

YIĞIN LIÇİ SÜRECİNDE ÇEVRESEL VE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ HUSUSLARI: MADENCİLİK ENDÜSTRİSİNDE RİSKLERİN VE YÖNETİMİN ELEŞTİREL BİR ANALİZİ

Gökhan KÜLEKÇİ*

Doç. Dr. Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fak., Maden Müh., gokhankulekci@gmail.com,
Gümüşhane, Türkiye, 0000-0002-2971-4045

Gül UÇAK

Yüksek Lisans Öğrencisi, Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi İş Sağlığı ve Güvenliği ABD.,
gulmalatya133@gmail.com, Gümüşhane, Türkiye, 0009-0009-3215-3013

Özet

Madencilik endüstrisi, çevresel etkileri ve iş sağlığı ile güvenliği açısından dikkate alınması gereken önemli bir alandır. Bu makale, madencilikte kullanılan bir işlem olan yığın liç işlemine çevresel ve iş güvenliği perspektifinden odaklanmayı amaçlamaktadır. Bu makalede öncelikle, madencilik işlemlerinin genel bir çerçevesi sunulmaktadır. Bu çerçeve altında, maden sahalarının keşfi, madencilik mühendisliği ve planlama, madencilik faaliyetleri, kırma ve öğütme, ayırma ve zenginleştirme, konsantre ve metal üretimi, atık yönetimi ve çevre koruma, iş güvenliği, sağlık ve rehabilitasyon gibi adımlar ele alınmaktadır. Yığın liç işlemi, değerli metallerin zenginleştirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmakta olup, temel prensipleri açıklanmaktadır. Son olarak, yığın liç işlemi sırasında karşılaşılabilecek çevresel ve iş sağlığı ve güvenliği sorunları ele alınmaktadır. Bu sorunlar arasında kimyasal maddelere maruz kalma, kaza riskleri, atık yönetimi, işçi eğitimi ve bilinçlendirme önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca Dünyadaki siyanür kazaları ve sonuçlarına değinilerek iş sağlığı ve güvenliğinin (İSG) önemi vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, madencilik endüstrisinde yığın liç işlemiyle ilgili çevresel ve iş sağlığı ve güvenliği sorunları ciddi bir endişe kaynağıdır. Bu sorunların etkili bir şekilde yönetilmesi için sıkı düzenlemeler ve güvenlik önlemleri uygulanmalıdır. Bu makale, madencilik endüstrisinde yığın liç işlemiyle ilgili bilinçlendirme ve tartışma için önemli bir kaynak olmuştur tehlikeli olmasına rağmen.

Anahtar kelimeler: Maden, Yığın Liç İşlemi, Çevre güvenliği, İş sağlığı ve güvenliği

ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY CONSIDERATIONS IN HEAP LEACHING: A CRITICAL ANALYSIS OF RISKS AND MANAGEMENT IN THE MINING INDUSTRY

Abstract

Mining is an important industry that must be considered for its environmental impacts and occupational health and safety. This article aims to focus on heap leaching, a process used in mining, from an environmental and occupational safety perspective. Firstly, the article provides a general framework for mining operations. Within this framework, steps such as the exploration of mining sites, mining engineering and planning, mining activities, crushing and grinding, separation and beneficiation, concentrate and metal production, waste management and environmental protection, occupational safety, health, and rehabilitation are addressed. Heap leaching is commonly used in the beneficiation of valuable metals, and its basic principles are explained. Lastly, the environmental and occupational health and safety issues that may arise during the heap leaching process are addressed. These issues include exposure to chemicals, accident risks, waste management, worker training, and awareness. Additionally, the importance of occupational health and safety is emphasized by referencing cyanide accidents and their consequences worldwide. In conclusion, environmental and occupational health and safety issues related to heap leaching in the mining industry are a serious concern. Strict regulations and safety measures must be implemented to effectively manage these issues. This article will serve as an important resource for raising awareness and fostering discussion about heap leaching in the mining industry.

Keywords: Mine, Heap leaching process, Environmental safety, Occupational health and safety

1. GİRİŞ

Madencilik, yer kabuğunda bulunan maden ve minerallerin keşfedilmesi, çıkarılması, işlenmesi ve ekonomik değere dönüştürülmesi amacıyla gerçekleştirilen karmaşık ve sistematik bir dizi faaliyettir (1,2). Dünya üzerinde yapılan madencilik faaliyetleri, çeşitli madenlerin ve minerallerin çıkarılması ve işlenmesi süreçlerini kapsar. İşte bazı önemli madencilik faaliyetleri (3-6):

Altın Madenciliği: Altın, mücevherat, elektronik ve yatırım amaçlı olarak çıkarılır. Dünyada en çok altın üreten ülkeler arasında Çin, Avustralya ve Rusya bulunur.

Kömür Madenciliği: Kömür, enerji üretimi ve çelik endüstrisi için temel bir kaynaktır. Çin, Hindistan, ABD ve Avustralya en büyük kömür üreticilerindedir.

Demir Cevheri Madenciliği: Demir cevheri, çelik üretiminde kullanılır ve Brezilya, Avustralya ve Çin, dünyanın en büyük demir cevheri üreticileridir.

Bakır Madenciliği: Bakır, elektrik kabloları, inşaat ve elektronik ürünlerde kullanılır. Şili, Peru ve Çin, bakır üretiminde lider ülkeler arasındadır.

Boksit Madenciliği: Boksit, alüminyum üretiminin ana kaynağıdır ve Avustralya, Çin ve Gine, önemli boksit üreticilerindedir.

Petrol ve Doğalgaz Çıkarımı: Fosil yakıtlar enerji üretimi ve kimya sanayisinde kullanılır. Suudi Arabistan, ABD ve Rusya, büyük petrol ve doğalgaz üreticileridir.

Nadir Toprak Elementleri Madenciliği: Nadir toprak elementleri, ileri teknoloji ürünleri, elektronik ve yenilenebilir enerji teknolojilerinde kullanılır. Çin, nadir toprak elementleri üretiminde liderdir.

Elmas Madenciliği: Elmas, mücevherat ve endüstriyel kesici aletlerde kullanılır.

Lityum Madenciliği: Lityum, özellikle elektrikli araç bataryaları ve enerji depolama sistemlerinde önemli bir bileşendir. Avustralya, Şili ve Arjantin, lityum üretiminde ön sıralarda yer almaktadır.

Uran Madenciliği: Uranyum, nükleer enerji üretiminde kullanılır. Kazakistan, Kanada ve Avustralya, uranyum üretiminde öne çıkan ülkelerdir (2, 4-8).

Bu madenler yer altı ve yer üstü madenciliği faaliyetleriyle çıkarılabilir. Yeraltı madenciliği, yüzeyin altında derinlerde bulunan maden yataklarına ulaşmak için tünel ve şaftlar açarak gerçekleştirilen karmaşık ve riskli bir madencilik yöntemidir. Bu süreç, yerin altındaki zenginlikleri ekonomik değere dönüştürmek amacıyla jeolojik keşiflerle başlar ve ileri mühendislik teknikleri kullanılarak madenin çıkarılmasıyla devam eder. Yeraltı madenciliği, genellikle yüksek maliyetli ve yüksek riskler barındırmasına rağmen, yüzeyde çevresel tahribatı azaltarak değerli minerallere ulaşmanın en etkili yoludur. Modern yeraltı madenciliği, gelişmiş havalandırma, güvenlik sistemleri ve sürekli izleme teknikleri sayesinde işçi güvenliğini ve operasyonel verimliliği artırırken, sürdürülebilir uygulamalarla çevresel etkileri minimize etmeye çalışır (6-9).

Yer üstü madenciliği, yüzeye yakın maden yataklarının geniş çukurlar veya açık ocaklar şeklinde çıkarıldığı, ekonomik ve hızlı bir madencilik yöntemidir. Bu süreç, yüzeydeki toprak ve kaya tabakalarının sıyrılmasıyla başlayarak, büyük ekskavatörler ve kamyonlar yardımıyla madenin katman katman kazılmasıyla devam eder. Yer üstü madenciliği, büyük miktarlarda madenin düşük maliyetle çıkarılmasını sağlarken, genellikle yüzeyde geniş alanların tahrip edilmesine ve çevresel etkilerin artmasına neden olur. Modern teknolojiler ve rehabilitasyon teknikleri, bu çevresel etkileri azaltmak ve maden sahalarının kullanımını sonrası doğal duruma geri dönmesini sağlamak için

kullanılmaktadır. Ayrıca, bu madencilik yöntemi daha fazla makine ve otomasyon kullanımıyla işçi güvenliğini artırırken, üretim verimliliğini de önemli ölçüde yükseltir (7-11).

Çıkarılan maden cevheri çeşitli yöntemlerle saflaştırılarak değerli ve kullanıma uygun hale gelmiş cevherler elde edilir. Değerli cevherleri elde etmek için maden cevherinin bazı aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Bu aşamaya *cevher hazırlama* adı verilmektedir (12-15).

Cevher hazırlama, çıkarılan ham cevherin ekonomik değeri yüksek metaller veya mineraller elde etmek için çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerle işlenmesini içerir. Bu süreç, cevherin kırılması ve öğütülmesiyle başlar, böylece parçacık boyutları küçültülerek yüzey alanı artırılır. Ardından, gravite ayırma, manyetik ayırma, flotasyon veya liç gibi zenginleştirme yöntemleri kullanılarak değerli mineraller gang minerallerinden ayrılır. Kimyasal çözücülerle yapılan liç işlemleri, metallerin çözeltiye geçirilmesini sağlarken, elektroliz veya çöktürme gibi yöntemler ise bu çözeltilerden metallerin geri kazanılmasını ve saflaştırılmasını gerçekleştirir. Son olarak, saflaştırılmış metaller döküm veya alaşım yapma gibi işlemlerle son ürün haline getirilir, bu sayede sanayi ve diğer alanlarda kullanılmak üzere yüksek kaliteli hammaddeler elde edilir (7,13).

Bu çalışmada, madencilik endüstrisinde yığın liç işlemiyle ilgili çevresel ve iş sağlığı ve güvenliği sorunları ciddi bir endişe kaynağıdır. Bu sorunların etkili bir şekilde yönetilmesi için sıkı düzenlemeler ve güvenlik önlemleri uygulanmalıdır. Bu makale, madencilik endüstrisinde yığın liç işlemiyle ilgili bilinçlendirme ve tartışma için önemli bir kaynak olmuştur.

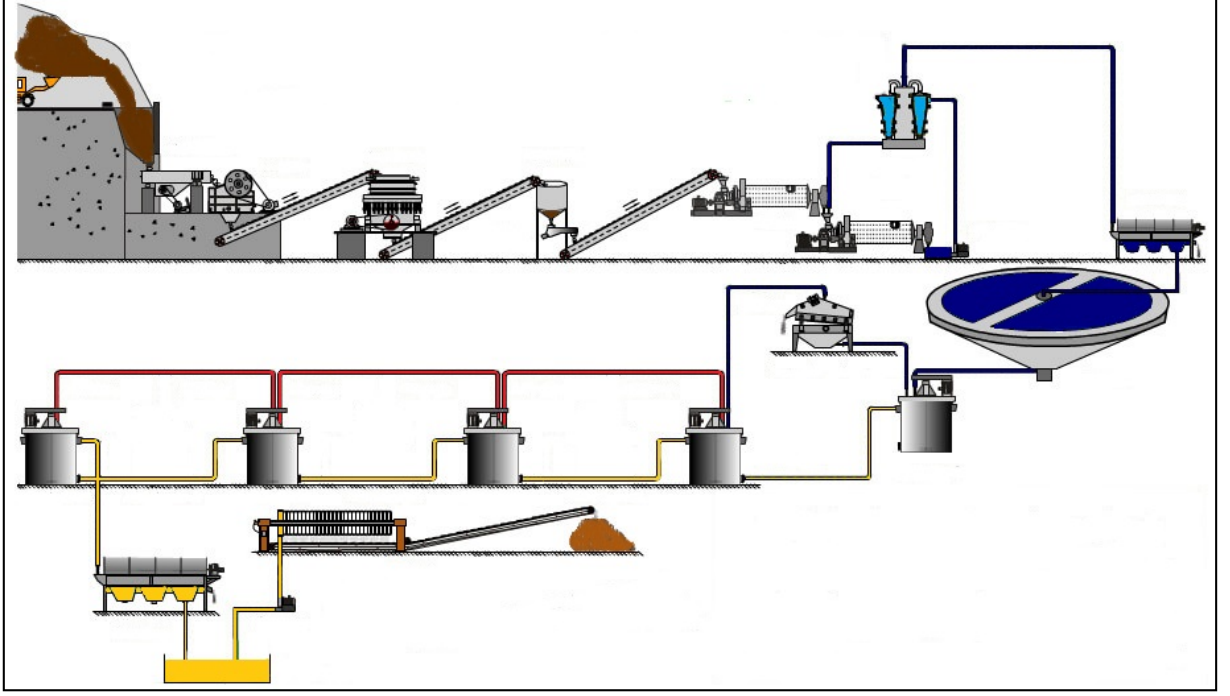
2. SİYANÜRÜN MADENCİLİKTE KULLANIMI

Siyanür, madencilikte özellikle altın ve gümüş gibi değerli metallerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlem, "siyanür liçi" olarak bilinen bir yöntemle gerçekleştirilir. Siyanür liçi, cevherdeki altın ve gümüşün sulu siyanür çözeltisi içinde çözülerek ayrılmasını sağlar. Bu çözeltideki değerli metaller daha sonra çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlerle saflaştırılır. Siyanür liçi yöntemi, düşük konsantrasyonlarda altın ve gümüş, içeren cevherlerin bile verimli bir şekilde işlenmesine olanak tanıdığı için madencilik endüstrisinde yaygın olarak tercih edilir. Ancak, bu yöntemin çevresel etkileri ve potansiyel tehlikeleri nedeniyle dikkatli bir şekilde yönetilmesi gereklidir (10,12,17-23).

2.1. Siyanür Liçi İşlemi

Siyanürle liç işlemi tank liçi ve yığın liç olarak iki şekilde yapılır. Bunlar:

Tank Liçi (Vat Leach): Tankliçini, genellikle madencilik veya kimyasal işlemlerde kullanılan büyük depolama tanklarından çözücü sıvıların kontrollü bir şekilde boşaltılması sürecidir (Şekil 1). Bu işlem, belirli bir maddeyi içeren bir tankın dibindeki vanaların veya pompaların açılmasıyla başlar. Öncelikle, tankın içindeki sıvının viskozitesine ve yoğunluğuna göre uygun bir boşaltma hızı belirlenir. Bu hız, hem tankın yapısal bütünlüğünü korumak hem de sıvının dışarıya güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlamak için önemlidir. Boşaltma işlemi sırasında, çözücü sıvının özelliklerine göre özel pompalar ve boru sistemleri kullanılır. Bu sistemler, sıvının homojen bir şekilde boşaltılmasını ve tankın içinde herhangi bir tortu veya atık madde kalmamasını garanti eder. Aynı zamanda, boşaltılan sıvının çevreye zarar vermemesi için uygun filtreleme ve arıtma sistemleri de devreye sokulur. Tüm bu işlemler, genellikle otomatik kontrol sistemleri ve sensörlerle sürekli olarak izlenir ve yönetilir. Böylece, tank liçini sırasında meydana gelebilecek herhangi bir sızıntı veya kazanın önüne geçilir, çevresel ve iş güvenliği standartlarına tam uyum sağlanır. Bu sürecin sonunda, tankın tamamen boşaldığından ve yeniden kullanılabilir hale geldiğinden emin olunarak, sonraki işlem için hazır hale getirilir (21,27,29-31).



Şekil 1. Tank liçi akış şeması

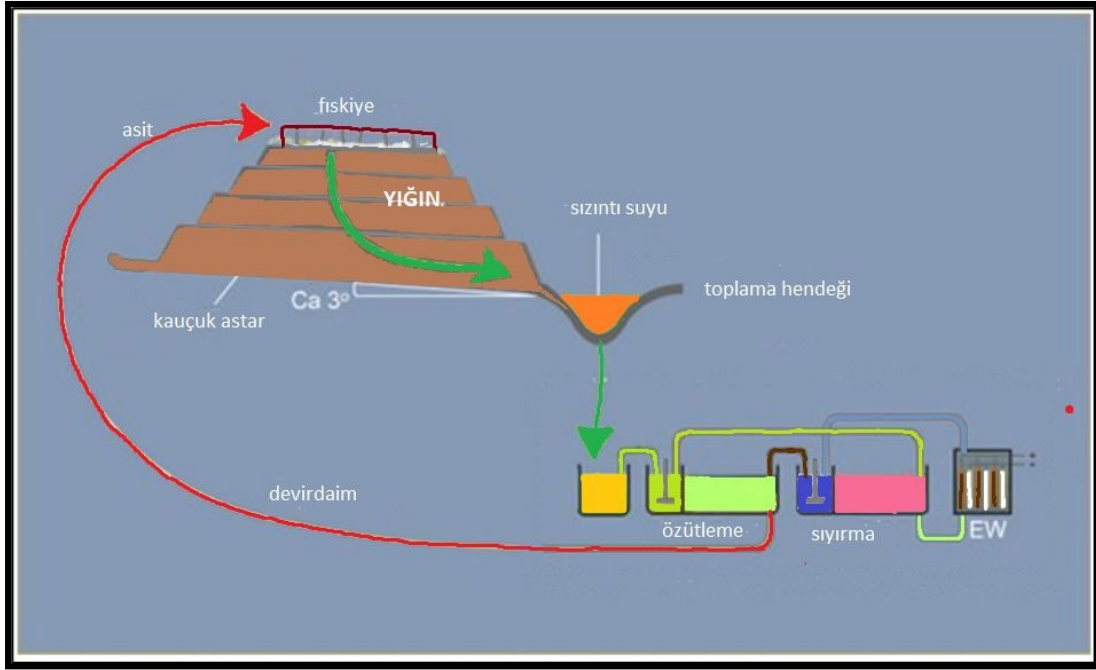
Yığın Liçi (Heap Leach): Cevher hazırlamada kullanılan yöntemlerden biri olan yığın liçi, düşük tenörlü cevherlerin işlenmesinde ekonomik ve verimli bir yöntem olarak kullanılır. Bu süreçte cevher, genellikle yüzey madenciliği sonucunda elde edilir ve kırma, eleme gibi ön işlemlerden geçirilir. Daha sonra, uygun bir alanda yığınlar halinde bir araya getirilir. Yığınların büyüklüğü ve şekli, cevherin türüne, maden sahasının özelliklerine ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişebilir.

Yığın liçi işleminde kullanılan çözelti genellikle sülfürik asit, siyanür veya diğer kimyasallardır. Bu çözeltiler, yığının tepesinden püskürtülür veya damlama yöntemiyle uygulanır. Çözelti, yer çekimi etkisiyle yığının içinden geçerken cevherdeki değerli metalleri çözer. Bu çözelti, yığının altındaki geçirimsiz bir tabakaya sahip toplama sistemine ulaşır ve burada toplanır (22,23).

Toplanan liçi çözeltisi, daha sonra çözülen metalleri geri kazanmak için işlenir. Bu adımda, çeşitli kimyasal ve fiziksel yöntemler kullanılarak metal iyonları çözelti fazından ayrılır. Örneğin, altın kazanımı için aktif karbon veya çinko tozu ile çöktürme yöntemleri kullanılabilir. Bakır için ise çöktürme, çözücü ekstraksiyon ve elektrowinning gibi yöntemler yaygındır (20,25).

Yığın liçi, çevresel yönetim açısından dikkatli bir tasarım ve uygulama gerektirir. Özellikle liçi çözeltisinin çevreye sızmasını önlemek için yığının altına geçirimsiz astar malzemeleri döşenir. Ayrıca, kullanılan kimyasalların ve işlem sonrası atıkların yönetimi de çevresel etkileri minimize etmek için kritik öneme sahiptir (24-27). Bu yöntem, düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak işlenmesini sağladığı için madencilik endüstrisinde önemli bir yer tutar ve özellikle altın, bakır, uranyum gibi metallerin üretiminde yaygın olarak kullanılır (25-31).

Yığın liçi, çevresel yönetim açısından dikkatli bir tasarım ve uygulama gerektirir; özellikle liçi çözeltisinin çevreye sızmasını önlemek amacıyla yığının altına geçirimsiz astar (polietilen veya kil astar) malzemeleri döşenir ve kullanılan kimyasalların yanı sıra işlem sonrası atıkların yönetimi de çevresel etkileri minimize etmek için büyük önem taşır. Bu yöntem, düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak işlenmesini sağladığı için madencilik endüstrisinde önemli bir yer tutar ve geniş kapsamlı kullanımı sayesinde maden işletmelerinin maliyetlerini düşürürken çevresel etkilerin kontrol altında tutulmasına yardımcı olur (26,39).



Şekil 2. Yığın liçi akış şeması

2.2. Yığın Liçi İşleminin Çevresel Etkileri Nelerdir?

Yığın liçi işlemi, madencilik endüstrisinde kullanılan bir hidrometalurjik yöntem olup çeşitli çevresel etkilere neden olabilir. İşlemin en önemli çevresel endişe kaynağı, kullanılan kimyasalların doğaya ve su kaynaklarına olan etkileridir. Özellikle siyanür gibi zehirli kimyasallar, sızıntı veya kaza durumlarında su kaynaklarını ciddi şekilde kontamine edebilir. Bu durum, bölgedeki yeraltı sularını ve sucul ekosistemleri olumsuz etkileyebilir, balık ve diğer su yaşamı üzerinde potansiyel toksik etkilere yol açabilir. Ayrıca, siyanür gibi kimyasalların insan sağlığına olan uzun vadeli etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır; bu kimyasalların su kaynaklarına sızması durumunda yerel halkın sağlığı ciddi şekilde tehlikeye girebilir.

Yığın liçi işlemi ayrıca büyük miktarda su kullanımı gerektirebilir. Bu durum, işlem yapılan bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehdit edebilir, özellikle kurak bölgelerde ve su stresi yaşanan yerlerde önemli bir endişe kaynağı olabilir. Su kullanımının yanı sıra, işlem sırasında oluşabilecek atıklar da çevresel etki yaratabilir. Cevherin işlenmesi sonucu ortaya çıkan atık malzemeler, toksik veya asidik olabilir ve bu atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereklidir. Atıkların kontrolsüz bir şekilde bırakılması veya yönetilmemesi durumunda çevresel kirlilik riski artabilir (27-35).

Yığın liçi işleminin çevresel etkilerini minimize etmek için çeşitli yöntemler ve teknolojiler geliştirilmektedir. Örneğin, modern liçi tankları ve süreç kontrol sistemleri kullanılarak sızıntı riski azaltılabilir ve kimyasal kullanımı optimize edilebilir. Ayrıca, atık yönetimi ve su geri kazanımı gibi sürdürülebilir uygulamalarla işlemin çevresel ayak izi azaltılabilir. Yerel yönetimler ve madencilik şirketleri, işlem sırasında doğru önlemleri alarak çevresel etkileri en aza indirmek için yakın işbirliği içinde olmalıdır. Bu süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesi ve denetlenmesi, uzun vadeli çevresel sürdürülebilirlik için önemlidir.

Yığın liçi işlemi madencilik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, doğru planlama, teknoloji kullanımı ve sıkı çevresel yönetim uygulamaları gerektirir. Çevresel etkilerin minimize edilmesi ve sürdürülebilir madencilik uygulamalarının teşvik edilmesi, bu yöntemin uzun vadeli kabul edilebilirlik ve toplumsal kabulü için kritik öneme sahiptir (28).

3. İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN YIĞIN LIÇ İŞLEMİ: TEHLİKELER VE RİSKLERİ

Madencilik oldukça tehlikeli bir sektör olmasına karşın, cevher hazırlamada yığın liç işlemi kullanılması onu daha tehlikeli hale getirir. Yığın liç işlemini iş güvenliği açısından incelediğimizde ciddi tehlikeler ve riskler barındırır (23-36).

Çökme Riski: Yığın liç oluşturulduğunda, yığılan malzemenin dengesi ve stabilitesi sağlanmalıdır. Malzeme istikrarlı olmadığında çökme riski artar, bu da çalışanların üzerine düşebilecek malzeme nedeniyle ciddi yaralanmalara yol açabilir.

Trafik Kazaları: Yığın liç oluşturulurken iş makineleri ve taşıtlar sıkça kullanılır. Bu durum trafik kazaları riskini artırabilir. İşçilerin ve operatörlerin bu makinelerle çalışırken dikkatli olmaları gerekir.

Kayma Riski: Yığın liç işleminde yığınların kayma riski, istiflenen cevher yığınlarının stabilitesi ile ilgilidir. Bu yöntemde cevherler geniş ve geçirgen bir zemin üzerine büyük yığınlar halinde istiflenir. Yığınların durağanlığını etkileyen faktörler arasında yığınların eğimi, yüksekliği, malzeme özellikleri ve doğal çevresel etkenler bulunur. Özellikle yağmur, rüzgar veya yeraltı suyunun etkisi gibi dış faktörler, yığınların kaymasına yol açabilir.

Kimyasal Tehlikeler: Kimyasal tehlikelerin en büyük endişe kaynağı, siyanür gibi zehirli maddelerin su kaynaklarına sızmasıdır. Bu durum, yeraltı suyu kaynaklarını ve yüzey sularını ciddi şekilde kontamine edebilir, sucul yaşamı ve insan sağlığını tehlikeye atabilir. Ayrıca, işlem sırasında kullanılan diğer kimyasalların (örneğin asitler) depolanması, kullanımı ve bertaraf edilmesi süreçlerinde de dikkatli olunması gereklidir. Bu kimyasalların güvenli bir şekilde yönetilmemesi durumunda çevresel kirlilik riski artabilir.

Yükseklik Tehlikesi: Yığın liçleri genellikle yüksek olabilir. Bu durumda çalışanlar ve iş makineleri düşme riski altında olabilirler. Güvenlik ekipmanları ve prosedürlerinin eksiksiz olması önemlidir (23,36).

Yangın ve Patlama Riski: Bazı malzemelerin yanıcı veya patlayıcı özellikleri olabilir. Yığında bu tür malzemeler bulunuyorsa, yangın ve patlama riskleri göz önünde bulundurulmalı ve gerekli tedbirler alınmalıdır.

Çalışma Ortamı Koşulları: Yığın liç oluşturulan alanlarda genellikle zorlu çalışma ortamları vardır. Bu ortamlarda sıcaklık, nem, toz gibi faktörler işçilerin sağlığı ve performansı üzerinde etkili olabilir.

Bu risklerin farkında olmak ve önlemler almak, yığın liç çalışmalarında iş güvenliğini sağlamak için önemlidir. İşverenlerin ve çalışanların bu konuda eğitilmiş olmaları ve güvenlik standartlarına uygun hareket etmeleri önemlidir.

4. YIĞIN LIÇİNDE İŞÇİ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNİ KORUMAK İÇİN ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Yığın liçlerinde işçi sağlığı ve güvenliğini korumak için alınması gereken önlemler oldukça çeşitlidir ve geniş bir perspektiften ele alınmalıdır. İşte bu önlemlerden bazıları:

Eğitim ve Bilinçlendirme: İşçilere yığın liçleriyle ilgili eğitim verilmeli ve bu eğitimler düzenli aralıklarla tekrarlanmalıdır. İşçiler, olası tehlikeler konusunda bilinçlendirilmeli ve güvenli çalışma prensipleri öğretilmelidir (29).

Kişisel Koruyucu Ekipmanlar (KKE): İşçilere uygun KKE sağlanmalı ve bu ekipmanların düzenli olarak kontrol edilmesi sağlanmalıdır. Örneğin, başlıklar, gözlükler, kulak koruyucuları, solunum cihazları gibi ekipmanlar kullanılabilir (38-42).

Çalışma Alanı Düzeni ve Temizliği: Yığın liçi çalışma alanları düzenli olarak temizlenmeli ve düzenlenmelidir. Malzeme yığılmaları ve dağınıklıkları önlenmeli, çalışma alanı düzenli tutularak potansiyel tehlikeler azaltılmalıdır (41).

Stabilite ve Dengenin Sağlanması: Yığın liçi oluşturulurken stabilite ve dengenin sağlanması kritiktir. İşçilerin bu konuda eğitilmesi ve uygun tekniklerin kullanılması gereklidir. Ayrıca, yığılan malzemelerin belirli bir yüksekliği aşmamasına dikkat edilmelidir (42,43).

Acil Durum Planları: İşçiler acil durumlar için hazırlıklı olmalı ve bu durumlarla başa çıkma konusunda eğitilmelidir. Yangın, çökme, kimyasal sızıntı gibi durumlar için acil durum planları oluşturulmalı ve işçilere bu planlar hakkında bilgi verilmelidir (43).

Denetim ve İyileştirme: İş sağlığı ve güvenliği standartlarına uyumlu olarak düzenli denetimler yapılmalı ve gerekli iyileştirmeler hızla uygulanmalıdır. İşçilerin geri bildirimleri dikkate alınmalı ve sürekli iyileştirme süreçleri izlenmelidir (44).

Bu önlemler, yığın liçleriyle çalışırken işçi sağlığı ve güvenliğini korumak için temel adımları oluşturur. İşverenlerin ve çalışanların iş birliği içinde çalışarak bu önlemleri uygulamaları, iş kazalarını ve sağlık sorunlarını minimize etmede önemli bir rol oynar (45).

5. İŞ GÜVENLİĞİ STANDARTLARI VE YÖNETMELİKLERDE YIĞIN LIÇ İŞLEMİ

Çevresel iş güvenliği standartları ve yönetmelikleri, yığın liç işlemlerinde önemli bir rol oynar. Bu standartlar genellikle çevresel etkileri minimize etmeyi, doğal kaynakların korunmasını ve çevre kirliliğini önlemeyi amaçlar. Yığın liç işlemlerinde bu standartların uygulanması için belirli adımlar izlenir. Öncelikle, projenin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla bir Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreci geçirilir. Daha sonra, işlem için gereken çevresel izinler ve lisanslar, yerel ve ulusal çevre yönetmeliklerine uygun olarak alınır. Atık yönetimi planları oluşturularak atıkların doğru bir şekilde yönetilmesi sağlanırken, su kullanımı da çevresel etkiler göz önünde bulundurularak planlanır ve yönetilir. Toprak koruma önlemleri alınarak toprak erozyonu gibi çevresel riskler minimize edilirken, hava kalitesini korumak için gerekli filtreleme ve emisyon kontrol sistemleri kullanılır. Bu adımlar, çevresel iş güvenliği standartlarının yığın liç işlemlerinde nasıl uygulanacağını gösteren temel prensipleri oluşturur ve işletmelerin çevresel etkileri minimize etmeye odaklanmalarını önemli bir rol oynar (46,48).

6. DÜNYADAKİ SİYANÜR KAZALARI

Dünya üzerinde oluşmuş maden kazaları ve bunların sonuçları aşağıda sıralanmıştır (37-45).
Erzincan İliç Maden Kazası (13 Şubat 2024):

13 Şubat 2024'te İliç'te (Erzincan) Çöpler Altın Madeninde siyanür liç işleminden sonra depolanan büyük çaplı toprak yığınının kayması sonucu oluşan kazadır. Yığın yaklaşık 300 dönümlük alana yayılmıştır (Şekil 3). Bu kaza sonucu 9 işçi toprak altında kalarak hayatını kaybetmiştir. Bu felakette siyanür ve sülfirik asit içeriğine sahip toksik ağır metaller içeren ve insan sağlığını tehdit eden atık yığınının Fırat Nehrine uzanan vadi boyunca yaklaşık 700-800 metre hareket ettiği yetkililerce tahmin edilmektedir. Tunceli Munzur Dağları ekosisteminin de içinde yer aldığı kirliliğin tüm ekosisteme büyük hasar vereceği, havanın, suyun ve toprağın yapısına ağır metaller ve kimyasalların yavaş yavaş yayılacağı öngörülmüştür (37,39).



Şekil 3. Erzincan Çöpler Altın Madeninde siyanür liç kazası (40).

Aural Sondaj Kazası (2022, Türkiye):

Türkiye'de altın madenciliği sırasında siyanür sızıntısı yaşandı. Maden atık havuzundaki sızıntı sonucu, bölgedeki su kaynakları ve tarım alanları siyanürle kirlendi. Yerel halkın sağlığı ve geçim kaynakları ciddi şekilde etkilenmiştir (37,39).

Mount Polley Mine Spill (2014, Kanada):

Britanya Kolumbiyası'ndaki Mount Polley Bakır ve Altın Madeni'nde bir atık barajının çökmesi sonucu milyonlarca litre siyanür içeren atık su ve maden atığı nehirlere ve göllere karıştı (Şekil 4). Bu olay, geniş çaplı çevresel tahribata ve su kirliliğine neden oldu (31,39).



Şekil 4. Mount Polley Bakır ve Altın Madeni'ndeki siyanür atık barajının patlaması (41).

Tolukuma Gold Mine Spill (2012, Papua Yeni Gine):

Tolukuma Altın Madeni'nde bir boru hattının patlaması sonucu siyanürlü atıklar yerel nehir sistemine karıştı. Bu olay, yerel halkın sağlığı üzerinde ciddi etkiler yarattı ve çevresel zararlara yol açtı (38,41).

Jinshan Madeni Sızıntısı (2010, Çin):

Çin'in Guangxi bölgesindeki bir altın madeninde siyanür sızıntısı yaşandı. Bu sızıntı, yerel su kaynaklarını kirletti ve bölgedeki tarım ve içme suyu kaynaklarını tehdit etti (40,42).

Cerro de Pasco Madeni Kazası (2007, Peru):

Peru'da Cerro de Pasco altın madeni atık barajının yıkılması sonucu siyanürlü atık çevreye yayıldı (Şekil 5). Bu olay, bölgedeki su kaynaklarını ve tarım alanlarını kirletti, yerel halkın sağlığını tehdit etti (43).



Şekil 5. Peru'da altın madeni atık barajı kazası (43).

Obuasi Madeni Kazası (2001, Gana):

Gana'daki Obuasi altın madeni atık barajının yıkılması sonucu siyanürlü atık çevreye yayıldı. Bu olay, çevredeki su kaynaklarını ve tarım alanlarını kirletti, yerel halkın sağlığını tehdit etti (38,43).

Mare, Romanya (2000):

Bu kaza, modern tarihin en büyük siyanür sızıntılarından biri olarak kabul edilir. Altın madenciliği yapan bir şirketin barajının çökmesi sonucu yaklaşık 100.000 ton siyanürlü su ve ağır metal içeren atıklar, Somes Nehri'ne karıştı. Bu sızıntı, nehir sistemini takip ederek Tuna Nehri'ne kadar ulaştı ve ciddi çevresel tahribata neden oldu (41).

Tolukuma Madeni Kazası (2000, Papua Yeni Gine):

Papua Yeni Gine'deki Tolukuma altın madeni sırasında siyanürlü atık sızıntısı yaşandı. Siyanürlü atıklar, yerel nehir sistemine karıştı ve yerel halkın içme suyu kaynaklarını kirletti.

Yanacocha Madeni Kazası (2000, Peru):

Peru'daki Yanacocha altın madeni sırasında siyanür sızıntısı meydana geldi. Siyanürlü su, bölgedeki su kaynaklarına karışarak çevreye ve yerel halkın sağlığına zarar verdi.

BaiaMare Siyanür Sızıntısı (2000, Romanya):

Romanya'da BaiaMare'deki altın madeni atık barajının çökmesi sonucu yaklaşık 100.000 ton siyanürlü su ve ağır metal içeren atık Tisza ve Danube nehirlerine sızdı. Bu sızıntı, yüzbinlerce balığın ölümüne ve nehir ekosisteminin ciddi şekilde zarar görmesine neden oldu.

Doñana Çevre Felaketi (1998, İspanya):

İspanya'nın Aznalcollar madeninde atık barajının yıkılması sonucu siyanür ve ağır metal içeren atık Guadalquivir nehrine karıştı. Bu olay, Avrupa'nın en önemli doğa koruma alanlarından biri olan Doñana Ulusal Parkı'nı tehdit etti ve geniş tarım alanlarının zarar görmesine neden oldu.

Los Frailes Madeni Kazası (1998, İspanya):

İspanya'da Boliden-Apirsa madeni atık barajının yıkılması sonucu 5 milyon metreküp siyanürlü atık çevreye yayıldı. Guadalquivir nehri ve çevresindeki tarım arazileri büyük ölçüde kirlendi.

Homestake Madeni Kazası (1998, ABD):

ABD'nin Güney Dakota eyaletinde Homestake altın madeni atık barajının yıkılması sonucu siyanürlü atık çevreye yayıldı. Bu olay, bölgedeki su kaynaklarını ve ekosistemi olumsuz etkiledi.

Porgera Madeni Kazası (1995, Papua Yeni Gine):

Papua Yeni Gine'deki Porgera altın madeni sırasında siyanürlü atıkların nehre karışması çevreye büyük zarar verdi. Bu olay, nehir ekosistemini ve yerel halkın geçim kaynaklarını olumsuz etkiledi (27,29).

Guyana Omai Madeni Kazası (1995, Guyana):

Guyana'da Omai altın madeni atık barajının yıkılması sonucu siyanürlü su Essequibo nehrine sızdı. Bu olay, nehirdeki balık popülasyonlarını yok etti ve nehir kenarındaki yerleşim yerlerinin su kaynaklarını kirletti.

Harmony Gold Madeni Kazası (1994, Güney Afrika):

Güney Afrika'da Harmony Gold madeni atık barajının yıkılması sonucu siyanürlü atık çevreye yayıldı. Bu olay, çevredeki su kaynaklarının ve tarım alanlarının kirlenmesine neden oldu.

Summitville Madeni Kazası (1992, ABD):

ABD'nin Kolorado eyaletinde Summitville altın madeni sırasında siyanür sızıntısı meydana geldi. Yaklaşık 85 kilometrelik Alamosa Nehri, siyanür ve diğer toksik maddelerle kirlendi ve balık popülasyonları ciddi şekilde zarar gördü (Şekil 6).



Şekil 6. ABD'nin Kolorado eyaletinde Summitville maden kazası (29).

Barakani Madeni Kazası (1984, Filipinler):

Filipinler'deki Barakani altın madeni sırasında siyanür sızıntısı meydana gelmiştir. Bu sızıntı, yerel su kaynaklarını ve tarım arazilerini kirlenmiştir, çevreye büyük zarar vermiştir.

7. KAZA ANALİZLERİ

Makalede verilen yığın liçi ve tank liçi kazalarını coğrafi dağılımlarına ve çevresel etkilerine göre karşılaştırabiliriz. Bunun için iki işlem türünü ayrı ayrı ele alarak kazaların gerçekleştiği yerleri ve neden oldukları çevresel zararları inceleyebiliriz:

Yığın liçi kazaları arasında Türkiye'nin Erzincan ilinde 2024 yılında meydana gelen İliç Maden kazası, yaklaşık 300 dönümlük bir alana yayılan toksik ağır metaller içeren atıkların Fırat Nehri'ne doğru ilerlemesiyle yeraltı su kaynaklarını ve Munzur Dağları ekosistemini tehdit etmiştir. 2014 yılında Kanada'nın Britanya Kolumbiyası bölgesinde gerçekleşen Mount Polley kazasında ise siyanür içeren atık su ve maden atıkları nehirler ve göllere karışarak geniş çaplı çevresel tahribata sebep olmuş, su kirliliği ciddi boyutlara ulaşarak ekosisteme büyük zarar vermiştir. Papua Yeni Gine'deki 2012 yılına ait Tolukuma Altın Madeni kazasında ise siyanürlü atıklar, yerel nehir sistemine karışarak su kaynaklarını kirletmiş ve yerel halkın sağlığını olumsuz etkilemiştir.

Tank liçi kazalarına örnek olarak 2000 yılında Romanya'da meydana gelen Baia Mare Siyanür Sızıntısı'nda, yaklaşık 100.000 ton siyanürlü su ve ağır metal içeren atıklar Tisza ve Tuna nehirlerine karışmış ve balık popülasyonlarının büyük kısmı yok olarak nehir ekosisteminde geniş çaplı bir çevresel tahribata neden olmuştur. Aynı yıl Peru'da gerçekleşen Yanacocha Madeni kazasında ise siyanürlü su, bölgedeki su kaynaklarına sızarak yerel ekosistem ve insan sağlığı üzerinde uzun vadeli zararlar doğurmuştur. ABD'nin Kolorado eyaletinde, 1992 yılında meydana gelen Summitville Madeni kazasında ise yaklaşık 85 kilometrelik Alamosa Nehri siyanür ve diğer toksik maddelerle kirlenmiş; bu durum, nehirdeki balık popülasyonlarına ciddi hasarlar vererek ekosistemi olumsuz etkilemiştir.

7.1. Karşılaştırmalı Analiz

Oluşan yığın liç siyanür kazaları analiz edildiğinde; Türkiye, Kanada, Papua Yeni Gine gibi geniş bir coğrafi dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Hem gelişmiş ülkelerde (Kanada) hem de gelişmekte olan ülkelerde (Papua Yeni Gine, Türkiye) kazalar meydana gelmiştir. Bu siyanür kazaları genellikle su kaynaklarına yakın bölgelerde ciddi ekolojik zararlara neden olmuştur. Romanya, Peru ve ABD gibi farklı bölgelerinde ise tank liçi kazaları meydana gelmiştir. Kazaların çoğu nehir sistemlerine yakın alanlarda gerçekleşmiş, özellikle Tisza ve Tuna gibi büyük nehirleri etkileyen kazalar yaşanmıştır.

Bu kazaların çevresel etkileri analiz edildiğinde, yığın liç kazaları genellikle geniş alanlara yayılan atıklarla sonuçlanmıştır. Kimyasal atıklar (özellikle siyanür) su kaynaklarına sızarak yeraltı suyu ve ekosistemler üzerinde kalıcı etkiler yaratmıştır. Özellikle Munzur Dağları gibi ekosistemlerin ve Fırat Nehri gibi büyük su kaynaklarının zarar gördüğü olaylar dikkat çekicidir. Tank liçi kazalarının en belirgin özelliği, nehir ve gölleri doğrudan kirleterek balık popülasyonlarını ve sucul yaşamı etkilemesi olmuştur. Özellikle Romanya'daki Baia Mare kazasında yüzbinlerce balığın ölümü ve geniş çaplı ekolojik yıkım meydana gelmiştir.

Kullanılan kimyasallar açısından analiz edildiğinde, yığın liçi kazalarında kullanılan kimyasallar, özellikle siyanür, çevreye sızarak geniş çaplı kirliliğe yol açmıştır. Türkiye ve Papua Yeni Gine örneklerinde kimyasal sızıntılar hem ekosistemleri hem de insan sağlığını tehdit etmiştir. Tank liçi kazalarında ise aynı şekilde siyanürlü kimyasallar kullanılmıştır, ancak tank kazaları daha kontrollü bir ortamda gerçekleştiği için kaza sonrası müdahale süreçleri daha hızlı olmuştur.

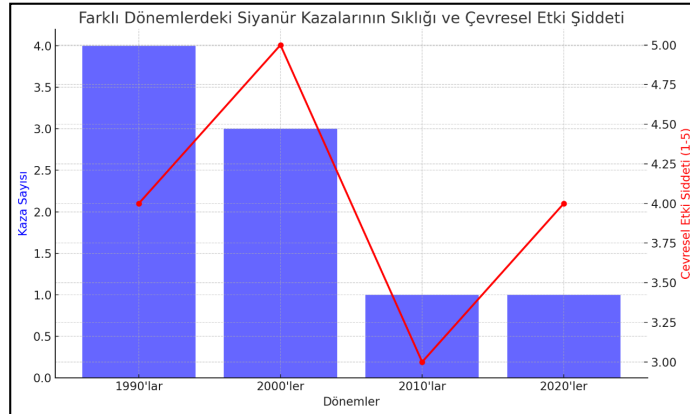
Bu analizle yığın liçi kazalarının daha geniş bir coğrafi alana yayıldığını ve çevresel etkilerinin daha büyük olabileceğini, tank liçi kazalarının ise genellikle nehir ve su ekosistemlerini doğrudan etkilediğini söyleyebiliriz.

Dünya üzerinde olmuş önemli siyanür içerikli maden kazalarının şiddet ve sıklık analizi yapılacak olursa sıklık kazaların meydana geldiği yıllar üzerinden ölçülebilir, şiddet ise çevresel etki, balık popülasyonlarının zarar görmesi, su kirliliği ve geniş çaplı ekolojik tahribat gibi faktörlere dayanmaktadır (tablo 1).

Tablo 1. Dünyadaki siyanür kazalarının yıl ve etki şiddeti (35-43).

Dönem	Kaza İsmi	Ülke	Yıl	Etkilenen Alan (m ²)	Çevresel Etki Şiddeti (Balık Ölümü, Su Kirliliği vb.)
1990'lar	Summitville Madeni Kazası	ABD	1992	85 000 000	Alamosa Nehri ciddi şekilde kirlendi.
1990'lar	Harmony Gold Madeni Kazası	Güney Afrika	1994	10 000 000	Su kaynakları ve tarım alanları kirlendi.
1990'lar	Guyana Omai Madeni Kazası	Guyana	1995	80 000 000	Essequibo Nehri'nde balık popülasyonları yok oldu.
1990'lar	Mare, Romanya	Romanya	1998	2 000 000 100.000 ton su	Tuna Nehri'ne kadar ulaşan geniş çaplı çevresel tahribat
2000'ler	BaiaMare Siyanür Sızıntısı	Romanya	2000	100.000 ton su	Tisza ve Tuna nehirlerinde balık popülasyonu büyük zarar gördü.
2000'ler	Yanacocha Madeni Kazası	Peru	2000	40 000 000	Su kaynakları ve ekosistemler zarar gördü.
2000'ler	Tolukuma Madeni Kazası	Papua Yeni Gine	2000	20 000000	Su kaynakları kirlendi.
2010'lar	MountPolley Mine Spill	Kanada	2014	25 000000	Nehirler ve göller ciddi şekilde kirlendi.
2020'ler	Erzincan İliç Maden Kazası	Türkiye	2024	300 000	Fırat Nehri ve Munzur Dağları ekosistemi ağır hasar gördü.

Siyanür kazalarını 10 ar yıllık periyotlar halinde gruplandırarsak 1990'larda daha fazla siyanür kazası meydana geldiği görülür (4 kaza), 2000'lerde bu sayı biraz düşse de hala yüksektir. 2010'larda ve 2020'lerde ise daha az kaza görülmektedir. 2000'lerdeki kazalar, çevresel etki açısından en ciddi olanlar arasında yer almaktadır. 1990'lar ve 2020'lerde de çevresel etki önemli düzeyde olmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. farklı dönemlerdeki siyanür kazalarının sıklığı (mavi barlar) ve çevresel etki şiddeti (kırmızı çizgi) karşılaştırması

7.2. Regresyon Analizi ve İstatistiksel inceleme

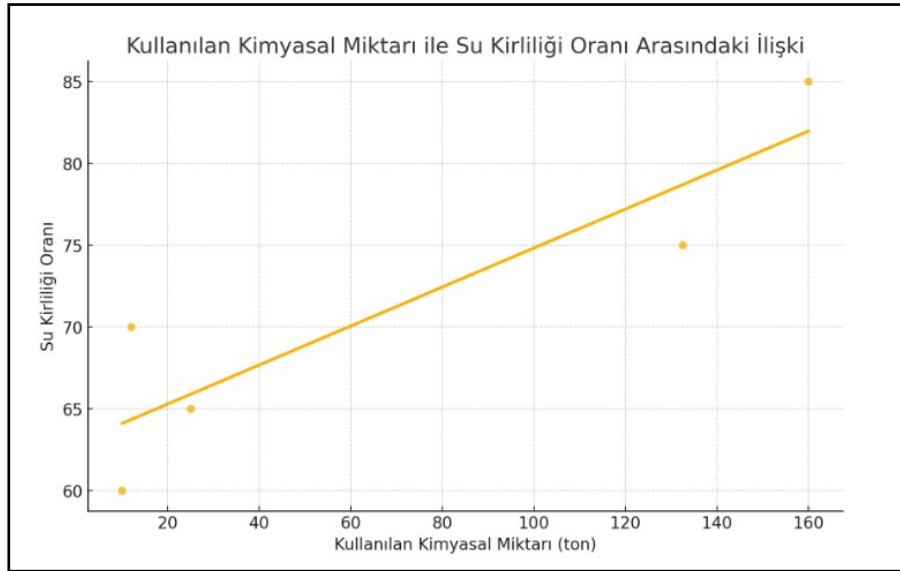
Ayrıntılı bir şekilde dünya tarihindeki siyanürlü maden kazalarının incelendiği bu çalışmanın bu bölümünde çalışmada kullanılan veriler istatistiksel olarak analiz edilecektir (Tablo 2). Bu analizi, kullanılan kimyasalların miktarının ve sızıntı alanının büyüklüğünün su kirliliği üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bir regresyon modeli oluşturulmuş ve bulguları mevcut verilere dayanarak yorumlanmıştır.

Tablo 2. İstatistiksel analizde kullanılan veriler

Kazanın olduğu Yıl/ülke	Kaza İsmi	Sızan Siyanürlü su (ton)	Kullanılan kimyasal miktarı (ton)	Sızıntı alanı büyüklüğü (km ²).	Gelişmiş, gelişmekte olan	Temizleme süresi yıl
1992 ABD	Summitville maden kazası	130 000	132,5	85	Gelişmiş	13
1994 Güney Afrika	Harmony Gold maden kazası	1000000	10	10	Gelişmekte olan	7
1995'te Guyana	Omani maden kazası	4 000 000	160	80	Gelişmemiş	9
2000 Romanya	BaiaMare maden kazası	100 000	12	40	Gelişmekte olan	20
2014 Kanada	MountPolley maden kazası	24 000 000		25	Gelişmiş	7

Regresyon analizi, su kirliliği oranları ile kullanılan kimyasal miktarı ve sızıntı alanı büyüklüğü arasındaki ilişki hakkında bilgilendirici bulgular ortaya koymaktadır (şekil 8-9):

Kullanılan Kimyasal Miktarı katsayısı 0,462 olarak bulunmuştur. Bu katsayı su kirliliği oranıyla orta düzeyde pozitif bir ilişki olduğunu gösteriyor. Bu, kimyasal miktarındaki artışın genel olarak kirlilikteki artışla ilişkili olduğunu, ancak çok büyük bir artış olmadığını gösteriyor. Bunun yanında *Sızıntı Alanı Boyutu* katsayısı 0,842 olarak bulunmuştur, sızıntı alan boyutunun kirlilik oranıyla negatif bir korelasyon olduğunu ima eder. Bu, daha büyük sızıntı alanlarının, muhtemelen seyreltme etkileri veya çeşitli tutma stratejileri nedeniyle, birim alan başına daha az yoğun kirlilik konsantrasyonlarına sahip olabileceğini gösterebilir.



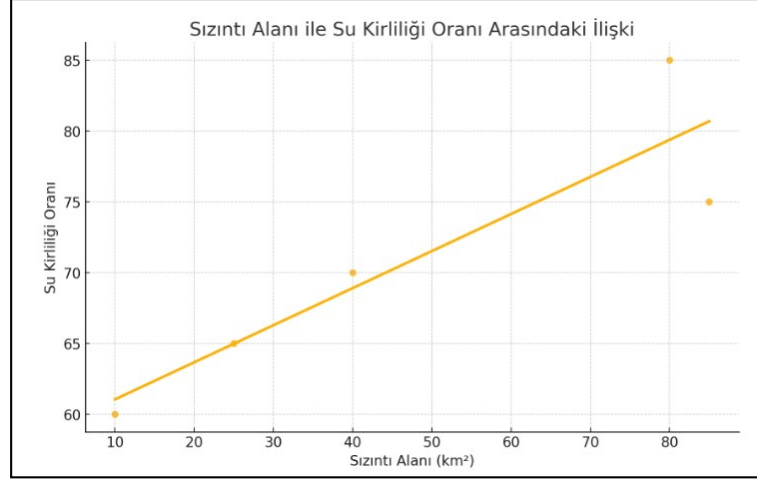
Şekil 8. Kullanılan kimyasal miktarı ile su kirliliği arasındaki ilişki

Ülke Kalkınma Düzeyi katsayısına bakılacak olursa 0.353 olarak hesaplanmıştır, yani benzer koşullar altında gelişmiş ülkelerdeki kirlilik seviyelerinin, muhtemelen farklı endüstriyel düzenlemeler veya temizleme yaklaşımları nedeniyle, gelişmekte olan ülkelere kıyasla biraz daha yüksek olma eğiliminde olabileceğini göstermektedir. *Yanıt Süresi ise 1.820* katsayısı ile önemli bir pozitif ilişkiye işaret ediyor ve gecikmiş tepki süresinin artan su kirliliğiyle güçlü bir korelasyona sahip olduğunu gösteriyor.

Ortalama Karesel Hata (MSE) yaklaşık olarak 122.57 olarak bulundu bu değer gözlemlenen ve tahmin edilen kirlilik oranları arasındaki ortalama kare farkını gösterir.

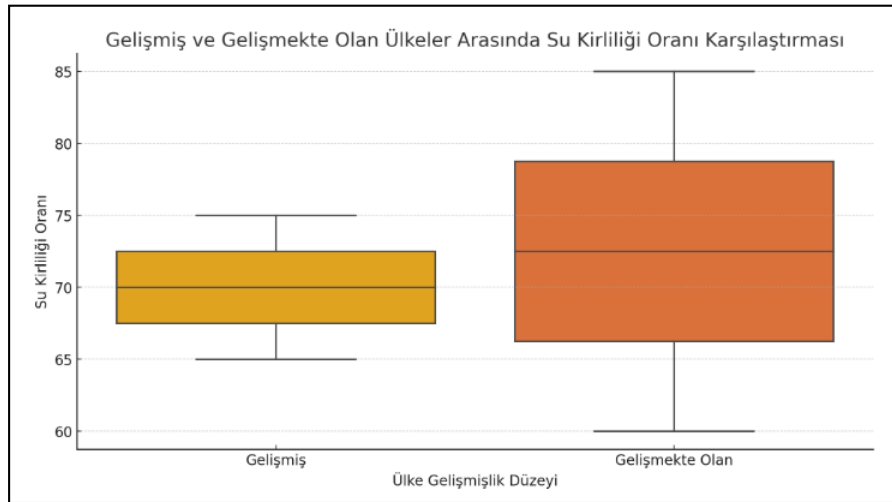
Bu yapılan analizlere bakılarak grafikler kimyasal kullanımı ile su kirliliği oranları arasında pozitif bir eğilim olduğunu söyleyebiliriz. Daha yüksek kimyasal kullanımının kirliliği daha da

kötüleştirdiğini doğruluyor. Ancak sızıntı alanının büyüklüğünün kirlilikle biraz daha az belirgin bir ilişkisi vardır; bu da su kaynaklarına yakınlık gibi diğer bağlamsal faktörlerin alan büyüklüğünün ötesinde kirlilik sonuçlarını etkileyebileceğini düşündürmektedir. Bu analiz, tepki sürelerinin ve kimyasal miktarlarının kirliliğin ciddiyetinin temel belirleyicileri olduğunu ve çevresel etkiyi azaltmak için olaylara hızlı müdahalenin kritik önemini vurgulamaktadır.



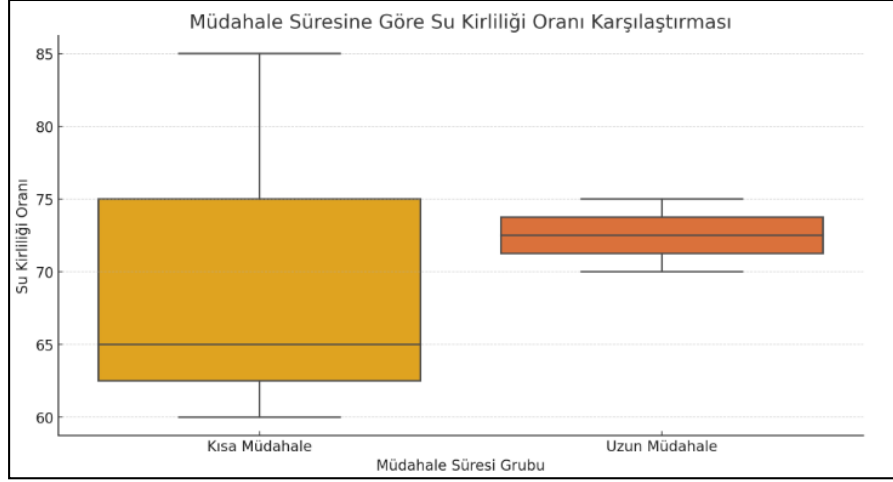
Şekil 9. Sızıntı alanı ile su kirliliği arasındaki ilişki

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda T-testi (Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler) değeri 0,195 p-değeri ise:0,875 olarak bulunmuştur. p değeri ile t-testi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında su kirliliği oranlarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ortaya koymamaktadır. Bu sonuç, ülke kalkınma düzeyinin bu veri setinde diğer faktörler kontrol edildiğinde kirlilik oranlarını etkilemede önemli bir rol oynamayabileceğini göstermektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Ülke gelişmişlik düzeyine göre su kirlilik karşılaştırması

Aynı şekilde yapılan ANOVA (Tepki Süresi Grupları: Kısa ve Uzun) testinde de anova değeri 0,062, p-değeri ise 0.819 olarak hesaplanmıştır. Yani anova testinden elde edilen veriler, tepki süresine dayalı kirlilik oranlarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir. Bu, mevcut veri kümesinde, tepki süresini kısa veya uzun olarak kategorize etmenin kirlilik seviyeleri üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığını göstermektedir (şekil 11).



Şekil 11. Müdahale süresine göre su kirlilik karşılaştırması

Ülke Gelişmişlik Düzeyine Göre Su Kirliliği Oranının grafiği, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında kirlilik oranlarında gözle görülür bir fark göstermemekte olup, t-testi sonuçlarıyla örtüşmektedir. Tepki Süresine Göre Su Kirliliği Oran grafiği de Benzer şekilde, tepki süresi grupları için de benzer kirlilik oranı dağılımlarını göstermektedir ve bu durum ANOVA test sonucunu desteklemektedir.

Genel olarak bu analizler, kimyasal madde kullanımı ve sızıntı alanı gibi faktörlerin, ülkenin gelişmişlik düzeyi veya kategorize edilmiş müdahale sürelerinden daha güçlü kirlilik şiddeti belirleyicileri olabileceğini göstermektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Madencilikte yığın liç işlemi, düşük tenörlü cevherlerden ekonomik olarak metal kazanımı sağlayan verimli bir yöntemdir. Ancak bu yöntem, çevresel ve iş güvenliği açısından önemli riskler barındırmaktadır. Yığın liç işlemlerinde kullanılan siyanür ve diğer kimyasallar, çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturabilir. Siyanürün su kaynaklarına sızması, ekosistemlere geri dönüşü olmayan zararlar verebilir ve bu durum, uzun vadeli çevresel etkiler doğurabilir. Ayrıca, bu kimyasallara maruz kalan işçilerde ciddi sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Bu nedenle, yığın liç işlemlerinde çevresel etkilerin minimize edilmesi ve iş güvenliğinin sağlanması için bir dizi stratejik önlem alınmalıdır.

Çevresel risklerin azaltılması için öncelikle gelişmiş izleme ve kontrol sistemleri kurulmalıdır. Kimyasal maddelerin kullanımı sırasında katı düzenlemeler uygulanmalı ve düzenli çevre kirliliği ölçümleri yapılmalıdır. Çevre kirliliği izleme sistemleri, sızıntı ve diğer olası çevresel tehlikeleri erken aşamada tespit edebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Acil durum müdahale planları geliştirilerek, olası sızıntı ve kazalara karşı hazırlıklı olunmalıdır. Bu planlar, sızıntı durumunda hızlı ve etkili bir müdahale yapılmasını sağlamalı ve böylece çevresel zararların en aza indirilmesine yardımcı olmalıdır.

İş güvenliği önlemlerinin artırılması da büyük önem taşımaktadır. İşçilere yönelik düzenli eğitim programları düzenlenmeli, bu eğitimlerde kimyasal maddelerin güvenli kullanımı ve acil durum prosedürleri gibi konulara vurgu yapılmalıdır. Kişisel koruyucu ekipmanların (KKD) kullanımı teşvik edilmeli ve bu ekipmanların doğru ve etkin kullanımı sağlanmalıdır. Ayrıca, işçilerin çalışma koşulları düzenli olarak denetlenmeli ve iş sağlığı ve güvenliği standartlarına uygunluğu sağlanmalıdır. İşçilerin sağlık durumları periyodik olarak kontrol edilmeli ve kimyasal maddelere maruz kalmalarını en aza indirecek çalışma yöntemleri geliştirilmelidir.

Sürdürülebilir madencilik uygulamalarının teşvik edilmesi de önemlidir. Bu bağlamda, çevre dostu alternatif liç yöntemlerinin araştırılması ve uygulanması gerekmektedir. Yeşil kimyasalların kullanımı ve biyoliç gibi yenilikçi yöntemler, hem çevresel hem de iş güvenliği açısından daha güvenli seçenekler sunabilir. Biyoliç, mikroorganizmaların kullanıldığı bir süreç olup, kimyasal kullanımı ve çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, madencilik atıklarının yönetimi ve yeniden kullanımını içeren kapalı döngü süreçlerinin geliştirilmesi, çevresel sürdürülebilirliği artırabilir.

Analizimizin sonuçları, çevre kazaları nedeniyle su kirliliği oranlarını etkileyen faktörler hakkında içgörülü bakış açıları sunmaktadır. İlk olarak, kimyasal kullanımı ile su kirliliği oranı arasındaki ilişki pozitif bir korelasyon göstermektedir ve bu da kazalarda kullanılan daha yüksek miktardaki kimyasalların genellikle artan kirlilik seviyelerine yol açtığını göstermektedir. Bu, kimyasal yoğunluğunun bu tür olaylarda su kalitesi bozulmasının birincil itici gücü olduğunu göstermesi bakımından özellikle önemlidir.

Benzer şekilde, sızıntı alanı boyutu ile su kirliliği oranı arasındaki ilişki hafif bir ters korelasyon gösterdi ve bu da daha büyük sızıntı alanlarının birim alan başına kirliliği mutlaka yoğunlaştırmayabileceğini gösteriyor. Bu, seyreltme etkileri veya daha büyük alanlardaki sınırlama stratejilerinin etkisi anlamına gelebilir, ancak bu dinamiği tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulacaktır.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki kirlilik oranları arasındaki karşılaştırma istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermedi ve bu da bir ülkenin gelişmişlik durumunun, diğer faktörler göz önünde bulundurulduğunda kazalardaki kirlilik sonuçlarını büyük ölçüde etkilemeyebileceğini gösteriyor. Ek olarak, yanıt süresi karşılaştırması, kategorize edilmiş yanıt sürelerinin kirlilik oranları üzerinde güçlü bir etkisi olmadığını ortaya koydu ve bu da kirlilik azaltma çabalarının yalnızca zamanlamanın ötesinde karmaşıklığına işaret ediyor. Bununla birlikte, daha hızlı yanıt stratejileri, bu belirli veri setinde açıkça belirgin olmasa bile, gerçek dünya durumlarında daha geniş koruyucu faydalar sunabilir.

Genel olarak, analizler kimyasal miktarların kritik rolünü ve kirlilik sonuçları üzerindeki kontrol alanının nüanslı etkisini vurgulamaktadır. Bu sonuçlar birlikte, düzenleyici ve acil müdahale çabalarının kimyasal yükleri en aza indirmeye ve çevresel etkileri etkili bir şekilde azaltmak için kontrol önlemlerini geliştirmeye güçlü bir şekilde odaklanması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, madencilikte yığın liç işlemi, çevresel ve iş güvenliği perspektifinden ele alındığında, dikkatli ve sorumlu bir yönetim gerektiren karmaşık bir süreçtir. Çevresel etkilerin minimize edilmesi ve iş güvenliğinin sağlanması, hem madencilik sektörünün sürdürülebilirliği hem de toplum sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, düzenleyici kurumlar, madencilik şirketleri ve sivil toplum kuruluşları arasında işbirliği ve sürekli iletişim şarttır. Ayrıca, yeni teknolojilerin ve yöntemlerin araştırılması ve uygulanması, yığın liç işlemlerinin daha güvenli ve sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlayacaktır.

Etik Beyan

Bu makale, 2nd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024 Sempozyumu'nda sözlü olarak sunulan ancak kısmi tam metni yayımlanan "Madencilik İşlemlerinde Siyanür Kullanımı Ve Oluşabilecek İş Güvenliği Sorunları" adlı bildirinin içeriği geliştirilerek ve kısmen değiştirilerek üretilmiştir.

Yazar Katkıları

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) Yazar 1 (%70) – Yazar 2 (%30)

Veri Toplama (CRediT 2) Yazar 1 (%60) – Yazar 2 (%40)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) Yazar 1 (%80) – Yazar 2 (%20)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) Yazar 1 (%50) – Yazar 2 (%50)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) Yazar 1 (%70) – Yazar 2 (%30)

Finansman

Çalışma hiçbir kurumu tarafından desteklenmemiştir.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKÇA

1. Vaught, C. (2016). Occupational health and safety management in mining: An international comparison. *The International Journal of Mining Science and Technology*, 26(6), 991-997. doi: 10.1016/j.ijmst.2016.09.013
2. Eisler, R. (2004). Cyanide hazards to plants and animals from gold mining and related water issues. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 183, 21-54. doi: 10.1007/0-387-21728-2_2
3. World Gold Council. (2022). Gold mining & supply. Erişim adresi: <https://www.gold.org/about-gold/gold-supply/gold-mining>
4. World Coal Association. (2021). Coal market & industry overview. Erişim adresi: <https://www.worldcoal.org>
5. U.S. Geological Survey. (2022). Mineral commodity summaries: Iron ore. Washington, DC: U.S. Geological Survey.
6. International Copper Study Group. (2021). The world copper factbook. Erişim adresi: <https://www.icsg.org>
7. World Aluminium. (2021). Bauxite & alumina. Erişim adresi: <https://www.world-aluminium.org>
8. British Petroleum. (2022). Statistical review of world energy. Erişim adresi: <https://www.bp.com>
9. Haxel, G. B., Hedrick, J. B., & Orris, G. J. (2005). Rare earth elements—Critical resources for high technology (U.S. Geological Survey Circular 1283). Washington, DC: U.S. Geological Survey.
10. Natural Resource Governance Institute. (2021). The diamond industry. Erişim adresi: <https://resourcegovernance.org>
11. Jaskula, B. (2022). Lithium. Mineral commodity summaries 2022. Washington, DC: U.S. Geological Survey.
12. World Nuclear Association. (2022). Supply of uranium. Erişim adresi: <https://www.world-nuclear.org>
13. Armah, F.A., & Luginaah, I. (2018). A review of environmental and occupational health impacts of mining in Ghana. *International Journal of Environmental Health*, 17(8), 43-52. doi: 10.1080/15287394.2018.1536375
14. Mukherjee, T.K., Sen, P.K., Kumar, C., & Roy, S.K. (2020). Heap leaching: A growing technology in beneficiation of nickel laterite ores. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 41(2), 73-81. doi: 10.1080/08827508.2018.1564813
15. Aksüt, Y.S., Külekçi, G., Çullu, M., & Yetgin, Ş. (2024). Performance of different fibre types in alkaline-activated concrete produced with industrial wastes: Volcanic rock powder and blast furnace slag. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-19.

16. Meral, T., & Külekçi, G. (2024). Bir inşaat şantiyesinde 3T risk analiz yöntemi kullanarak risklerin değerlendirilmesi. 3. Bilsel International World Science and Research Congress, 956-970.
17. Külekçi, G., & Uçak, G. (2024). Madencilik işlemlerinde siyanür kullanımı ve oluşabilecek iş güvenliği sorunları. 2nd International Conference on Scientific and Innovative Studies, 824-827.
18. Külekçi, G., & Şahin, R. (2024). Bir yeraltı madeninde üretim sürecinde karşılaşılabilecek İSG problemleri ve örnek kazalar. 3rd International Conference on Frontiers in Academic Research, 1242-1251.
19. Meral, T., & Külekçi, G. (2024). OHS training and workers training diaries in the construction industry. 4. International World Science and Research Congress, 947-955.
20. Meneguzzo, M., Capriotti, G., & De Luca, G. (2020). Environmental impact assessment of heap leaching: State-of-the-art and perspectives. *Minerals Engineering*, 250, article 106702. doi: 10.1016/j.mineng.2020.106702
21. Külekçi, G., Çullu, M., & Yılmaz, A.O. (2023). Mechanical properties of shotcrete produced with recycled aggregates from construction wastes. *Journal of Mining Science*, 59(3), 380-392.
22. Külekçi, G., & Güvendi, A. (2023). Gümüşhane ilindeki katı atık yönetimi ve katı atık dönüşüm tesisi. II. International Korkut Ata Scientific Researches Conference, 642-647.
23. Külekçi, G. (2019). Energy absorption measurement in shotcrete by EFNARC plaque deflection experiment. 3rd International Conference on Advanced, ICADET2019.
24. Külekçi, G., & Yılmaz, A.O. (2019). A case study on the effects of stone quarries on environment and agricultural land. *BAHÇE*, 47, 230-237.
25. Külekçi, G. (2023). Maden işletmelerine depremlerin etkileri. *AS-Proceedings*, 1(2), 201-205.
26. Mudd, G.M. (2007). Sustainability in mining, minerals and energy: New processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future. *Ore Geology Reviews*, 32(1-2), 4-24. doi: 10.1016/j.oregeorev.2006.09.001
27. Young, C.A., & Altschuld, J.W. (2000). Evaluating the impact of environmental education programs: A major concern in educational management. *Evaluation and Program Planning*, 23(2), 155-165. doi: 10.1016/S0149-7189(00)00009-5
28. Schreck, B.A., & Fulkerson, W. (2000). Environmental health and safety in the mining industry: An overview. *Journal of Environmental Health*, 62(9), 9-15.
29. Külekçi, G. (2022). Madencilik işlemlerinde toz oluşumu ve insan sağlığına etkisi üzerine örnek çalışma: Bir taş ocağı toz emisyonu miktarı hesaplanması örneği. *Göbeklitepe Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(8), 1-11.
30. Külekçi, G., & Vural, A. (2023). Kahramanmaraş ilindeki depremler sonrası karayolu tünellerinin güçlendirilmesi: Yeraltı boşlukları ve deprem etkisi incelemesi. *AS-Proceedings*, 1(1), 79-82.
31. Külekçi, G., & Meral, T. (2023). Considering the workflow of a fruit juice factory in terms of occupational health and worker safety. II. International Korkut Ata Scientific Researches Conference, 738-744.
32. Külekçi, G., & Güvendi, A. (2023). Waste management and recycling programs empowering environmental sustainability: The case of Gümüşhane. *Atlas Journal*, 9(52), 57-66.
33. Külekçi, G. (2023). Dünyada ve Türkiye'deki maden kazalarının iş sağlığı ve güvenliği açısından incelenmesi. *Ejons International Journal*, 7(4), 623-633.
34. Külekçi, G., & Meral, T. (2023). Meyve suyu fabrikalarında iş akışlarının iş sağlığı, işçi güvenliği ve ergonomi açısından incelenmesi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 10(31), 1-11.

35. Külekçi, G., & Güvendi, A. (2023). Gümüşhane ilindeki katı atık yönetimi ve katı atık dönüşüm tesisi. II. International Korkut Ata Scientific Researches Conference, 642-647.
36. Külekçi, G. (2023). İş sağlığı ve güvenliğinin evrimi: Dünya ülkelerinde tarihsel süreç ve madencilikte uygulama yöntemleri. Icontech International Journal, 7(4), 8-15.
37. Mudd, G.M. (2007). Sustainability in mining, minerals and energy: New processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future. *Ore Geology Reviews*, 32(1-2), 4-24. doi: 10.1016/j.oregeorev.2006.09.001
38. Meneguzzo, M., Capriotti, G., & De Luca, G. (2020). Environmental impact assessment of heap leaching: State-of-the-art and perspectives. *Minerals Engineering*, 250, article 106702. doi: 10.1016/j.mineng.2020.106702
39. Eisler, R. (2004). Cyanide hazards to plants and animals from gold mining and related water issues. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 183, 21-54. doi: 10.1007/0-387-21728-2_2
40. Külekçi, G., & Uçak, G. (2023). Depo yangınlarının iş güvenliği ve işçi sağlığı üzerindeki etkileri: Tütün mamulleri depoları üzerinde bir inceleme. 1. Bilimsel International Harput Scientific Researches Congress, 404-411.
41. Külekçi, G., & Vural, A. (2021). Analysis and classification of water occurring naturally in a metallic underground mine. *International Halich Congress on Multidisciplinary Scientific Research*, 308-316.
42. Külekçi, G., Çullu, M., & Yılmaz, A.O. (2018). Environmental problems to be created in mining procedures and measures to be taken: Example of a quarry dust emission. 4th Eur Asia Waste Management Symposium.
43. Külekçi, G. (2022). The relation of the method used in tunneling operations with the geological structure: Example of the Black Sea coastal road. *Journal of Civil Engineering and Construction*, 11(4), 255-263.
44. Külekçi, G., & Yılmaz, A.O. (2019). Investigation of the effect of activities in copper mine on historical works. *Journal of Underground Resources*, 8(16), 1-14.
45. Külekçi, G., & Çullu, M. (2019). Environmental problems to be created in mining procedures and measures to be taken: Example of a quarry dust emission. 4th Eur Asia Waste Management Symposium.
46. Külekçi, G. (2023). The relation of the method used in tunneling operations with the geological structure: Example of the Black Sea coastal road. *Journal of Civil Engineering and Construction*, 11(4), 255-263.
47. Külekçi, G., & Yılmaz, A.O. (2019). Investigation of the effect of activities in copper mine on historical works. *Journal of Underground Resources*, 8(16), 1-14.
48. Külekçi, G. (2023). Waste management and recycling programs empowering environmental sustainability: The case of Gümüşhane. *Atlas Journal*, 9(52), 57-66.