güvenliğini artırabilmektedir.

Örnek: Kanada’da bir altın madeni, güneş ve rüzgar enerjisini birleştirerek enerji maliyetlerini %20 düşürmüştür (World Bank, 2021).

### 3.5. Biyolojik Çeşitliliğin Korunması

Madencilik faaliyetleri, doğal ekosistemler ve biyolojik çeşitlilik üzerinde büyük bir baskı oluşturabilir. Yeşil madencilik, bu etkileri minimize etmeyi ve doğal yaşam alanlarının korunmasını sağlamayı hedefler. Sürdürülebilir uygulamalar, yalnızca çevreyi değil, aynı zamanda yerel toplulukların refahını da desteklemektedir.

#### 3.5.1. Madencilik Faaliyetlerinin Biyolojik Çeşitliliğe Etkileri

Yüzey madenciliği faaliyetleri, sulak alanlar, ormanlar ve diğer doğal alanlarda tahribat yapabilmektedir. Bu da habitat kaybına neden olabilmektedir. Toprağın yapısını bozarak erozyona neden olabilmektedir. Kimyasal sızıntılar, su kaynaklarına ve tarım arazilerine etki ederek ekosistem üzerine toksik etkiler yapabilmektedir.

#### 3.5.2. Biyolojik Çeşitliliği Koruma Stratejisi

**a) Ön Etki Değerlendirmesi (EIA):** Maden projeleri başlamadan önce, biyolojik çeşitliliğe olan potansiyel etkiler analiz edilmeli ve azaltıcı önlemler alınmalıdır.

Örnek: Papua Yeni Gine’de bir altın madeni, EIA raporuna dayanarak, bölgedeki endemik kuş türleri için alternatif yaşam alanları oluşturmuştur (Conservation International, 2022).

**b) Rehabilitasyon ve Yeniden Ağaçlandırma:** Maden sahaları kapatıldıktan sonra, bu alanların doğal habitatlara dönüştürülmesi için rehabilitasyon projeleri yürütülmektedir.

Örnek: Avustralya'daki bir kömür madeni, 2.000 hektarlık alanı yeniden ağaçlandırmış ve bölgedeki yerel flora ve faunayı eski haline getirmiştir (WWF, 2021).

**c) Koruma Alanlarının Belirlenmesi:** Kritik öneme sahip ekosistemler, madencilik faaliyetlerinden tamamen muaf tutulmalıdır.

Örnek: Güney Afrika'da bir platin madeni, çevresindeki sulak alanları koruma altına almış ve madencilik faaliyetlerini bu alanlardan uzak tutmuştur (IUCN, 2023).

**d) Ekolojik Restorasyon Programları:** Madencilik sırasında bozulan alanların eski haline getirilmesi için özel restorasyon programları uygulanmaktadır.

Örnek: Brezilya'daki bir demir madeni, Amazon ormanlarında bozulan alanları restore ederek 150'den fazla bitki ve hayvan türünün geri kazanılmasını sağlamıştır (Nature Conservancy, 2021).

**e) Topluluk Katılımı Ve İş Birlikleri:** Yerel halk ve çevre koruma kuruluşlarıyla iş birliği yapılması, biyolojik çeşitliliği koruma çabalarını güçlendirebilir.

Örnek: Kanada'daki bir nikel madeni, yerel First Nations topluluğuyla birlikte ekolojik koruma programları geliştirmiştir (Mining and Biodiversity Alliance, 2022).

### **3.5.3. Teknolojinin Biyolojik Çeşitliliği Korumasındaki Rolü**

Uzaktan algılama, uydu görüntüleme ve drone teknolojisi madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerini izlemek, bu etkileri belirlemek ve rehabilitasyon süreçlerini takip etmek için kullanılmaktadır.

Örnek: Endonezya'da bir boksit madeni, uydu teknolojisiyle çevresel etkileri izleyerek ormansızlaşmayı %30 azaltmıştır (NASA Earth Observatory, 2020). Hindistan'daki bir kömür madeni, drone'lar aracılığıyla yeniden ağaçlandırma çalışmalarını denetlemiştir (UNEP, 2022).

## 4. YEŞİL MADENCİLİK TEKNOLOJİLERİ

Yeşil madencilik teknolojileri, madencilik sektöründe çevresel etkilerin azaltılması, operasyonel verimliliğin artırılması ve sürdürülebilir kalkınmanın teşvik edilmesi amacıyla geliştirilen yenilikçi yöntemleri içermektedir. Bu teknolojiler, madenciliğin hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliğini desteklemektedir.

### 4.1. Yenilikçi Madencilik Teknikleri

Madencilik tekniklerinin yenilikçi yaklaşımlarla geliştirilmesi, çevresel etkileri azaltırken verimliliği artırmaktadır.

#### 4.1.1. İn Situ Madencilik

İn situ madencilik, cevherin yerinde işlenmesi ve çıkarılması yöntemidir. Bu teknik, yüzey kazılarını minimize ederek çevresel bozulmayı azaltmaktadır.

Örnek: ABD’de bir uranyum madeni, in situ lixiviation yöntemi ile çevresel etkileri %70 oranında azaltmıştır (World Resources Institute, 2023).

#### 4.1.2. Blok Kazı (Block Caving)

Blok kazı yöntemi, büyük hacimli cevherlerin yeraltından ekonomik ve çevre dostu bir şekilde çıkarılmasını sağlamaktadır.

Örnek: Şili’deki El Teniente bakır madeni, bu yöntemle enerji tüketimini %25 oranında düşürmüştür (Mining Technology, 2022).

### 4.2. Otomasyon ve Dijitalleşme

Madencilikte otomasyon ve dijitalleşme, operasyonel verimliliği artırırken çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

#### 4.2.1. Otonom Maden Araçları

Otonom araçlar, operasyonel maliyetleri azaltırken iş güvenliğini artırır ve çevresel etkileri sınırlandırmaktadır.

Örnek: Rio Tinto, Pilbara demir cevheri sahasında otonom kamyonlarla maliyetleri %15 düşürmüş, iş kazalarını %40 oranında azaltmıştır (IEA, 2022).

#### **4.2.2. Dijital İkiz Teknolojisi**

Dijital ikiz teknolojisi, maden sahalarının sanal bir kopyasını oluşturarak operasyonların optimize edilmesini sağlamaktadır.

Örnek: Anglo American, dijital ikiz kullanarak çevresel etkileri %20 azaltmıştır (UNEP, 2022).

#### **4.2.3. Yapay Zeka ve Büyük Veri Analitiği**

Yapay zeka, süreçleri optimize etmek, büyük veri analitiği ise enerji tüketimini azaltmak için kullanılmaktadır.

Örnek: Kanada'da bir altın madeni, yapay zeka destekli analizlerle enerji verimliliğini %18 artırmıştır (World Bank, 2021).

### **4.3. Çevre Dostu Patlatma ve Kazı Yöntemleri**

Çevre dostu patlatma ve kazı yöntemleri, çevresel etkilerin minimize edilmesi için geliştirilmektedir.

#### **4.3.1. Düşük Emisyonlu Patlayıcılar**

Düşük emisyonlu patlayıcılar, sera gazı salınımını ve toz emisyonlarını azaltmaktadır.

Örnek: Güney Afrika'da bir platin madeni, bu patlayıcılarla sera gazı emisyonlarını %30 oranında azaltmıştır (IUCN, 2023).

#### **4.3.2. Hassas Kazı Teknikleri**

Hassas kazı yöntemleri, toprak ve su kaynaklarının korunmasını hedefler.

Örnek: Hindistan'daki bir kömür madeni, su koruma sistemleriyle yeraltı su seviyesini %15 artırmıştır (Nature Conservancy, 2021).

### **4.4. Karbon Yakalama ve Depolama Teknolojileri (CCS)**

Karbon yakalama ve depolama teknolojileri, madencilikten kaynaklanan karbon emisyonlarını azaltmak için uygulanmaktadır.

#### **4.4.1. Karbon Yakalama Sistemleri**

Karbon yakalama teknolojileri, madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan karbondioksiti atmosfere salınmadan önce toplama işlemidir.

Örnek: Avustralya'da bir kömür madeni, CCS teknolojisi ile yıllık karbon emisyonlarını 1 milyon ton azaltmıştır (UNEP, 2022).

#### **4.4.2. Karbon Depolama**

Toplanan karbon, yeraltındaki jeolojik formasyonlara depolanır.

Örnek: Norveç'teki bir demir madeni, karbon depolama projeleriyle karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltmıştır (World Resources Institute, 2023).

#### **4.4.3. Doğal Yöntemlerle Karbon Yakalama**

Biyolojik yöntemlerle karbon yakalama, yeniden ağaçlandırma ve toprak yönetimini içerir.

Örnek: Brezilya'daki bir boksit madeni, yeniden ağaçlandırma projeleriyle yıllık 50.000 ton karbonu nötralize etmiştir (WWF, 2021).

## 5. SOSYAL SORUMLULUK VE TOPLULUK İLİŞKİLERİ

Madencilik sektöründe sosyal sorumluluk ve topluluklarla ilişkilerin güçlendirilmesi, sürdürülebilirliğin temel taşlarından biridir. Yeşil madencilik uygulamaları, toplulukların refahını artırmayı, paydaş katılımını güçlendirmeyi ve yerel ekonomilere olumlu katkı sağlamayı hedefler. Bu başlık altında, sosyal sorumluluk çerçevesinde geliştirilen yaklaşımlar ve uygulamalar ele alınacaktır.

### 5.1. Yerel Toplulukların Ekonomik Desteklenmesi

Madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bölgelerde yerel toplumların ekonomik olarak desteklenmesi, toplumsal kabulü artırmak için kritik öneme sahiptir. Şirketlerin yerel istihdam yaratması, eğitim ve mesleki gelişim programları sunması, bölgesel kalkınmayı doğrudan destekler.

Örnek: Peru'da bir altın madeni işletmesi, yerel halkın ekonomik kalkınmasını desteklemek için eğitim ve girişimcilik programları düzenlemiş, kadınların iş gücüne katılımını %30 oranında artırmıştır (UNDP, 2022).

### 5.2. Topluluklarla Şeffaf ve Etkili İletişim

Toplumla şeffaf bir iletişim kurmak ve karar alma süreçlerine paydaş katılımını sağlamak, sosyal sürdürülebilirliğin vazgeçilmez bir unsurudur. Şirketlerin düzenli bilgilendirme toplantıları yapması ve geri bildirim mekanizmaları kurması, toplumsal güven inşasında önemli bir rol oynar.

Örnek: Kanada'da faaliyet gösteren bir madencilik şirketi, düzenli topluluk diyalogları ile projelerinin çevresel ve toplumsal etkilerini paylaşarak yerel halkın projeleri kabul oranını %80'e çıkarmıştır (World Bank, 2023).

### 5.3. Eğitim ve Kapasite Geliştirme Programları

Yerel halkın eğitim düzeyini artırmak, madencilik bölgelerindeki toplumsal kalkınmanın önemli bir parçasıdır. Şirketlerin sunduğu mesleki eğitimler, yerel halkın iş gücü piyasasına erişimini kolaylaştırır ve gelir eşitsizliğini azaltır.

Örnek: Güney Afrika'da bir maden şirketi, madencilik teknolojilerine yönelik eğitim programları başlatmış ve 5 yıl içinde yerel halkın %45'ini maden mühendisliği ve teknik işlere kazandırmıştır (ILO, 2021).

#### **5.4. Kültürel Mirasın ve Geleneklerin Korunması**

Madencilik faaliyetleri sırasında yerel toplulukların kültürel mirasının ve geleneklerinin korunması, sosyal sorumluluk çerçevesinde değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur. Bu çerçevede, maden şirketlerinin yerel halkın yaşam tarzına uyum sağlaması ve kültürel hassasiyetleri gözetmesi gerekmektedir.

Örnek: Avustralya'da bir demir madeni işletmesi, Aborjin topluluklarıyla ortak çalışarak kutsal alanların korunmasını sağlamış ve yerel halkla uzun vadeli bir iş birliği modeli geliştirmiştir (Johnson & Smith, 2020).

#### **5.5. Toplumsal Cinsiyet Eşitliği ve Kadınların Güçlendirilmesi**

Madencilik sektöründe kadınların iş gücüne katılımını artırmak ve toplumsal cinsiyet eşitliğini sağlamak, şirketlerin sosyal sorumluluk hedefleri arasında yer almalıdır. Kadın çalışanlara yönelik teşvik politikaları, sektördeki cinsiyet dengesizliğini azaltmaya katkı sağlar.

Örnek: Hindistan'da bir kömür madeni, kadın mühendis ve teknisyenler için özel programlar geliştirerek kadın çalışan oranını %10'dan %25'e yükseltmiştir (UN Women, 2022).

#### **5.6. Sağlık ve Sosyal Hizmetlerin Desteklenmesi**

Madencilik faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerde yerel topluluklara sağlık hizmetlerinin sunulması, yaşam kalitesini artırır ve sosyal uyumu güçlendirir. Şirketler, sosyal hizmet projeleri ile bu alandaki eksiklikleri gidermeyi hedeflemelidir.

Örnek: Zambiya'da bir bakır madeni işletmesi, çevredeki köylerde sağlık klinikleri inşa ederek çocuk ölümlerinde %15 oranında azalma sağlamıştır (WHO, 2021).

## İKİNCİ BÖLÜM

### 6. YEŞİL MADENCİLİK: SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK UYGULAMALARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Yeşil madencilik, doğal kaynakların çevresel etkilerini en aza indirerek sürdürülebilirlik ilkelerine dayanan bir yaklaşımdır. Bu uygulamalar, doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını, çevresel zararların azaltılmasını ve sosyal sorumlulukların yerine getirilmesini hedefler. Yeşil madencilik kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atık yönetimi, karbon salınımını azaltıcı teknolojilerin geliştirilmesi ve rehabilitasyon süreçlerinin etkin bir şekilde uygulanması gibi yöntemler ön plana çıkar. Gelecekte, teknolojik gelişmelerin desteğiyle daha çevre dostu madencilik yöntemlerinin yaygınlaşması beklenmektedir. Ayrıca, döngüsel ekonomi ilkeleri doğrultusunda maden atıklarının yeniden kullanımı, endüstrinin sürdürülebilir bir şekilde büyümesine katkı sağlayacaktır. Bu perspektifler, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu bölümde örnek olaylarla yeşil madencilik uygulamaları anlatılmıştır.

#### 6.1. Örnek Olay: Hekimhan Madencilik A.Ş. Çevresel Ve Sosyal Yönetim Planı (ÇSYP)

Hekimhan Madencilik, Türkiye'nin madencilik sektöründe sürdürülebilirlik ilkesini benimseyen öncü projelerden biri olan Çevresel ve Sosyal Yönetim Planı (ÇSYP) ile çevresel etkilerin yönetimi, toplumsal katılım ve sosyal sorumluluk projelerinde yenilikçi uygulamalara imza atmıştır. Proje, ulusal ÇED gereklilikleri ve IFC Performans Standartları doğrultusunda geliştirilmiş olup, uluslararası en iyi uygulamalara örnek teşkil etmektedir (Hekimhan Madencilik, 2023).

##### 6.1.1. Çevresel Yönetim Ve Kaynakların Korunması

Projenin çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla yenilikçi ve sistematik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu kapsamda:

##### a) Su Yönetimi:

- Şirket, proses suyu ihtiyacını karşılamak için bölgede yeni su kuyuları açmış ve yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için özel optimizasyon sistemleri kurmuştur. Bu sistemler, su tüketimini %20 oranında azaltmıştır.
- Atık sular, arıtma sistemlerinden geçirilerek yeniden kullanıma kazandırılmış, böylece su döngüsü etkin şekilde yönetilmiştir.

- Yerel köylerin su ihtiyaçlarını desteklemek amacıyla bölgeye ek su depoları sağlanmıştır.

#### **b) Hava Kalitesinin Korunması:**

- Toz emisyonlarını azaltmak için yollara düzenli sulama yapılmış, ayrıca emisyon kaynaklarına filtreleme sistemleri eklenmiştir.
- Gürültü kontrolü için maden sahası çevresine çevresel bariyerler ve ağaçlandırma projeleri gerçekleştirilmiştir.

#### **c) Atık Yönetimi ve İzleme Sistemleri:**

- Atık depolama alanlarında geçirimsiz zemin kaplamaları kullanılmış ve düzenli olarak sızıntı testleri yapılmaktadır.
- Atıkların yeniden kullanımı kapsamında bölgedeki yol yapımı projelerinde maden atıkları dolgu malzemesi olarak değerlendirilmiştir.

### **6.1.2. Toplum Katılımı Ve Sosyal Sorumluluk Projeleri**

Projenin temel odak noktalarından biri, yerel halkın refahını artırmak ve madencilik faaliyetlerinin toplumsal etkilerini olumlu yönde dönüştürmektir. Bu kapsamda:

#### **a) Paydaş Katılımı ve Şikayet Mekanizmaları:**

- Proje, tüm paydaşları kapsayan bir katılım süreci ile yerel halkın projeye aktif olarak dahil olmasını sağlamıştır. Şikayet mekanizmaları, toplumun endişelerinin ve önerilerinin dikkate alınmasını kolaylaştırmış, bu da toplumsal kabul oranını artırmıştır.
- Örneğin, köy halkının su kaynakları ile ilgili dile getirdiği sorunlar üzerine kuyuların açılma süreçleri hızlandırılmıştır.

#### **b) Hassas Gruplara Destek Programları:**

- Proje, kadınlar ve gençler gibi dezavantajlı gruplar için eğitim programları düzenlemiştir. Bu eğitimler arasında mesleki beceri kazandırma ve girişimcilik kursları bulunmaktadır.
- Kadınların ekonomik hayata katılımını desteklemek için yerel kooperatiflerle iş birliği yapılmış, böylece kadın girişimciler için yeni pazar imkanları yaratılmıştır.

### c) Yerel Ekonominin Desteklenmesi:

- Proje kapsamında yerel iş gücüne öncelik verilmiş ve 300'den fazla yerel halk üyesine istihdam sağlanmıştır.
- Yerel üreticilerden tedarik süreçleri artırılarak, bölge ekonomisinin güçlenmesine katkıda bulunulmuştur.

### 6.1.3. Çalışan Sağlığı ve Güvenliği

Proje boyunca sürdürülebilirliği sağlamak için düzenli izleme ve raporlama süreçleri uygulanmaktadır:

**a) Çevresel İzleme:** Hava ve su kalitesi, bağımsız uzmanlar tarafından düzenli olarak ölçülmektedir. Özellikle toz ve gürültü seviyesi gibi kritik göstergeler, yerel toplulukların sağlığı ve refahı açısından sürekli takip edilmektedir.

**b) Toplumsal İzleme:** Yerel halkın memnuniyet düzeyi, şikayet mekanizmalarından gelen geri bildirimlerle ölçülmekte ve gerektiğinde hızlı çözüm süreçleri devreye alınmaktadır.

Hekimhan Madencilik, Çevresel ve Sosyal Yönetim Planı (ÇSYP) ile çevresel etkileri azaltmaya ve toplumsal faydayı artırmaya yönelik kapsamlı bir yaklaşım benimsemiştir. Proje, uluslararası standartlara uygunluğu, yerel halkla kurduğu güçlü bağlar ve yenilikçi çevresel uygulamalarıyla sektörde örnek bir model teşkil etmektedir.

## 6.2. Örnek Olay: Çin'de Nadir Toprak Elementleri Madenciliği

2010 yılına kadar, Çin'deki madencilik tesisleri – özellikle nadir toprak elementleri (REE) için – çevresel farkındalık ve verimlilik açısından neredeyse tamamen denetimsizdi. Yıllarca süren gevşek düzenlemeler ve izinsiz, yasa dışı madencilik faaliyetlerine yönelik disiplin eksikliği, çevresel yıkım ve halk protestolarına yol açtı. Bunun üzerine Çin hükümeti, hem kamu baskısı hem de kendi ekonomik çıkarları doğrultusunda, çevre dostu madencilik adına yeni politika önlemleri getirdi. Bu reformlar, Nadir Toprak Endüstriyel Kalkınma Politikası kapsamında kodlandı (Schuler, Buchert, Liu, Dittrich & Merz, 2011).

### 6.2.1. Alınan Önlemler

Çin hükümeti, yasa dışı ve çevreye zarar veren madencilik faaliyetlerini engellemek adına şu önlemleri hayata geçirmiştir:

- Yeni Ruhsatların Verilmemesi (2009-2015): Bu süre zarfında nadir toprak elementleri için yeni madencilik lisansı verilmemiştir.
- Yasa Dışı Madenlerin Kapatılması: Verimsiz ayrıştırma ve ergitme işletmelerinin kapatılması için girişimler hızlandırılmıştır.
- Sanayi İzleme: Madencilik endüstrisinin denetimi, Çin Sanayi ve Bilgi Teknolojileri Bakanlığı tarafından artırılmıştır.
- Enerji Verimliliği Şartları: Üretilen nadir toprak elementleri başına belirli enerji talep standartları ve verimli enerji tedariki şartları getirilmiştir.
- Geri Dönüşüm Oranları: Maden atık suyu geri dönüşüm oranları, karma nadir toprak elementleri mineralleri için %85, bastnezit ve iyon adsorpsiyon birikintileri için %90 olarak belirlenmiştir.
- Yüksek Radyasyonlu Cevherlerin Yasaklanması: Yüksek radyoaktif içeriğe sahip monazit madenciliği yasaklanmış, bastnezit gibi mineraller için toksik atıkları tamamen arıtabilecek sistemler zorunlu hale getirilmiştir.

### **6.2.2. İleri Teknolojiler ve Rehabilitasyon**

- In-Situ Madencilik: Fiziksel olarak uygulanabilir durumlarda, bu madencilik yöntemi yeni madenlerde zorunlu hale getirilmiştir.
- Atıkların Ayrıştırılması: Flor içeren katı atıkların diğer atıklarla karıştırılması yasaklanmıştır, böylece geri dönüştürülebilir atıkların kirlenmesi önlenmiştir.
- Vejetasyon Rehabilitasyonu: Madencilik yapılan alanların çevresindeki bitki örtüsünün rehabilite edilmesi, çevre değişikliklerinin en aza indirilmesi ve toplulukların yaşanabilirliğini artırmak için zorunlu hale getirilmiştir.

### **6.2.3. Sonuçlar ve Hedefler**

Bu önlemlerin çoğu henüz tamamen uygulanmamış olsa da, Çin hükümeti 2020 yılına kadar tüm düzenlemelerin yürürlüğe girmesi için bir yol haritası oluşturmuştur. Bu süreçte, ülkenin 23 madeninden üçte birinin kapatılması planlanmıştır (Volgt, 2012). Ayrıca, yeni sızıntı önleyici teknolojiler, atık su geri dönüşümü ve flor/toriyum geri kazanımı gibi araştırmalara finansman sağlanmıştır. Bu politika reformlarının tam anlamıyla uygulanması durumunda, Çin'in madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan atık miktarını büyük ölçüde azaltacağı öngörülmektedir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### 7. YEŞİL MADENCİLİK GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Yeşil madencilik, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için çevresel etkileri minimize ederken, aynı zamanda ekonomik ve toplumsal kalkınmayı destekleyen yenilikçi teknolojiler ve stratejiler kullanmaktadır. Bu bağlamda, yeşil madencilik sektörü, madenciliğin geleceğinde çevresel sürdürülebilirliği artırmak amacıyla büyük bir dönüşüm potansiyeline sahiptir. Gelişen teknolojiler ve politikalar hem kaynak verimliliğini artırmayı hem de çevreyi korumayı hedeflemektedir. Bu süreçte, özellikle atık yönetimi, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi başlıklar önemli bir yer tutmaktadır (UNEP, 2022; Schuler et al., 2011).

#### 7.1. Gelecekte Beklenen Eğilimler

Yeşil madencilikteki gelecekteki trendler, sektördeki çevresel etkileri azaltmaya yönelik önemli yenilikleri içermektedir. Teknolojik gelişmeler, otonom araçlar, dijitalleşme ve yapay zeka gibi yenilikçi çözümleri kapsarken, aynı zamanda madencilik süreçlerinde daha düşük enerji tüketimi ve karbon emisyonları hedeflenmektedir (IEA, 2022; UNEP, 2022). Ayrıca, madencilikte döngüsel ekonomi ve atık geri kazanımı ön plana çıkacak ve bu da daha sürdürülebilir bir kaynak yönetimi sağlayacaktır (Schuler et al., 2011).

##### 7.1.1. Otomasyon ve Dijitalleşme

Otonom araçlar, yapay zeka tabanlı veri analitiği ve dijital ikiz teknolojisi, maden operasyonlarında verimliliği artırmak için kullanılmaya devam edecektir. Bu sistemler, enerji tüketimini ve çevresel etkileri en aza indirirken iş kazalarını da azaltmaktadır.

##### 7.1.2. Döngüsel Ekonomi ve Geri Dönüşüm

Atık yönetiminde döngüsel ekonomi yaklaşımları, madenlerden çıkan atıkların yeniden işlenmesini ve değerli metallerin geri kazanılmasını sağlayacaktır. Bu, yeni maden sahalarının açılmasını azaltabilir.

##### 7.1.3. Sıfır Karbon Emisyonu Hedefleri

Madencilik şirketleri, yenilenebilir enerji kaynakları ve karbon yakalama teknolojileri kullanarak sıfır karbon hedeflerine ulaşmayı amaçlamaktadır.

#### **7.1.4. Su Yönetimi ve Yenilikçi Çözümler**

Su kıtlığı, yeşil madencilikte kritik bir sorun olmaya devam edecektir. Tuzdan arındırma ve su geri dönüşüm teknolojileri, maden sahalarının su tüketimini azaltmak için ön planda olacaktır.

#### **7.2. Araştırma ve Geliştirme Alanları (Ar-Ge)**

Yeşil madencilik, sürdürülebilir ve çevre dostu madencilik uygulamaları yaratmayı hedeflemektedir. Bu alanlar, çevresel etkileri azaltırken verimliliği artıracak inovatif çözümler üretmeyi amaçlar (Schuler ve diğerleri., 2011; UNEP, 2022).

##### **7.2.1. Yeni Madencilik Teknikleri**

###### **a) İn-Situ Madencilik:**

İn-situ madencilik, cevherin yerinde çözündürülmesi yoluyla çıkarılması yöntemidir. Bu süreç, geleneksel madencilik yöntemlerine göre çok daha az çevresel etkiye sahiptir çünkü büyük ölçekli yüzey kazıları yapılmaz ve su tüketimi daha düşüktür (IEA, 2022). Bu teknoloji, özellikle su kıtlığı çeken bölgelerde daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

###### **b) Biyomadencilik (Bioleaching):**

Biyomadencilik, mikroorganizmalar kullanarak minerallerin çıkarılması sürecidir. Bu yöntem, kimyasal maddelerin kullanılmasının önüne geçer ve bu sayede çevresel etkileri minimize eder. Ayrıca, düşük enerji gereksinimleri ve daha az toksik atık üretimi gibi avantajlar sunar (UNEP, 2022). Bu süreç, geleneksel madencilik yöntemlerine göre çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük bir fırsat sunmaktadır.

##### **7.2.2. Atık Yönetimi ve Mineral Geri Kazanımı**

###### **a) Tailings (Cevher Artıkları) Yönetimi:**

Cevher işleme süreçlerinden geriye kalan atıkların geri kazanımı, yeşil madencilikte çevre dostu bir uygulamadır. Özellikle değerli metallerin yeniden çıkarılması, doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar. Geri kazanılan metaller, yeni maden sahalarının açılmasını engeller ve doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur (Schuler et al., 2011). Atıkların geri kazanılması, madencilik sektöründe çevresel baskıları hafifletmenin ana yollarından biridir.

## **b) Atık Su Geri Dönüşümü:**

Maden endüstrisinde su kullanımı büyük bir çevresel sorun teşkil etmektedir. Yenilikçi su geri dönüşüm sistemleri, atık suların yeniden işlenmesi ve yeniden kullanılması için önemli bir çözüm sunar. Bu, su kaynaklarının korunmasına ve su kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olur (IEA, 2022). Bu teknolojiler, su kaynaklarının etkin kullanımını sağlarken, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerini en aza indirir.

### **7.2.3. Yenilenebilir Enerji Uygulamaları ve Karbon Azaltma**

#### **a) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegrasyonu:**

Geleneksel madencilik enerji gereksinimleri genellikle fosil yakıtlara dayanmaktadır. Ancak, gelecekte yeşil madencilik, güneş, rüzgar ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla operasyonel enerji ihtiyacını karşılamayı hedeflemektedir. Bu değişim, sektörün karbon ayak izini azaltma yönünde önemli bir adım olacaktır (UNEP, 2022). Yenilenebilir enerji kaynaklarının madencilik süreçlerine entegrasyonu, hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamaktadır.

#### **b) Karbon Yakalama ve Depolama Teknolojileri (CCS):**

Karbon emisyonlarının azaltılması, madencilik sektöründe ciddi bir zorluktur. CCS teknolojileri, madencilik süreçlerinden çıkan karbondioksiti yakalayıp depolama alanlarına göndermeyi amaçlamaktadır. Bu teknolojiler, büyük maden sahalarındaki karbon emisyonlarını azaltarak çevre dostu bir madencilik pratiği oluşturur (IEA, 2022). Karbon yakalama teknolojileri, madencilik sektörünün çevresel etkilerinin azaltılmasında kilit bir rol oynamaktadır.

### **7.2.4. Sürdürülebilir Madencilik Politikaları**

#### **a) Döngüsel Ekonomi ve Geri Dönüşüm:**

Döngüsel ekonomi prensipleri, atıkların yeniden kullanımı ve geri dönüştürülmesi üzerine kuruludur. Bu alandaki araştırmalar, maden atıklarının geri kazanılmasını ve değerli minerallerin tekrar kullanılmasını hedefler. Bu yöntem, doğal kaynakların tükenmesini engellemenin yanı sıra çevresel zararı da en aza indirir (UNEP, 2022). Döngüsel ekonomi, madencilik sektörünün sürdürülebilirliğine önemli katkılarda bulunmaktadır.

## **b) Sosyal Sorumluluk ve Topluluk Katılımı:**

Yeşil madencilik politikaları, yerel halkın haklarına saygı göstermek ve toplumsal kabul sağlamak için sosyal sorumluluk projeleri geliştirmektedir. Bu projeler, madenlerin faaliyet gösterdiği bölgelerde sosyal etkiyi minimize eder ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eder (Schuler et al., 2011). Yerel topluluklarla güçlü ilişkiler kurmak, yeşil madenciliğin başarısı için kritik bir faktördür.

### **7.3. Stratejik Yol Haritası**

Yeşil madenciliğin geleceği, teknolojik yenilikler, sürdürülebilirlik hedefleri ve toplumsal sorumluluk anlayışı doğrultusunda şekillenecektir. Bu hedefler, madencilik sektörünün daha çevre dostu ve sürdürülebilir bir hale gelmesi için kritik öneme sahiptir. Stratejik yol haritası, kısa, orta ve uzun vadeli hedefler doğrultusunda geliştirilmiş olup, her aşama için belirli adımlar ve iş birliği süreçleri içermelidir (IEA, 2022; UNEP, 2022).

#### **7.3.1. Kısa Vadeli Hedefler (1-5 Yıl)**

##### **a) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegrasyonu:**

Madencilik süreçlerine yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, sektörün karbon ayak izinin azaltılmasında kritik bir adımdır. Bu alanda, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi düşük karbonlu enerji kaynaklarının kullanımı giderek yaygınlaşacaktır. Bu geçiş, enerjinin daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır (IEA, 2022).

##### **b) Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Sistemlerinin İyileştirilmesi:**

Atıkların yönetimi ve geri dönüşümü, yeşil madenciliğin önemli bir parçasıdır. Kısa vadeli hedefler arasında, madencilik endüstrisinde atık su geri dönüşüm oranlarının artırılması, mineral geri kazanımı süreçlerinin iyileştirilmesi yer almaktadır (UNEP, 2022).

#### **7.3.2. Orta Vadeli Hedefler (5-10 Yıl)**

##### **a) Karbon Emisyonlarının Azaltılması:**

Yeşil madenciliğin orta vadeli hedeflerinden biri, karbon emisyonlarının daha fazla azaltılmasıdır. Karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerinin daha yaygın hale gelmesi, bu hedefin gerçekleştirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır. CCS, madenlerden çıkan karbondioksiti yakalayarak yer altına depolar ve böylece atmosfere salınımını engeller (IEA, 2022; Schuler ve diğerleri, 2011).

### **b) In-Situ Madencilik ve Biyomadencilik Tekniklerinin Yaygınlaştırılması:**

Yeni madencilik tekniklerinin yaygınlaşması, çevresel etkilerin en aza indirilmesini sağlayacaktır. In-situ madencilik ve biyomadencilik gibi teknolojiler, geleneksel yöntemlere göre daha çevre dostudur ve düşük enerji ile daha az kimyasal kullanımı sağlar (Schuler ve diğerleri, 2011). Bu yenilikçi tekniklerin yaygınlaştırılması, yeşil madencilığe önemli bir katkı sağlayacaktır.

### **7.3.3. Uzun Vadeli Hedefler (10-20 Yıl)**

#### **a) Döngüsel Ekonomi ve Kaynak Verimliliği:**

Uzun vadeli hedeflerden biri, döngüsel ekonominin tamamen entegre edilmesidir. Madencilikte atıkların yeniden kullanımı ve geri dönüştürülmesi, doğal kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanıyacaktır. Ayrıca, madencilik atıklarının geri kazanılması, yeni maden sahalarının açılmasını engeller ve çevresel zararları azaltır (UNEP, 2022).

#### **b) Sıfır Karbon Madencilik:**

Yeşil madencilığın uzun vadeli hedefi, sıfır karbon emisyonuna ulaşmaktır. Bu, tüm operasyonel süreçlerin yenilenebilir enerji ile çalıştığı, karbon emisyonlarının tamamen ortadan kaldırıldığı bir madencilik pratiğini ifade eder. Bu hedefin gerçekleştirilmesi, madencilik sektörünün çevreye olan etkilerini önemli ölçüde azaltacaktır (IEA, 2022).

## SONUÇ

Yeşil madencilik, madencilik sektörünün çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik kapsamlı bir dönüşüm sürecidir. Bu çalışma, sektördeki çevresel etkilerin azaltılması, yenilikçi teknolojilerin uygulanması, enerji verimliliğinin artırılması ve paydaş katılımının güçlendirilmesi konularını ele alarak geleceğe dair somut çözümler sunmaktadır. Çevresel yönetim kapsamında, geri dönüşüm sistemlerinin iyileştirilmesi ve atık yönetimi süreçlerinin döngüsel ekonomi prensipleri doğrultusunda yeniden yapılandırılması, doğal kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanımaktadır. Özellikle in-situ madencilik ve biyomadencilik gibi yenilikçi yöntemler, geleneksel madencilik tekniklerine kıyasla su tüketimini ve arazi bozulmasını azaltarak çevresel baskıyı hafifletmektedir. Enerji verimliliği açısından bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, sektörün karbon emisyonlarını düşürmekte ve sıfır karbon hedeflerine ulaşmasını desteklemektedir. Karbon yakalama ve depolama teknolojileri (CCS) ise madencilik süreçlerinden kaynaklanan karbon salınımını kontrol altına alarak daha çevre dostu operasyonlar oluşturmayı mümkün kılmaktadır.

Toplumsal sorumluluk ve paydaş katılımı, madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini sağlamada kilit bir role sahiptir. Yerel halkın sürece dahil edilmesi, sosyal sorumluluk projelerinin geliştirilmesi ve istihdam yaratılması, toplumsal kabulün artırılmasını sağlarken, aynı zamanda madencilik faaliyetlerinin sosyal etkilerini minimize etmektedir. Özellikle eğitim programları, yerel toplulukların ekonomik kalkınmasını desteklemekte ve toplumsal cinsiyet eşitliğini teşvik etmektedir. Yeşil madencilikte araştırma ve geliştirme faaliyetleri ise, teknolojik yeniliklerin geliştirilmesi ve uygulanmasına odaklanarak sektörde verimliliği artırmaktadır. Atık su geri dönüşüm sistemleri, mineral geri kazanımı ve enerji verimli makineler üzerine yapılan Ar-Ge çalışmaları, çevresel etkileri azaltmakla birlikte ekonomik faydalar da sağlamaktadır.

Madencilik sektörünün geleceği, kısa, orta ve uzun vadeli hedeflerle şekillendirilen stratejik bir yol haritası çerçevesinde ilerlemelidir. Kısa vadede yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve atık yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesi, orta vadede karbon emisyonlarının azaltılması ve yeni madencilik tekniklerinin yaygınlaştırılması, uzun vadede ise döngüsel ekonominin tam anlamıyla benimsenmesi ve sıfır karbon hedeflerine ulaşılması gerekmektedir. Bu dönüşüm, yalnızca teknolojik yenilikler ve çevresel düzenlemelerle değil, aynı zamanda uluslararası iş birlikleri ve topluluk katılımı ile desteklenmelidir. Sektörün

çevreye duyarlı, ekonomik olarak verimli ve toplumsal fayda sağlayan bir yapıya kavuşması, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında kritik bir rol oynayacaktır. Bu doğrultuda, hükümetlerin düzenleyici çerçeveleri güçlendirmesi, şirketlerin inovasyona yatırım yapması ve toplulukların karar alma süreçlerine aktif olarak dahil edilmesi büyük önem taşımaktadır. Gelecekte yeşil madenciliğin tam anlamıyla uygulanması, doğal kaynakların korunmasını sağlarken, sektörde ekonomik sürdürülebilirliği ve toplumsal refahı artıracaktır.

## KAYNAKÇA

ACSMP, (2011), AusTrade, (2013).

Conservation International, (2022), *Biodiversity in Mining Projects: Global Case Studies*, <https://www.conservation.org> adresinden alındı

Hekimhan Madencilik, (2023), *Çevresel ve Sosyal Yönetim Planı (ÇSYP) Raporu*, Kurumsal Doküman.

International Energy Agency (IEA), (2022), *Digital Transformation in Mining Operations*, <https://www.iea.org/reports/digital-transformation-in-mining> adresinden alındı

International Energy Agency (IEA), (2022), *Energy Efficiency and Automation in Mining*, <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-in-mining> adresinden alındı

International Energy Agency (IEA), (2023), *Solar-Powered Mining Operations in Chile*, <https://www.iea.org/reports/solar-powered-mining> adresinden alındı

International Finance Corporation (IFC), (2012), *Performance Standards on Environmental and Social Sustainability*, <https://www.ifc.org> adresinden alındı

International Labour Organization (ILO), (2021), *Skills Development For Sustainable Mining Jobs*, <https://www.ilo.org> adresinden alındı

International Union for Conservation of Nature (IUCN), (2023), *Environmentally Friendly Blasting Methods*, <https://www.iucn.org> adresinden alındı

International Union for Conservation of Nature (IUCN), (2023), *Guidelines for Biodiversity Protection in Mining*, <https://www.iucn.org> adresinden alındı

Johnson, P., & Smith, R., (2020), *Cultural Heritage Management in Mining Projects*,

Johnson, R., (2019), The Role of Renewable Energy in Mining Operations, *Renewable Energy Perspectives*, 28(4), 12–20.

Kolçak, A., (2021), *Yeraltı Zenginliklerinin Değerlendirilmesi: Sürdürülebilir Madencilik Açısından Bir AHP Analizi*, İstanbul: İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Mining and Biodiversity Alliance, (2022), *Collaborative Conservation Initiatives*.

Mining Journal, (2021), *Innovative Renewable Energy Applications in Mining*, <https://www.mining-journal.com> adresinden alındı

Mining Technology, (2022), *AI Applications in Mining Operations*, <https://www.mining-technology.com/features/ai-in-mining> adresinden alındı

Mining Technology, (2022), *Block Caving and Underground Innovations*, <https://www.mining-technology.com> adresinden alındı

MIT Sustainability, (2023), *Mining for the Clean Energy Transition*. <https://sustainability.mit.edu> adresinden alındı

NASA Earth Observatory, (2020), *Monitoring Mining Impacts Using Satellite Technology*, <https://earthobservatory.nasa.gov> adresinden alındı

Nature Conservancy, (2021), *Amazon Restoration Programs and Mining*, <https://www.nature.org/en-us/> adresinden alındı

Nature Conservancy, (2021), *Soil and Water Conservation in Mining*. <https://www.nature.org/en-us/> adresinden alındı

Nurmi, P. A., (2017), *Green Mining: A Holistic Concept For Sustainable and Acceptable Mineral Production*, *Annals of Geophysics*, 60, (Fast Track 7).

Seyidoğlu, H., (1996), *Uluslararası İktisat Teori Politika ve Uygulama*, İstanbul: Güzem Yayınları.

Schuler, D., Buchert, M., Liu, R., Dittrich, S., & Merz, C., (2011), *Study on Rare Earths and Recycling*, Öko-Institute.

Smith, J., & Brown, K., (2020), *Sustainable Mining Practices: Challenges and Opportunities*. *Environmental Science Journal*, 34 (2), 45–67.

United Nations Development Programme (UNDP), (2022), *Community Engagement in Mining Regions*, UNDP Annual Report, <https://www.undp.org> adresinden alındı

United Nations Environment Programme (UNEP), (2022), *Environmental Impact of Mining and Strategies for Mitigation*, UNEP Report.

United Nations Environment Programme (UNEP), (2022), *Green Mining and Ecosystem Restoration*, UNEP Report, <https://www.unep.org> adresinden alındı

United Nations Environment Programme (UNEP), (2022), *Green Technologies for Sustainable Mining*, UNEP Report, <https://www.unep.org> adresinden alındı

United Nations Environment Programme (UNEP), (2022), *Renewable Energy in The Mining Sector: Opportunities and Challenges*, <https://www.unep.org/resources/report/renewable-energy-mining> adresinden alındı

United Nations Environment Programme (UNEP), (2022), *Sustainable Mining and Community Development*, UNEP Report, <https://www.unep.org> adresinden alındı

United Nations Environment Programme (UNEP), (2022), *Sustainable Mining and Resource Efficiency*, UNEP Report, <https://www.unep.org> adresinden alındı

UN Women, (2022), *Gender Equality in Extractive Industries*, <https://www.unwomen.org> adresinden alındı

Volgt, J., (2012), *Rare earth mining policies in China*, Study Report.

World Bank, (2021), *Green Mining: Policy and Practice for Sustainable Development*, D.C.: World Bank Publications, Washington.

World Bank, (2021), *Sustainable Energy Transitions for Mining Operations*.

World Bank, (2023), *Transparency and Public Trust in Mining*, <https://openknowledge.worldbank.org> adresinden alındı

World Health Organization (WHO), (2021), *Health Interventions in Mining Communities*, <https://www.who.int> adresinden alındı

World Resources Institute, (2023), *Innovations in Mining Technologies*, <https://www.wri.org> adresinden alındı

World Wide Fund for Nature (WWF), (2021), *Carbon Neutral Mining Projects*, <https://wwf.panda.org> adresinden alındı

World Wide Fund for Nature (WWF), (2021), *Reforestation and Mining Rehabilitation Projects*, <https://wwf.panda.org> adresinden alındı

**ÖZET**  
**YEŞİL MADENCİLİK: SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK**  
**UYGULAMALARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ**

Bu rapor, yeşil madencilik uygulamalarının çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarını ele alarak sürdürülebilir madencilik sektörüne yönelik bir çerçeve sunmaktadır. Yeşil madencilik, doğal kaynak yönetimi, atık geri dönüşümü, enerji verimliliği ve karbon emisyonlarının azaltılması gibi temel hedefler doğrultusunda şekillenen yenilikçi bir yaklaşımdır. Çalışma kapsamında, çevresel etkilerin kontrol altına alınması için in-situ madencilik, biyomadencilik ve dögüsel ekonomi gibi yenilikçi yöntemlerin önemi vurgulanmıştır.

Enerji verimliliği bağlamında, yenilenebilir enerji kaynakları (güneş ve rüzgar) kullanımı ve karbon yakalama ve depolama teknolojileri (CCS), sektörün karbon ayak izi azaltımında kritik çözümler sunmaktadır. Atık yönetimi alanında, atık su geri dönüşümü ve cevher atıklarının değerlendirilmesi, doğal kaynakların korunmasına ve madencilikten kaynaklı çevresel kirliliğin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Sosyal boyutta, paydaş katılımı ve sosyal sorumluluk projeleri, yerel halkın ekonomik kalkınması, istihdam yaratılması ve toplumsal cinsiyet eşitliği gibi unsurlar üzerinde durulmuştur. Çin'deki nadir toprak elementleri madenciliği örneğinde olduğu gibi, çevresel düzenlemeler ve topluluk katılımı, yasa dışı faaliyetlerin önlenmesi ve sosyal etkilerin azaltılması açısından önemli bir model oluşturmaktadır.

Son olarak, yeşil madenciliğin geleceği için stratejik bir yol haritası önerilmiştir. Kısa vadede yenilenebilir enerji entegrasyonu ve atık yönetiminin iyileştirilmesi, orta vadede karbon emisyonlarının azaltılması ve çevre dostu madencilik tekniklerinin yaygınlaştırılması, uzun vadede ise sıfır karbon hedefleri doğrultusunda dögüsel ekonominin benimsenmesi planlanmaktadır. Bu dönüşüm, teknolojik yenilikler, güçlü politikalar ve toplum katılımı ile desteklendiğinde, madencilik sektörünün sürdürülebilirliğini güvence altına alarak doğal kaynakların korunmasına ve toplumsal refahın artırılmasına katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Yeşil madencilik, sürdürülebilir madencilik, , çevresel sürdürülebilirlik, sosyal sorumluluk, paydaş katılımı, toplumsal cinsiyet eşitliği, yenilenebilir enerji, karbon yakalama ve depolama (CCS), dögüsel ekonomi, karbon ayak izi, stratejik yol haritası, sıfır karbon hedefleri.

**ABSTRACT**  
**GREEN MINING: SUSTAINABLE MINING PRACTICES AND FUTURE PERSPECTIVES**

This report examines the environmental, economic, and social dimensions of green mining practices, offering a comprehensive framework for the sustainable transformation of the mining sector. Green mining focuses on innovative approaches aimed at resource efficiency, waste management, energy optimization, and carbon emissions reduction. The study highlights the significance of advanced techniques such as in-situ mining, biomining, and principles of the circular economy in mitigating environmental impacts.

In terms of energy efficiency, the integration of renewable energy sources like solar and wind power, along with carbon capture and storage (CCS) technologies, is identified as a key solution for reducing the sector's carbon footprint. Innovations in waste management, such as water recycling systems and the reprocessing of tailings, contribute to resource conservation and the reduction of environmental pollution.

The social dimension emphasizes the importance of stakeholder engagement and corporate social responsibility (CSR) initiatives to foster economic development, gender equality, and community well-being. The example of rare earth element mining in China demonstrates how regulatory reforms and community participation can reduce illegal activities while addressing social and environmental challenges.

Finally, a strategic roadmap for the future of green mining is proposed, outlining short-term goals such as renewable energy integration and waste management improvements, medium-term objectives including carbon emissions reduction and the widespread adoption of sustainable mining techniques, and long-term targets such as achieving zero-carbon operations and fully embracing circular economy principles. The success of this transformation depends on technological innovation, robust policy frameworks, and active community involvement. Together, these efforts will ensure the mining sector's sustainability, balancing resource extraction with environmental preservation and societal progress.

**Keywords:** Green mining, sustainable mining, environmental sustainability, social responsibility, stakeholder engagement, gender equality, renewable energy, carbon capture and storage (CCS), circular economy, carbon footprint, strategic roadmap, net-zero carbon targets.