

Assessing the Roles of Raw Materials in Sustainable Development Goals: Current Situation and Future Prospects

Elifcan Göçmen Polat ^{a,1}

^a Munzur Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0316-281X

Abstract

Raw materials are the necessary building blocks for the functioning of the country's economy and industries. It is inevitable for countries to direct their economic policies towards sustainability within the scope of their green and digital transformation efforts. The fact that green and digital transformation are among the most driving forces in achieving sustainable development also reveals the criticality of the raw materials to be used in the technologies required for this transformation. The positive effects of raw materials come to the fore in many areas such as the use of carbon neutral and green technologies required for climate and energy targets, the design of sustainable cities, and healthy and quality life. However, it is necessary to discuss the dilemma created by the negative environmental effects of mining activities undertaken to extract the raw materials necessary to achieve sustainability goals. Therefore, in this study, the positive or negative effects of raw materials on the Sustainable Development Goals (SDGs), sustainable performance criteria that can be used in the evaluation of raw materials, are examined with strategic planning tools. Policies, measures, and investments regarding the performance measures achieved in Turkey are investigated. At the end of the study, the strengths, weaknesses, threats, and opportunities of some raw materials in terms of targets are evaluated. Additionally, through analysis of critical success factors, numerical inputs that can be used for researchers conducting data studies in this field are presented.

Keywords: “Raw materials, sustainable development goals, strategical planning.”

1. Introduction

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri çerçevesi, sürdürülebilirlik ilkelerine dayanan gelecekteki küresel toplum için bir vizyon ortaya koymuştur. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi ve 169 alt hedeften oluşmaktadır. Ulusal ve yerel politikalar için ilkeler ve referans sağlayan sürdürülebilirliğin sosyal, ekonomik ve çevre boyutları sunulmaktadır. Hammaddeler sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmak için müreffeh ekonomiler, bölgesel ve küresel istikrar, adil ve dayanıklı toplumlar gibi alt başlıklara da katkıda bulunurlar [1]. Hammaddeler, modern toplumlarda ekonomik büyüme ve refah için tüm toplumlarda gerekliliktir ve SKH' ye farklı şekillerde katkıda bulunurlar. Malzemelerin üretimi, özellikle gelişmekte olan ve yönetimi zayıf olan ülkelerde ciddi çevresel ve sosyal etkiler yaratabilir. Bununla birlikte, örneğin yüksek teknoloji uygulamalarda, ulaşım ve enerji altyapılarında, inşaat sektöründe, tıbbi cihazlarda vb. kullanımları, ekonomik kalkınma ve insan refahı açısından hayati rollerini ortaya koymaktadır. Hammaddelerin sürdürülebilirlik kapsamında olumlu ve olumsuz rolleri birçok durumda ortaya çıkmaktadır. Hammaddelerin üretimi sera gazı emisyonlarına neden olurken, yenilenebilir enerji teknolojilerinde kullanılması iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sağlamaktadır. Hammaddelerin çıkarılması ve imalatında da su kaynakları kirlenebilirken, bazı hammaddeler çevre teknolojileri ve su arıtma teknikleri için gereklidir. Hammadde sektörünün, dış ticaret ve istihdam rolüyle ekonomiye olumlu katkıları bulunurken, riskli çalışma koşulları sebebiyle olumsuz izlenim de bırakmaktadır. Bu çalışma, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin 17 maddesine (Şekil 1) hammaddelerin tüm değer zinciri boyunca etkilerini irdelemektedir. Hammadde sektörünü, sadece jeolojik arama ve madencilik projesi olarak düşünmeden, ara ürün ve uç ürüne doğru giden bir süreç olarak değerlendirmek gerekmektedir. Jeolojik arama ve madencilik süreçleri, sürdürülebilir kalkınmada sudaki yaşam, karadaki yaşam, sağlık ve kaliteli yaşam gibi çevreyi ilgilendiren başlıkları kapsarken, ara ürün ve uç ürün oluşturma süreçleri sanayi, yenilikçilik, enerji gibi diğer başlıkları ilgilendirmektedir.

Literatürde, SKH kapsamında hedeflerin gerçekleştirilmesine dijital ikizlerin kaynak verimliliğinde artış, yeşil teknolojiler, ortaklıklar gibi boyutlarla [2], biyogazın yenilenebilir enerji, iklim eylemi, atık yönetimi ve istihdam konularındaki olumlu etkileriyle [3], yapay zekanın hedefleri gerçekleştirmede güçlü kurumlar gibi hedeflerde olumlu etkileriyle, şeffaflık ve etik konusundaki endişeleriyle [4], yenilenebilir enerji, doğal kaynaklar ve eğitim sektörüne yapılan yatırım politikalarıyla [5] katkıda bulunmaktadır. SKH çerçevesi, hammaddelere ilişkin açık bir SKH içermemektedir. Bununla birlikte, hammaddeler SKH' nin

¹ Corresponding Author

E-mail Address: elifcangocmen@munzur.edu.tr

gerçekleştirilmesi için hayati öneme sahiptir ve tüm SKH 'ye doğrudan veya dolaylı olarak katkıda bulunabilir. Hammadde sektörü, SKH' ler ile bağlantılı olup, bu hammaddelerin tüm değer zinciri (madencilik, işleme, metalurji, geri dönüşüm vb.) boyunca uygulanmasını etkilemektedir [6]. Literatürde, SKH ve hammaddeler bağlantısını içeren çalışmalarda, [7] hammaddelerin SKH' lere katkılarını veya engellerini, Avrupa Birliği politikaları ve eylemlerini ortaya koymaktadır. Raporlarında kullanılan metodoloji, literatür taraması sonuçlarının uzmanlara sorulması ve her bir hedef için göstergeler oluşturulması şeklindedir. Bununla birlikte, kobalt hammaddesinin SKH' ye ulaşılmasını destekleme durumunu değerlendirmektedirler [8]. Sonuçlar, iklim ve ekonomik büyüme için olumlu katkıları olarak elde edilirken, sağlıklı yaşam ve adalet hedeflerinde olumsuz sonuçlar oluşturmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, enerji, iklim ve ekonomi sektörlerinde hammaddelerin ele alınmaktadır. Bu başlıklar, dolaylı veya doğrudan sudaki ve karadaki yaşamı etkilediği için sürdürülebilir şehirler başlığını da kapsamaktadır. Her başlık için, hammadde sektörünü detaylı olarak ele alan ve gelecek projeksiyonu çizmek adına önerilerde bulunan çalışmalar kısıtlıdır. Özellikle, hammadde sektörünün küresel iklim politikaları konusundaki belirleyici rolü ile ilgili küresel iş birlikleri oluşturulması gerekmektedir. Amaçlar için ortaklıklar başlığı altında bu konuda çalışmaların yürütülmesi önemli olacaktır. Çalışmamızın katkısı, literatür çalışmalarına dayalı olarak hammaddelerin hedeflere katkısı ve hammaddeye ilişkin SKH göstergelerinin oluşturulmasının stratejik planlama araçlarıyla analizidir. Ayrıca, Türkiye'de bu kapsamda yapılan ilk çalışma olması itibarıyla da önemlidir. Çalışma, (spesifik, ölçülebilir, kabul edilebilir, gerçekçi, zamana bağlı) olarak belirtilen akıllı hedef kriterlerine [9] göre incelenmektedir. Çalışmanın amacı, hammaddelerin kalkınma hedeflerine etkilerinin güçlü ve zayıf yönlerini ile yaratacağı tehdit ve fırsatlarını; elde edilen sonuçların veri çalışmalarına yol göstermek adına performans ölçütlerini sunmaktır. Çalışmada sunulan performans ölçütleri, hammadde konusunda veri çalışmalarında ölçülebilir sayısal gösterge olarak kullanılabilir. Çalışma çıktılarının, ülkede yeşil ve dijital dönüşüm çabaları sürerken, konu itibarıyla kabul edilebilirliği yüksektir. Kullanılan veri kaynakları ve çıktıları gerçekçi olup, dinamik olan hammadde sektöründen dolayı zamanla güncellenebilmektedir.



Şekil 1. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Undp,2023)

2. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

1-Yoksulluğa Son

Dünyada birçok ülkede hammadde sektörünün büyümesi ve gelişmesi yoksulluktan kurtulmanın belirleyicisidir. Ülke ekonomisinin temelini oluşturan birçok sektörde girdi olarak kullanılması, dış ticaretteki payı, hammaddeyi ülkede yoksulluğun önemli parametresi olarak ortaya çıkarmaktadır. Hammadde sektörü, yerel ekonomiyi canlandırabilir, istihdam yaratabilir ve aynı zamanda nüfus gelirini ve ticareti artırabilir. Hammadde sektörlerinde katma değer ve istihdam, temel göstergeler olarak kabul edilebilir. Hammadde tedarigindeki kesinti, yine yoksulluğu artıracak gelişmelerin öncüsü olabilmektedir. Bu bağlamda, hammadde konusunda tedarik riskini önleme adına ülkelerin aldığı önlemler bulunmaktadır. Afrika-AB ortaklığı bağlamında maden kaynağı göstergeleri ve bunların Stratejik Koridorunun çizilmesindeki rollerinin ele alındığı çalışmada, Stratejik Koridorların, bölgesel ölçekte ekonomik ve toplumsal kalkınmayı artırmak için maden kaynaklarını bir katalizör olarak kullanması ifade edilmektedir. Sonuçlar, bu koridorların mevcut ve gelecekteki madenlere erişimi nasıl iyileştirebileceğinin anlaşılmasına ve AB için kritik hammadde tedarikinde kesinti riskini azaltabilmesine yardımcı olmaktadır [10].

2-Açılığa Son

Sürdürülebilir kalkınmada yoksulluk ve açlık çalışmaları çoğunlukla birlikte ele alınmaktadır ([11]; [12]). Açlığı ve yoksulluğu ortadan kaldırmaya yönelik çabalar, gıda üretimini de desteklemektedir. Bununla birlikte, madencilik sektöründe, su kütlelerinin ve tarım arazilerinin kirlenmesi gıda güvenliğini etkileyebilir. Bu durum özellikle geçimleri doğrudan doğal kaynaklara bağımlı olan yerel topluluklarda geçerlidir. Kadmiyum ve Selenyumun, karasal besin zinciri kirliliği açısından en büyük endişe kaynağı olduğu vurgulanmaktadır. Gübre, biyolojik katılar, toprak iyileştirmeleri ve atmosferik birikim yoluyla toprağa verilen kadmiyumun, çoğu zaman mahsullerdeki konsantrasyonları yavaş yavaş artmaktadır. Bu elementin alımı, insan beslenmesindeki dengeyi bozduğu belirtilmektedir [13].

3-Sağlık ve Kaliteli Yaşam

Tıbbi cihazlarda kullanılan bazı hammaddeler insan refahının iyileştirilmesi için vazgeçilmezdir. Bu, insanlara yönelik protez cihazlarda kullanılan tantal ve manyetik rezonans görüntüleme cihazlarındaki süper iletken manyetik bobinler için kullanılan niyobyum-titanyum alaşımları gibi bazı kritik metaller için geçerlidir. Sağlık sektöründe kalıcı implantlarda kullanılan titanyum, kobalt gibi hammaddeler, yenilikçi ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Olumsuz gösterge olarak, kobalt sülfat soluma kaynaklı kanser hastalığı artışı ve uranyum kaynaklı radyasyon maruziyeti gösterilebilir.

Mikro elementlerin kaynakları, topraktaki dönüşümleri, bitki ve insandaki fonksiyonları, eksik ve aşırı alımlarının bitki ve insanlar üzerindeki etkileri, bitki ve insandaki seviyelerini optimize etme yaklaşımları tartışılmaktadır. Çinko (Zn), demir (Fe), manganez (Mn), bakır (Cu), molibden (Mo), bor (B), klor (Cl) ve nikel (Ni) esansiyel ve silikon (Si) gibi elementlerin, insanlarda çeşitli fizyolojik işlevleri yerine getirdiği belirtilmektedir [14]. Stratejik hammaddelerin toplam ihracatının GSYH içerisindeki payının artmasının, yeni istihdam olanakları yaratılmasına, GSYH'nin artmasına ve dolayısıyla toplumsal refah seviyesinin gelişmesine ve yaşam koşullarının iyileşmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

4-Nitelikli Eğitim

Hammaddelerin tüm değer zinciri boyunca ele alınması ve bu fikirlerin gençlere aktarılması, 10 ila 18 yaş arası öğrencilere yönelik bazı öğrenme yolları önemlidir. Gençler arasında modern toplumda hammaddelere nasıl ihtiyaç duyulduğuna dair anlayışı artırmayı ve bu alanda kariyeri çekici hale getirmeyi amaçlamak, öğrencilerin bilime ve teknolojiye ilgisini geliştirmek için farklı eğitim yaklaşımlarının kullanıldığı öğrenme yolları geliştirmek gerektiği belirtilmektedir [15]. Eğitim ve araştırmada "kritik hammaddelerin kullanımına ilişkin farkındalık" konulu bir ankette, ankete katılan araştırmacıların yarısının araştırma projeleri için kullanılan materyallerin gelecekte elde edilebilirliğini hesaba katmadığını ortaya çıkardı. Ankete katılan araştırmacıların %33 kadar azının kullanılan malzemenin kökenini bilmesi, araştırma projesinin başarısı ve gelecekteki bir pazara aktarılması durumunda gelecekteki tedarik riskinin tahminine ilişkin önemli bir gerçektir [16]. Gelişen teknolojilerin gerektirdiği beceriler, hızlı değiştiği için eğitim esas olarak hammaddelerle ilgili konulara odaklanırken, iletişim ve yönetim gibi yeni ortaya çıkan ve teknik olmayan becerilerde eksiklikler vardır. Bu makalede, halihazırda öğretilen becerileri ve yüksek öğretimin yapısını belirleyerek, hammadde eğitiminin gelecekteki analizi için bir bilgi tabanı oluşturmaktadır. Kapsamlı bir "beceri kataloğuna" yol açacak şekilde beceriler, bilgi ve öğretim alanlarının bir tanımı sunulmaktadır. Dünya çapındaki hammadde eğitimi envanterinin temelini oluşturur [17]. Hammaddelerle ilgili eğitim programı, konferans vb. sayısı temel göstergelerden olabilir. Yine, madencilikte çocuk işçi sayıları da olumsuz bir gösterge olarak ele alınabilir. Bu gösterge, nitelikli eğitimden yoksun çocuk sayısını artırdığı için, kalkınma anlamında negatif etkileri olacaktır.

5- Toplumsal Cinsiyet Eşitliği

Cinsiyet eşitliği konusu, hammadde bağlantılı çalışmalarda bulunamamaktadır. Bununla birlikte, toplumsal cinsiyet ayrımcılığının yarattığı sosyal, ekonomik ve politik eşitsizlikler, ekonomi, insana yakışır iş, eğitim, sağlık, karar alma hedeflerinin gerçekleştirilmesini sektöre uğratabilmektedir. Büyük ölçekli madencilikte kadın istihdamı düşüktür. Kadınların sektöre katılımını artırmaya yönelik birçok girişim ve program sayısı, temel gösterge olabilir.

6-Temiz Su ve Sanitasyon

Madencilik faaliyetleri, maden çıkarma, cevher işleme vb. sırasında kirleticilerin suya, toprağa ve havaya salınmasına katkıda bulunur. Bu kirleticiler ve tehlikeli maddeler su kalitesi üzerinde olumsuz etkileri olan maddelerdir. Atık yönetimi veya depolama tesislerinden kaynaklanan zehirli atıklar ve sızıntılar da yer altı suyu kaynaklarına nüfuz edebilir.

7-Erişilebilir ve Temiz Enerji

Türkiye'nin yenilenebilir enerji ve yeşil teknolojilere artan odaklanmasına bağlı olarak, bu malzemelere olan talep ve arz açığının katlanarak artması beklenmektedir. Bu geçişin zorluklarıyla başa çıkmak için bu malzemelere yönelik gelecekteki gereksinimleri karşılayacak politikalar belirlemelidir. Stratejik hammadde tedarikleri, büyük miktarda ham madde içeren yeşil teknolojilerle bağlantılı olarak risk altındadır. AB'nin Kritik Hammaddeler ile ilgili geliştirdiği strateji ve politikaların bir diğer önemli hedefi de net sıfır emisyon hedefi için gereken teknolojilerde (yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik motorları, batarya)

kritik hammaddelere olan bağımlılıktır. Yeşil teknolojilere ve ürünlere yönelik artan talep nedeniyle kritik hammaddelere olan talebin artması beklenmektedir [18].

Enerji açısından daha verimli aydınlatma teknolojilerine yönelik eğilimlerin, son zamanlarda tedarik riski açısından bazı kritik hammaddelerin önemini arttırdığını, AB raporunda 5 kritik olarak tanımlanan ve aydınlatma uygulamalarında kullanılan altı hammaddenin ikame seçeneklerini değerlendirmeyi araştırmaktadır [19].

Sürdürülebilir bir dünyaya doğru ilerleme ihtiyacı, temiz enerji kaynaklarından yararlanılmasını gerektirdiğini ve bunlardan en önemli ikisinin rüzgâr ve güneş PV uygulamaları olduğu belirtilmektedir. Bu teknolojilerin, nadir toprak elementleri gibi sıklıkla kritik kabul edilen ve gelecekte sorunlara yol açabilecek bazı hammaddelerin kullanımını gerektirdiği için ikame teknolojinin ve malzemelerin kullanımı, malzeme yoğunluğunun iyileştirilmesi, geri dönüşüm gibi uygulamaların gerekliliği vurgulanmaktadır [20].

Lityum iyon piller olarak adlandırılan alternatif sistemlerin, dünyanın enerji altyapısında devrim yaratacağını ve bu teknolojilerin tedarik riski ve çevresel etki ölçümleri açısından incelemeleri yapılmaktadır. Ayrıca, maliyet ve performansın analizi gerçekleştirildikten sonra, kobalt ve lityumun tedarik risklerinin arttığı, nikelin yüksek çevresel etkiye sahip olduğu belirtilmektedir [21].

8-İnsana Yakınsır İş ve Ekonomik Büyüme

Yenilikçi teknolojilerin hızlı gelişimi, nüfus artışı, değişen kaynak yönetimi modelleri önümüzdeki yıllarda kritik hammaddelere olan talebi artırması beklenmektedir. Artan endişeler, ekonomik büyümede etkili kritik hammaddelerin önemini artırmaktadır [22]. Hammaddelere dayalı yeşil bir plan, lineer ekonomiden doğrusal ekonomiden yeşil döngüsel ekonomiye geçişi kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla, Türkiye'nin yeşile geçişi için stratejik malzeme temini sağlanmakta ve bu malzemelere olan talebin karşılanması sağlanmaktadır. Eksikliği önlemek için hammadde ikamesine yönelik yatırımlar araştırılmalıdır.

Literatürde, kritik hammaddelerin artan tedarik riski ve arz sıkıntısının ekonomiye etkilerini tartışmışlardır [23]. Tedarik riskinin etkilerinden kaçınmak için, sürdürülebilir madencilik, ikame endeksi ve kentsel madencilikte yenilikler olması gerektiği belirtilmektedir. Doğal grafit talebi yoğunlaşmasının ekonomik büyümeye etkileri incelenmiştir. Doğal grafit ihracat yoğunlaşması ile dünya ekonomilerindeki büyüme ilişkisi incelenip, dünyanın en büyük rezervlere sahip Türkiye'de bu maden için alınacak önlemler tartışılmaktadır [24].

9-Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı

Malzemenin dinamizmini dikkate alan, sürekli değişen, birçok parametre ve değişkeni içinde barındıran bu kadar karmaşık bir sistemde, analiz çalışmaları yapabilmek için makine öğrenmesi gibi ileri teknoloji uygulamalarının kullanılması önemlidir. Malzeme kritikliğinin değerlendirilmesi, çoğunlukla risk değerlendirme teorilerinin yapısını takip ederek tahminlere dayanmaktadır; ancak, büyük veri analitiği ile değer zincirinin tüm seviyelerindeki verilerin kombinasyonu, bölgesel ve ulusal ekonomiler için önemli pazar avantajları sağlamaktadır [25].

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerini desteklemek için hammadde sektörünün dijitalleşmesi ve otomasyonu gerektiği, görüntüleme sensörü gibi önemli bir teknolojik yenilik olarak verilerin işlenmesine yönelik makine öğrenimindeki ilgili son gelişmelerin önemli olduğu değerlendirilmektedir. Yenilikçi işleme akışları ve ham madde çıkarma, sınıflandırma ve süreç otomasyonu gibi konular açıklanmaktadır [26].

AB ülkelerindeki maden kaynaklarının tedarikini güvence altına alma çabaları, yenilikçi teknolojilerin gelişmesiyle birlikte kritik hammaddelere olan talebin artmasıyla artmaktadır. Çalışma, Polonya'da kritik hammaddelerin elde edilmesinin hem birincil hem de ikincil kaynaklarla mümkün olabileceğini araştırmaktadır [27]. Kritik hammaddeler bilindiği üzere özellikle yüksek teknoloji ürünlerin üretiminde vazgeçilmez bileşenlerdir. Dünya nüfusunun hızla artması ve beraberinde teknolojik gelişmelerle birlikte yaşam standartlarının yükselmesi, yüksek teknoloji ürünlerde talep artışına neden olmakta ve dolayısıyla kritik hammaddelere olan talep hızla artmaktadır [28].

10-Eşitsizliklerin Azaltılması

Az gelişmiş ülkelerden yapılan hammadde ithalatına uygulanan tarife sınırlarının oranının optimal düzeye getirilmesi, maden sektörüne yönelik kritik hammadde metodolojilerinin daha şeffaf ve daha iyi hale getirilirse kritik hammaddelere katılım daha verimli olacaktır ve eşitsizliklerin azaltılması sağlanacaktır. Böylece jeopolitik gerilimler azaltılmış olacaktır [29]. Ayrıca, haksız ticaret uygulamalarıyla mücadelede daha etkili önlemler alınmalıdır. Ülkelerin kaynak rekabetine girmeleri iktisadi açıdan piyasalara yönelik giriş ve çıkış engellerine yol açabilmektedir.

İnsan hakları ihlalleri, çocuk işçiliği, güvencesiz ve tehlikeli çalışma koşulları, yasadışı ticaret, güç dengesizlikleri, yönetim ve kurumsal ortam, kaynak çatışmaları ve farklı kaynak kullanımları arasındaki rekabet konularında kritik hammadde değerlendirmeleri önem kazanmaktadır [30].

11-Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar

Hava kalitesine ve atık yönetimlerine özel önem göstererek, olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması önemlidir. Hammaddelerin geri dönüştürülmesi esnasında havaya bıraktığı partiküller, içerisinde stratejik hammadde olan elektronik cihaz atıkları sayısı önemli göstergeler olabilir. Olumlu değerlendirilebilecek gösterge olarak elektrikli araç sayıları verilebilir. Lityum ve kobalt madenleri içeren elektrikli araçlar, daha az emisyon ile sunduğu hava kalitesiyle sürdürülebilir şehirlere katkıda bulunmaktadır.

Kritik hammaddeler ile Avrupa Birliği (AB) içindeki şehirler arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmada, kirlenici olarak kritik hammaddeler, geri dönüşümleri ve bunlara uygulanabilecek yeni teknolojiler kapsamında şehirlerin gelişmesinin ve yenilenmesinin giderek daha fazla kritik hammaddelere bağlı olacağını ifade etmektedir. Kentsel dönüşüm ve yenilenmeyle ilgilenen profesyonellerin kritik hammaddelerle ilgili giderek daha fazla konuyu yönetmek zorunda kalacağını da belirtilmektedir [31].

12-Sorumlu Üretim ve Tüketim

Hammadde kapsamında oluşturulabilecek göstergeler, ulusal geri dönüşüm oranları, geri dönüştürülen hammadde miktarları, yurtiçi hammaddelerin üretim ve tüketim değerleri, ülkede sürdürülebilir tüketimde, üretimde ve çevre dostu teknolojilerde araştırma-geliştirme için destekler, teşviklerin sayısı olarak gösterilebilir.

Hammadde Temini Girişimi tarafından yürütülen kritik hammadde değerlendirmesine odaklanan araştırma çalışmasının sonuçları özetlenmektedir. Polonya'nın maden rezervi tabanının Avrupa Birliği için olası bir kritik hammadde kaynağı olma potansiyeli sunulmaktadır. Arz sınırlamasının ekonomik sonuçları, arzın azalma riski ve çevresel risk, niceliksel değerlendirme ile ele alınmaktadır [32].

13-İklim Eylemi

Yeşil teknolojilerin hızla gelişmesi çevrenin, insan sağlığının korunması ve döngüsel ekonominin inşası için büyük önem taşıması ve düşük karbon uygulamaları bağlamında stratejik hammaddelere bağımlılık arttıkça, ham maddelerin kapsamlı bir çerçeve kullanılarak değerlendirilmesi için yoğun çabalar sarf edilmelidir. Düşük karbon geçişleri için rüzgâr türbinleri, güneş panelleri, elektrikli araçlar stratejik öneme sahiptir ve bu düşük karbonlu ürünlerin içindeki stratejik hammaddeler sayesinde yeşil büyüme sağlanmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin kıtlığı, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli olan yeşil geçişi etkilemektedir [33]. Stratejik hammaddelere dayalı olarak, yeşil kaynaklara olan güveni artırmak için kaynak mevcudiyeti ve sürdürülebilirlik esastır [34].

İklim değişikliğine ilişkin endişelerle, ulaşım sistemlerinin değişmesine yol açtığı için elektrikli araçlara yönelik lityum iyon akülerin kritik olan lityum, manganez ve kobalt kullanımını ve kritik hammaddelerin tedarik kesintisinin riskini azaltmak gerektiği vurgulanmaktadır [35].

14-Sudaki Yaşam

Kaynak verimliliği, döngüsel ekonomiye dönüşüm hedefleri kapsamında, detaylı bir eylem önerisi ve atık konusunda yasal düzenlemeleri içeren "Döngüsel Ekonomi Paketinden" bahsetmektedir [36]. Bu doğrultuda, ülkelerin atık ve kaynak yönetimi konusundaki tedbirleri tartışılmaktadır. Hammadde işleme ve çıkarma faaliyetlerden kaynaklanan su kirliliğinin önlenmesi, su atıklarının önemli ölçüde azaltılması, ülkelerin önlem alması gereken konulardandır.

Deniz suyu, hammadde çıkarımı için potansiyel bir kaynak olup, NaCl, en kritik mineral olmasına rağmen, Mg, Li, Sr, Rb ve B gibi diğer elementler (Cs, Co, In, Sc, Ga ve Ge) de deniz suyunda bulunmaktadır. Bunların çoğu Avrupa Birliği tarafından Kritik Hammadde olarak değerlendirilmektedir [37].

15-Karasal Yaşam

Hammaddelerin işlenme aşamalarında çevre kirlenmesi oluşması mümkündür. Böylelikle, biyoçeşitliliğin azalmasının büyük miktarlarda mevcut olduğu sanayi ülkelerinin üretim sektörlerine zorunluluklar dayatılmış ve bu durum da maliyetlerini büyük ölçüde etkilemiştir. Örneğin, uranyum çıkarılırken çok fazla arazi işlendiğinden dolayı ortaya çıkan atık miktarı fazladır ve karadaki yaşam için olumsuzdur [38]. Bununla birlikte, nükleer santrallerde uranyum yerine toryum kullanılırsa daha az atık oluşturmaktadır. Hammadde kapsamında oluşturulabilecek göstergeler, biyoçeşitliliğin sürdürülebilir kullanımı ve korunması konusunda kamu harcamaları, hammadde çıkarılması esnasında toplam bozulmuş arazi oranı olarak sunulabilir.

16-Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar

Her düzeyde etkin, hesap verebilirliği yüksek ve şeffaf kurumların olması bu hedef altında incelenebilir. Avrupa birliği hammadde listesi oluşturulduğunda eleştiriler, izlenen yöntemin şeffaflığı konusunda olmuştur. Dolayısıyla, ülkenin hammadde

stratejileri oluşturulurken veri, yöntem ve sonuçların ulusal güvenliği riske atmayacak şekilde şeffaf olarak paylaşılması gerekmektedir. Hammadde kapsamında oluşturulabilecek göstergeler, hammadde konusunda oluşturulan ülke içindeki topluluklar, kurumlar, raporların sayısı, İfade Özgürlükleri ve Şeffaflık, Siyasi Denge ve Şiddet Önleme, Hükümetin Etkin olması, Düzenlemede Kalite, Hukuk Üstünlüğü, Yolsuzlukla Mücadele gibi alt endekslerin toplamından oluşan Dünya yönetim endeksi olarak sunulabilir.

Nesiller arası adalet için, karbondan arındırmanın önemi vurgulanmaktadır. Tüm ülkelerde, stratejiler emisyonlarda net sıfır ilkesinde ilerlemektedir. Bu kapsamda atılacak tüm adımlar, kritik hammaddelerin tedarik risklerinde sıkıntıya sebep olmaktadır. Karbondan arındırma yolları ve teknolojilerini gerçekleştirmek için gereken malzemeleri adil ve sürdürülebilir bir şekilde güvence altına almak için gerekli yönetim taktikleri olması gerektiği ve bu konuda boşluklar olduğu vurgulanmaktadır [39].

17-Amaçlar İçin Ortaklıklar

Hammadde konusu, üretici ve tüketici devletlerin iş birliği yaptığı veya karşı karşıya geldiği bir oyun teorisi yaklaşımında çözülebilir. Üretici ülkeler, hammaddeleri üzerinde güç stratejileri uygulamaktadır. Tüketici ülkeler ise, atıklardan geri dönüşüm ve verimli kaynak kullanımı ile etkileme stratejileri uygulamaktadır. Dolayısıyla, ülkeler arasında hammadde iş birliği politikaları oluşturmalıdır. Hammadde kapsamında oluşturulabilecek göstergeler, hammadde üretiminin yoğun olduğu ülkelerle iş birliği anlaşmaları ve programlarının sayısı, hammadde politikaları oluşturmada kamu, özel ve sivil toplum iş birliklerinin özendirilmesi ve destek sunulması olarak belirtilebilir. AB, aynı amaçlar için ortaklık kapsamında küresel tedarik zincirlerini geliştirmek isteyen ülkelerle Kritik Hammaddeler Kulübü kurulması konusunda faaliyetlerde bulunmaktadır.

3. Stratejik Planlama

Hammaddelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde incelenmesinde, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için gerekli teknolojilerde kullanılan hammaddelerin önemi ve çıkarılmasında girilen madencilik faaliyetlerinin olumsuz çevresel etkilerinin yarattığı ikilemi tartışmak gerekmektedir. Bu ikilemi analiz etmek adına kullanılan en etkili analiz yöntemlerinden biri SWOT analizidir. SWOT analizi, optimal bir strateji belirleyebilmek adına kullanılan en temel adımlardan biridir. SWOT, güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler anlamına gelen kısaltmadır. Planlamada dikkate alınacak temel bilgilerin analiz edildiği aşama olan SWOT analizi, Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. SWOT Analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
<p>Lityum ve kobalt madenleri içeren elektrikli araçların, daha az emisyon ile sunduğu hava kalitesi</p> <p>Kritik hammaddelerin, özellikle yüksek teknoloji ürünlerin üretiminde vazgeçilmez bileşenler olması</p> <p>Kritik hammaddelerin temiz enerji ve enerji bağımsızlığındaki önemi</p> <p>Kritik hammaddelerin yeşil ve dijital ekonominin yapı taşlarını oluşturması</p> <p>Kritik hammaddelerin sağlık sektöründe yenilikçi ürün ve üretim süreçlerinde kullanılması</p>	<p>Hammaddelerin üretiminde sera gazı emisyonları</p> <p>Kobalt sülfat soluma kaynaklı kanser hastalığı artışı</p> <p>Uranyum kaynaklı radyasyon maruziyeti</p> <p>Madencilikte çocuk işçi sayıları</p> <p>Hammaddelerin geri dönüştürülmesi esnasında havaya bıraktığı partiküller</p>
Tehditler	Fırsatlar
<p>Hammadde sektöründe kaynak milliyetçiliği</p> <p>Yeşil teknolojilere olan talep fazlalığının hammadde arz açığını arttırması</p> <p>Hammadde çıkarma projelerinin, çıkarılacak bölgede doğayı tehdit etmesi yönünde oluşan görüşler</p>	<p>Hammadde sektörünün, yerel ekonomi, istihdam konusundaki katkıları</p> <p>Hammaddelerin yeşil teknolojilerin hızla gelişmesi ve döngüsel ekonominin inşasındaki rolü</p> <p>Küresel tedarik için Kritik Hammaddeler Kulübü, Stratejik Ortaklıklar</p> <p>Hammaddelerin ihracatının ekonomik büyümedeki rolü</p> <p>Tedarik zincirlerinin politik çatışma riskinin az olduğu ülkelere taşınması</p> <p>Kaynak verimliliği için inovasyonun desteklenmesi</p> <p>Doğal kaynak yeterliliği arayışının ülkelerin jeopolitik faaliyetlerini artırması</p>

TOWS analiziyle, SWOT analizindeki kriterlerin güçlendirilmiş versiyonu olarak sonuçları analiz eden bir stratejik planlama aracıdır. TOWS analizi ile, güçlü özelliklerle fırsatları, zayıf özelliklerle tehditleri eşleştirerek, geleceğe yönelik stratejiler belirlenmektedir. Hammaddelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde incelenmesinde, hammaddelerin güçlü yönlerinin fırsatlara dönüştürülmesi noktasındaki stratejiler, güçlü yönlerin tehditleri önlemek adına kullanılması, zayıf yönlerin fırsatlara çevirebilme adına yapılması gerekenler ve zayıf yönlerin tehdit olarak dönüşmesinde uygulanması gereken önlemler tartışılmaktadır. Tablo 2’de TOWS analiziyle SWOT analizi sonuçları değerlendirilmektedir.

Tablo 2. TOWS analizi

	Fırsatlar	Tehditler
Güçlü Yönler	Batarya hücre teknolojilerinde kullanılan hammaddelerin sürdürülebilir akıllı ulaşımı desteklemesine yönelik iş birlikleri	Hammaddelerin ikincil üretiminde hurda ayıklama yöntemlerinin döngüsel ekonomiye destek sağlayacak biçimde geliştirilmesi
Zayıf Yönler	Bor üretirken ortaya çıkan kil ve atıklardan, bataryada kullanılan lityum bileşikler geliştirilmeye yönelik projeler	Karbon siyahının insana ve çevreye verdiği zararların tehdit oluşturmasını önlemek adına çevre dostu yöntemlerin geliştirilmesi
	Bazı kritik hammaddelerin salt madencilik projesi olarak değerlendirilip cevher olarak satılmasının düşük ekonomik değerinin, ara ürün veya uç ürüne dönüştürülmesiyle değerlendirilmesine yönelik değer zincirleri oluşturulması	İklim hedeflerini yakalamak için girişilen madencilik faaliyetlerinin olumsuz çevresel etkilerini yenilikçi teknolojiler ve geri dönüşüm ile önlenmesi

Stratejik planlama sürecinde önemli olan kritik başarı faktörlerinin dört temel kaynağı, sektörün yapısı, rekabet stratejisi, endüstrideki konum, çevre faktörleri, zaman olarak tanımlanmaktadır [40]. Tablo 3’te hammaddelerin SKH kapsamında rekabet oluşturabilecek, çevre, zaman, konum bağlantılı başarı faktörleri ve ölçütleri tanıtılmaktadır.

Tablo 3. Hammaddelerin, SKH kapsamında kritik başarı faktörleri ve performans ölçütleri

Kritik Başarı Faktörleri	Performans Ölçütleri
Yoksulluğun sonlandırılması	Hammadde dış ticaret hacminin milli gelire oranı
Açlığın sonlandırılması	Hammaddeden zengin toprak kalitesi istatistikleri
Sağlıklı ve kaliteli yaşam	Hammadde kaynaklı zararlı kimyasallardan kaynaklanan hastalıkların ve ölümlerin sayısı
Nitelikli eğitim	Hammadde eğitimi envanteri
Cinsiyet eşitliği	Sektörde çalışan kadın/erkek sayıları
Temiz su	Su verimliliği, atık su arıtımı, geri dönüşüm ve tekrar kullanım teknolojilerinde kullanılan hammadde oranı
Temiz enerji	Hammaddelerin enerji sektöründe kullanım payı Yenilenebilir enerji istatistikleri Temiz enerji dönüşümünde hammadde talep analizleri Temiz enerji teknoloji hammaddelerinin toplam talep içindeki payları
Ekonomik büyüme	İthalat bağımlılığı oranı Hammaddelerin imalat sektörlerinde kullanım payı ve katma değeri Pazar yoğunlaşması değeri
Eşitlik	Küresel hammadde piyasalarının ve kurumlarının düzenlenmesi ve denetlenmesinin geliştirilmesi projeleri
Sürdürülebilir şehirler	Sürdürülebilir kentleşme için hava kalitesini iyileştiren elektrikli araç sayıları İkame endeksi
İklim dengesi	Hammaddelerin kullanım ömrü sonu geri dönüşüm girdi oranı Hammadde sektörüyle ilgili iklim politikaları sayısı
Sudaki yaşamı koruma	Deniz ve kıyı ekosistemleri iyileştirme teknolojilerinde kullanılan hammadde
Karasal yaşamı koruma	Hammadde çıkarma faaliyetlerinde tahrip olan ve düzeltilen arazi çalışmaları sayısı
Adaletin sağlanması	Küresel hammadde ticareti için ayrımcılık gözetmeyen yasa ve politikaların sayısı
Stratejik ortaklıklar	Çok paydaşlı ortaklıklarının sayısı

4. Türkiye’de SKH ve hammaddeler

SKH yoksulluğun ve açlığın sonlandırılmasında ülke gelirinin öneminden ve dış ticaret hacminin öneminden bahsedilmektedir. Türkiye’nin maden dış ticareti ele alındığında, madenlerin ihracat değerinin geçen yıllara göre arttığı gözlemlenmiştir. İhracat gelir artışı ve istihdam üzerinde önemli rol oynadığı için, yoksulluk ve açlık parametreleri üzerinde

etkileri mevcuttur. Türkiye’de madencilikte geçen yıllara göre ihracat artışı olduğu için SKH’nin iki hedefi için pozitif etkileri olacağı düşünülmektedir. Türkiye'nin ilk bor karbür tesisi Balıkesir’in Bandırma ilçesinde 2023 yılında açılmış olup, yaratacağı istihdam olanakları ile yoksulluğun azaltılması hedefine katkı sağlayacaktır. Bor karbür, ayrıca sağlıklı ve kaliteli yaşam hedefine de kanser tedavisinde kullanılması sebebiyle katkı sağlamaktadır [41]. Temiz enerji hedefleri için, elektrikli araçların ülkedeki artışıyla, enerji depolama sistemleri için en önemli hammadde olan lityum iyon pil üretimi için Aspilsan Enerji ve Eti Maden’in bor atığından lityum elde etme projesi faaliyete geçmiştir [42]. Türkiye, 2053 Karbon nötr olma hedefine yönelik güneş, rüzgâr enerjisi, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Bu kaynakların teknolojileri için gerekli hammaddelerin yerli kaynaklardan karşılanması çok önemlidir. Bu enerji kaynaklarını desteklemek amacıyla birçok teşvik ve destek mekanizmaları sunulmaktadır [43]. Türkiye, MTA aracılığıyla Japonya, Bulgaristan, Kanada, Fransa, Norveç ülkeleriyle ortak projeler yürütmektedir [44]. Amaçlar için ortaklıklar hedefinde, ülkenin maden arama veya işleme aşamalarında daha fazla iş birliği yürütmesi gerekecektir. Türkiye, küresel hammadde sektöründe, kritik hammaddelerin tedarik zincirinde uygulayacağı yatırım ve politikalarla stratejik rol üstlenebilecektir.

5. Bulgular

Bu bölümde, incelenen çalışmalarda SKH kapsamında hammadde ve hedef bağlantılarına dair bulgular incelenmektedir. Buna göre, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile hammaddelerin bağlantısının incelendiği çalışmada, 9 (Sanayi, Yenilik ve Altyapı), 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) ve 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji) ile güçlü bir bağlantısının olduğu elde edilmektedir. En az bağlantılı olan hedefler, toplumsal cinsiyet eşitliği ve eğitim konularında olmaktadır. Cinsiyet eşitliği, sadece madencilik sektöründe çalışan kadın erkek sayıları dengesi temelinde ele alınırken, eğitim konusunda, hammadde sektöründe nitelikli eğitimin faydalarından bahsedilmektedir. Çalışmamıza benzer bir başka çalışmada, benzer sonuçlar elde edilmektedir [45]. Bu çalışmada, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 9 (Sanayi, Yenilik ve Altyapı), 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) ve 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji), çalışmaya katılan paydaşlar tarafından en yüksek puanları almaktadır ve hammadde sektörü ile bu alt başlıklar arasında güçlü bir bağlantı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, hammadde sektörü için bir diğer raporda, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 9 (Sanayi, Yenilik ve Altyapı), 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme) ve 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji), 6 (Temiz Su ve Sanitasyon), 13 (İklim Eylemi) ve 15 (Karasal Yaşam) ile ilişki gözlenmektedir [46]. Bu sonuçların, günümüzde yeşil ve dijital dönüşüm kapsamında yürütülen çalışmaların artmasıyla bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, hammadde konusu itibarıyla, yenilik, ekonomik büyüme ve enerji alanlarına en fazla girdi oluşturabilecek durumdadır. Çalışmada SWOT analizinden elde edilen bulgular, hammadde konusunun fırsatlar bağlamında önemli girdiler sunduğunu göstermektedir. Hammaddelerin, yeşil ve dijital dönüşüm kapsamındaki itici gücünün ülke adına fırsatlara dönüştürülmesi için efor sarf edilmelidir. Böylelikle, zayıf yönler veya tehditler olarak görünen negatif etkilerin tersine döndürülmesi kaçınılmaz olacaktır. Kritik başarı faktörleri analizi sonucunda, her bir hedef başlığı altında oluşturulan performans ölçütleri ileride yapılacak veri analizi çalışmaları için de önemli sonuçlar içermektedir. Ülkelerin, hammadde politikaları oluştururken yürüteceği çalışmalarda değerlendirebileceği kantitatif sonuçlar sunacak ölçütler sunulmaktadır.

6. Sonuç ve Tartışma

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında, ekonomik büyüme adına yapılan ödünleşimlerle, sosyal yaşam ve çevresel duyarlılık gibi konular göz ardı edilmektedir. Sürdürülebilir kalkınmanın çevre, sosyal ve ekonomik gibi çok sayıda başlıkları ve alt başlıkları olması ve bu başlıkların belirli sektörlerle entegrasyon ihtiyacı oluşturması, bu alanda yapılan çalışmaları zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, sürdürülebilir kalkınmada birbiriyle bağlantılı hedeflerin kesişimini, bu hedeflerin eş zamanlı ilerlemelerini ve kazan-kazan yaklaşımını araştırmak doğru strateji olacaktır. Ekonomik büyüme hedefi ve temiz teknoloji hedefini ayrı ayrı ele almak yerine yeşil ekonomi veya döngüsel ekonomi olarak tanımlanan başlık altında yürütmek, sürdürülebilirlik çalışmalarına yardımcı olabilmektedir. Çalışmanın sonuç kısmında, çalışmadan elde edilen bulguların tartışılması ve ileride yapılacak çalışmalara öneriler sunulmaktadır.

- Tedarik zincirindeki çeşitlendirmeye ilaveten, kritik hammadde tedarik zincirlerinin çevresel, sosyal ve yönetim özellikleri bağlamında ele alınması gerekmektedir. Hammadde konusunun, çevre kirliliğine, doğa tahribatına, karbon emisyonu veya insan hakları ve iş ihlallerine sebep olmamak üzere yürütülmelidir.
- Hammaddelerin, SKH çerçevesindeki katkılarını oluştururken, yetersiz finansal ve insan kaynakları, küresel senaryolardan haberdar olmama gibi engellerin aşılması adına kamu ve özel sektör iş birliği sağlanmalıdır. Sürdürülebilir kalkınma ve hammadde birliğinde ilerleme kaydedilebilmesi adına devlet kurumları ve sektör uzmanları tarafından üstlenilen çalışmaların koordinasyonuna ihtiyaç bulunmaktadır.
- Sürdürülebilirlik için hammadde tedarik süreçlerinin yönetilmesine yönelik düşük ve yüksek gelirli ülkeler arasında stratejik ortaklık yaklaşımı gerekmektedir.

- Lityum metal, lityum sülfür gibi enerji yoğunluğu yüksek batarya teknolojilerinin sürdürülebilir ulaşım için kullanımı teşvik edilmelidir.
- SKH kapsamında hammaddelerle en az bağlantılı olan hedefler olan toplumsal cinsiyet eşitliği ve eğitim konularında göstergeler elde etmek adına çalışmalar yapılabilir. Özellikle, uzun yıllardır çevresel endişeler ve hammadde sektörü ilişkilendirildiği için çevre inisiyatifleri tarafından tepki çeken madencilik sektörünün yenilenebilir enerji sektörüyle olan olumlu etkileri konusunda eğitimler düzenlenebilir. Sürdürülebilir madencilik ve kadın girişimciler konusu, günümüzde birçok programda ele alınmaktadır. Bu konuda, ülkemizde düzenlenen çalıştay, kongre, vb. organizasyonlarda konunun ele alınması toplumsal cinsiyet eşitliği başlığı için olumlu katkılar sunacaktır.
- Simülasyon tabanlı karar destek sistemleri, sistem performansı ve kaynak verimliliğini iyileştirmektedir [47]. Geliştirilecek karar destek sistemiyle, hammadde taleplerindeki değişimlerin etkileri gözlenebilecektir. Böylelikle, hammadde politika senaryoları geliştirilecektir.
- Son olarak, hammaddelerin SKH' leri ne ölçüde etkileyeceği eğitim, bilimsel ve teknolojik gelişmelere yapılan yatırımlar, sonuç odaklı ve hesap verebilir bir sistemle mümkün olacaktır.

Teşekkür

Çalışma, "Stratejik Hammaddeler ve İleri Teknoloji Uygulamaları İhtisas Üniversitesi" olan Munzur Üniversitesi'nde yürütülen ihtisaslaşma projesi çerçevesinde tamamlanmıştır. Stratejik Hammaddeler ve İleri Teknoloji Uygulamaları İhtisaslaşma Koordinatörlüğüne destekleri için teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] Michal, C., & Zuzana, Š. (2021). Critical raw materials as a part of sustainable development. *Multidisziplinárís Tudományok*, 11(5), 12-23.
- [2] Tzachor, A., Sabri, S., Richards, C. E., Rajabifard, A., & Acuto, M. (2022). Potential and limitations of digital twins to achieve the sustainable development goals. *Nature Sustainability*, 5(10), 822-829.
- [3] Obaideen, K., Abdelkareem, M. A., Wilberforce, T., Elsaid, K., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., & Olabi, A. G. (2022). Biogas role in achievement of the sustainable development goals: Evaluation, Challenges, and Guidelines. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 131, 104207.
- [4] Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., ... & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature communications*, 11(1), 1-10.
- [5] Mehmood, U. (2021). Contribution of renewable energy towards environmental quality: The role of education to achieve sustainable development goals in G11 countries. *Renewable Energy*, 178, 600-607.
- [6] Tomazinakis, S., Valakas, G., Gaki, A., Damigos, D., & Adam, K. (2021). The Significance of SDGs for the Raw Materials Sector: A Stakeholders' Approach in Three ESEE Countries. *Materials Proceedings*, 5(1), 48.
- [7] Mancini, L., Vidal Legaz, B., Vizzarri, M., Wittmer, D., Grassi, G., & Pennington, D. (2019). Mapping the role of raw materials in sustainable development goals. A Preliminary Analysis of Links, Monitoring Indicators, and Related Policy Initiatives, 3, 1-9.
- [8] da Silva Lima, L., Cocquyt, L., Mancini, L., Cadena, E., & Dewulf, J. (2023). The role of raw materials to achieve the Sustainable Development Goals: Tracing the risks and positive contributions of cobalt along the lithium-ion battery supply chain. *Journal of Industrial Ecology*, 27(3), 777-794.
- [9] Maxwell, S. L., Milner-Gulland, E. J., Jones, J. P., Knight, A. T., Bunnefeld, N., Nuno, A., ... & Rhodes, J. R. (2015). Being smart about SMART environmental targets. *Science*, 347(6226), 1075-1076.
- [10] Baranzelli, C., Blengini, G. A., Josa, S. O., & Lavallo, C. (2022). EU–Africa Strategic Corridors and critical raw materials: two-way approach to regional development and security of supply. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 36(9), 607-623.
- [11] Wongnaa, C. A., & Awunyo-Vitor, D. (2018). Achieving sustainable development goals on no poverty and zero hunger: Does technical efficiency of Ghana's maize farmers matter? *Agriculture & Food Security*, 7(1), 1-13.

- [12] Khanal, U., Wilson, C., Rahman, S., Lee, B. L., & Hoang, V. N. (2021). Smallholder farmers' adaptation to climate change and its potential contribution to UN's sustainable development goals of zero hunger and no poverty. *Journal of Cleaner Production*, 281, 124999.
- [13] McLaughlin, M. J., Parker, D. R., & Clarke, J. M. (1999). Metals and micronutrients—food safety issues. *Field crops research*, 60(1-2), 143-163.
- [14] Nieder, R., Benbi, D. K., Reichl, F. X., Nieder, R., Benbi, D. K., & Reichl, F. X. (2018). Microelements and their role in human health. *Soil components and human health*, 317-374.
- [15] Torreggiani, A., Zanelli, A., Degli Esposti, A., Polo, E., Dambruoso, P., Lapinska-Viola, R., ... & Benvenuti, E. (2021). How to prepare future generations for the challenges in the raw materials sector. In *Rare Metal Technology 2021* (pp. 277-287). Springer International Publishing.
- [16] Hofmann, M., Hofmann, H., Hagelüken, C., & Hool, A. (2018). Critical raw materials: A perspective from the materials science community. *Sustainable Materials and Technologies*, 17, e00074.
- [17] Hartlieb, P., Jorda Bordehore, L., Regueiro y González-Barros, M., Correia, V., & Vidovic, J. (2020). A comprehensive skills catalogue for the raw materials sector and the structure of raw materials education worldwide. *Mining Technology*, 129(2), 82-94.
- [18] Rietveld, E., Bastein, T., van Leeuwen, T., Wieclawska, S., Bonenkamp, N., Peck, D., ... & Poitiers, N. (2022). Strengthening the security of supply of products containing Critical Raw Materials for the green transition and decarbonisation. European Parliament.
- [19] Pavel, C. C., Marmier, A., Tzimas, E., Schleicher, T., Schüler, D., Buchert, M., & Blagoeva, D. (2016). Critical raw materials in lighting applications: Substitution opportunities and implication on their demand. *physica status solidi (a)*, 213(11), 2937-2946.
- [20] Gotti, F. (2022). Critical raw materials for wind and solar PV energy applications: state of the art, future opportunities and critical issues.
- [21] Wentker, M., Greenwood, M., Asaba, M. C., & Leker, J. (2019). A raw material criticality and environmental impact assessment of state-of-the-art and post-lithium-ion cathode technologies. *Journal of Energy Storage*, 26, 101022.
- [22] Polat, E. G., Yücesan, M., & Gül, M. (2023). A comparative framework for criticality assessment of strategic raw materials in Turkey. *Resources Policy*, 82, 103511.
- [23] Hennebel, T., Boon, N., Maes, S., & Lenz, M. (2015). Biotechnologies for critical raw material recovery from primary and secondary sources: R&D priorities and future perspectives. *New biotechnology*, 32(1), 121-127.
- [24] Konuk, A., Gürsoy, Y. H., & Hakan, A. K. (2021). Doğal grafit ihracatı yoğunlaşmasının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3), 316-327.
- [25] Hofmann, M., Hofmann, H., Hagelüken, C., & Hool, A. (2018). Critical raw materials: A perspective from the materials science community. *Sustainable Materials and Technologies*, 17, e00074.
- [26] Ghamisi, P., Shahi, K. R., Duan, P., Rasti, B., Lorenz, S., Booyesen, R., ... & Gloaguen, R. (2021). The potential of machine learning for a more responsible sourcing of critical raw materials. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 8971-8988.
- [27] Jarosiński, A., Żelazny, S., & Cholewa, M. (2016). Raw Materials and Possibilities of their obtaining in Poland. *Inżynieria Mineralna*, 17(1), 233-240.
- [28] Michal, C., & Zuzana, Š. (2021). Critical raw materials as a part of sustainable development. *Multidisciplinárís Tudományok*, 11(5), 12-23.
- [29] Zhang, S. E., Bourdeau, J. E., Nwaila, G. T., & Ghorbani, Y. (2023). Emerging criticality: Unraveling shifting dynamics of the EU's critical raw materials and their implications on Canada and South Africa. *Resources Policy*, 86, 104247.
- [30] Mancini, L., & Sala, S. (2018). Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy*, 57, 98-111.

- [31] Foresta, D. L., & Cerasuolo, A. (2021). Critical raw materials and cities: A literature review. *Journal of Urban Regeneration & Renewal*, 15(1), 71-82.
- [32] Radwanek-Bąk, B. (2011). Mineral resources of Poland in the aspect of the assessment of critical minerals to the European Union Economy. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, (1).
- [33] Pommeret, A., Ricci, F., & Schubert, K. (2022). Critical raw materials for the energy transition. *European Economic Review*, 141, 103991.
- [34] Domaracka, L., Matuskova, S., Tausova, M., Senova, A., & Kowal, B. (2022). Efficient Use of Critical Raw Materials for Optimal Resource Management in EU Countries. *Sustainability*, 14(11), 6554.
- [35] Ziemann, S., Grunwald, A., Schebek, L., Müller, D. B., & Weil, M. (2013). The future of mobility and its critical raw materials. *Metallurgical Research & Technology*, 110(1), 47-54.
- [36] Veral, E. S. (2018). Döngüsel ekonomiye geçiş doğrultusunda yeni tedbirler ve AB üye ülkelerinin stratejileri. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, 17(2), 463-488.
- [37] Vicari, F., Randazzo, S., López, J., de Labastida, M. F., Vallès, V., Micale, G., ... & Cipollina, A. (2022). Mining minerals and critical raw materials from bittern: Understanding metal ions fate in saltwork ponds. *Science of The Total Environment*, 847, 157544.
- [38] Temurçin, K., & Aliğaoğlu, A. (2003). Nükleer Enerji Ve Tartışmalar Işığında Türkiye’de Nükleer Enerji Gerçeği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1(2), 25-39.
- [39] DeWit, A. (2023). Decarbonization and Critical Raw Materials. In *Governance for a Sustainable Future: The State of the Art in Japan* (pp. 279-298). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [40] Rockart, J. F. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard business review*, 57(2), 81-93.
- [41] Kurt, Ü., Can, M., Yahşi, M., Adıgüzel, N., Özkul, H., Turhan, A., ... & Üzer, S. (2023). Bor madenleri nedir? Nerelerde kullanılır? Türkiye ekonomisine etkileri ve dünyadaki yeri. *International Journal Of Social Humanities Sciences Research*, 10(94), 937-946.
- [42] Özdemir, A. (2023). Türkiye’de li-ion pil üretimi yatırımları. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(19), 79-86.
- [43] Arslan, H. (2023). Yenilenebilir enerji yatırımlarının finansman modelleri. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 10(4), 833-846.
- [44] Tuna, İ. K. (2010). Stratejik ve kritik madenlere ilişkin küresel politikalar çerçevesinde Türkiye’deki stratejik ve kritik madenlerin ulusal güvenliğe etkileri (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- [45] Tomazinakis, S., Valakas, G., Gaki, A., Damigos, D., & Adam, K. (2022). The importance and challenges of sustainable development for the raw materials sector: the views of key stakeholders in three ESEE countries. *Sustainability*, 14(7), 3933.
- [46] EBRD Extractive Mining Industries Strategy, 2018–2022. As Approved by the Board of Directors on 13 December 2017. 2017.
- [47] Derse, O., & Göçmen, E. (2018). A Simulation Modelling Approach for Analysing the Transportation of Containers in A Container Terminal System. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 2(1), 19-28.