

İKİZ DÖNÜŞÜM KAPSAMINDA KRİTİK HAMMADDE VE TEKNOLOJİLERİNİN ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ

TIME SERIES ANALYSIS OF CRITICAL RAW MATERIALS AND TECHNOLOGIES WITHIN THE SCOPE OF TWIN TRANSFORMATION

Halise Miray SAY^{*ID}
Mahir ÖNER^{**ID}
Elifcan GÖÇMEN POLAT^{***ID}

Öz

Kritik hammaddeler, sürdürülebilir ekonomi için oldukça önemli ve tedarikleriyle bağlantılı olarak yüksek risk taşıyan hammaddelerdir. Yeşil dönüşüm ve teknolojinin dönüşümünü birleştiren ikiz dönüşümde kullanılan teknolojilerde kritik hammaddelerin kullanımı, bu hammaddelerin önemini ve arz riskini arttırmaktadır. Bu kapsamda, ülkede bu dönüşüme zemin hazırlayan teknolojilerin, uygulamaların ve politikaların incelenmesi ve zaman serileri analiziyle incelenmesi amaçlanmaktadır. Yeşil dönüşüm için ülkemizde önemli potansiyeli bulunan ve kritik hammaddelerin kullanıldığı çoğu teknolojinin de kaynağı olan güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal, termik enerjinin geçmiş verilerinin analizi ve gelecek projeksiyonu sunulmaktadır. Çalışmada kullanılan zaman serileri analizi yöntemleri, basit hareketli ortalama, ağırlıklı hareketli ortalama ve üstel hareketli ortalama yöntemleridir. Üstel hareketli ortalama, güncel verilere daha fazla ağırlık verdiği için, tahmin başarısı ve hata düzeyleri konusunda daha olumlu sonuçlar vermektedir. Böylelikle, her enerji kaynağının gelecek trendleri, bu enerji kaynaklarıyla bağlantılı teknolojilerde kullanılan hammaddelerin talep düzeyi ve bu hammaddelerin kritikliğini de ortaya koyacaktır.

Anahtar Kelimeler: İkiz dönüşüm, kritik hammaddeler, sürdürülebilirlik, zaman serileri analizi

JEL Sınıflandırılması: Q42, O14

- * YL mezun, Munzur Üniversitesi, İktisadi – İdari Bilimler Fakültesi, İşletme ABD, miraykvk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2482-2725
- ** Arş. Gör., Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, mahironer@munzur.edu.tr, ORCID: 0009-0006-4883-2860
- *** **Sorumlu yazar:** Doç. Dr., Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, elifcangocmen@munzur.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0316-281X

To cite this article: Say, M. H., Öner, M. & Göçmen Polat, E. (2024). İkiz dönüşüm kapsamında kritik hammadde ve teknolojilerinin zaman serileri analizi. *Journal of Research in Business*, 9(2), 519-539. DOI: 10.54452/jrb.1491337

Ethics Committee: “Bu çalışma etik kurul raporu gerektirmemektedir.”

Submitted: 28.05.2024

Revised: 12.08.2024

Accepted: 08.09.2024

Published Online: 06.12.2024

Abstract

Critical raw materials are raw materials that are very important for a sustainable economy and carry high risks associated with their supply. The use of critical raw materials in the technologies used in the twin transformation, which combines the green transformation and the transformation of technology, increases the importance and supply risk of these raw materials. In this context, it is aimed to examine the technologies, practices and policies that pave the way for this transformation in the country and to examine them through time series analysis. Analysis of historical data and future projections of solar, wind, hydraulic, geothermal, and thermal energy, which have significant potential in our country for green transformation and are the source of most technologies that use critical raw materials, are presented. The time series analysis methods used in the study are simple moving average, weighted moving average and exponential moving average methods. Since the exponential moving average gives more weight to current data, it gives more positive results in terms of forecast success and error levels. Thus, the future trends of each energy source will reveal the demand level of raw materials used in technologies related to these energy sources and the criticality of these raw materials.

Keywords: Twin transformation, critical raw materials, sustainability, time series analysis

JEL Classification: Q42, O14

Extended Summary

Critical raw materials are highly significant for a sustainable economy and carry substantial supply risks. In the twin transformation that merges green and technological transitions, the use of critical raw materials in the technologies involved heightens their importance and supply risk. In this context, the aim is to examine the technologies, practices, and policies that lay the groundwork for this transformation in the country, using time series analysis.

This study presents the analysis of past data and future projections of energy sources such as solar, wind, hydro, geothermal, and thermal energy, which hold significant potential for green transformation in our country and are the source of many technologies utilizing critical raw materials. The time series analysis methods used in this study include simple moving average, weighted moving average, and exponential moving average methods. Among these, the exponential moving average, which assigns more weight to recent data, provides more favourable results in terms of prediction accuracy and error levels.

Consequently, the future trends of each energy source, the demand levels for the raw materials used in technologies associated with these energy sources, and the criticality of these materials will be revealed. This comprehensive analysis not only highlights the potential of various energy sources in the green transition but also underscores the importance of managing the supply risks of critical raw materials.

1. Giriş

Artan dünya nüfusu, yüksek sanayi ürün tüketimi, biyolojik çeşitlilik kaybı, küresel ısınma artışı gibi negatif etkileri de beraberinde getirmektedir. Ülkeler, bu durum karşısında bazı önlemler alma gereksinimi duymuş; 2015 yılında Paris Anlaşması ve BM sürdürülebilir kalkınma hedeflerini

imzalamışlardır. Bu girişimlerle iklim değişikliğinin etkisini azaltmak, emisyon azaltma, karbon ayak izi sınırlandırmaları hedeflenmektedir. Bu hedeflere ulaşmak için yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması, yeşil teknolojiye dönüşüm gibi politikalar daha fazla önemi kazanmıştır (Hiçyılmaz vd., 2022). Özellikle, teknolojiye yeşil dönüşümle birleştiren ikiz dönüşüm kavramının, sürdürülebilir gelecek için gerçekleştirilmesi ve bu teorik çerçeveyi pratiğe yaymak, dijitalleşme ve dairesellik konusunda net hedefler belirlemek gerekmektedir (Ortega-Gras vd., 2021). Kritik hammaddeler, yerel politikalar ve küresel hedefler bağlamında önemli olan sıfır karbon ve çevre dostu teknolojilerde, iklim dengesi ve insan refahında kritik öneme sahiptir. Ülkenin enerji güvenliği ve bölgesel kalkınmasını içeren çeşitli politika hedefleriyle ilişkilendirilmektedir (Göçmen-Polat, 2024). Yeşil teknolojiye dönüşümün temel hedefleri, artan karbon salınımının azaltılması, düşük enerji tüketimine sahip elektronik dönüşüm ve atık elektroniklerin geri dönüşümle sisteme tekrar kazandırılması şeklinde sıralanabilir. Bu sayede, enerji tüketiminin ve elektronik atık miktarlarının azaltılması, teknolojik ürünlerin performanslarının artırılması, tasarruf ve rekabet avantajının sağlanması ve dolayısıyla hava kirliliği önlenerek, karbon ayak izini azaltması mümkün olacaktır. Son dönemlerde yapılan çalışmalarla ülkeler, sera gazı emisyonlarının her ölçekte azaltılması gerektiğini vurgulamışlardır. Enerji ve çevre politikası alanında hızla gelişen bir trend olan kritik hammaddeler, daha sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanılması, emisyonları azaltmanın ve gelecekteki hedeflere ulaşmanın temel yollarından biri olarak kabul edilmektedir. Kritik hammaddeler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine dolaylı veya doğrudan etki etmektedirler. Hammaddelerin üretim safhalarında sera gazı emisyonları ile olumsuz etkiler mevcutken, bu hammaddelerin yenilenebilir teknolojilerde kullanımı iklim değişikliği kapsamında olumlu izlenimler bırakmaktadır (Polat, 2023). Kritik hammaddeler, sadece yeşil dönüşümün itici gücü olmayıp, otomotiv, ulaştırma, makine imalat, biyomalzeme, bilgi/iletişim ve yenilenebilir enerji gibi katma değeri yüksek ürünlerin üretiminin yapıldığı sektörler için de önemli bir hammadde kaynağıdır. Bu kritik hammaddeler, çevre teknolojileri, tüketici elektroniği, sağlık, çelik üretimi, savunma, uzay araştırmaları ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmakta ve kilit sanayi sektörleri açısından kritik bir öneme sahiptir. Ülkemizde ilk kez yayınlanan kritik hammadde listesi Tablo 1’de sunulmaktadır (Polat vd., 2023):

Tablo 1: Kritik Hammadde Listesi

Neodimyum	Lityum	Bizmut	Feldispat
Skandiyum	Boksit	İndiyum	Berilyum
Seryum	Manyezit	Kaolin	Nikel
Stronsiyum	Silisyum	Tungsten	Tantalyum
Magnezyum	Niyobyum	Krom	Antimuan
Terbiyum	Germanyum	Fosfor	Vanadyum
Galyum	Hafniyum	İtriyum	Helyum
Titanyum	Barit		

Yatırım önceliğini üretim ve teknoloji konuları üzerinden yapan ülkeler, yenilenebilir enerji ile etkileşimli teknolojilerin yaygınlaşmasını sağlamışlardır. Bu çabalar, ham madde tüketiminin azaltılması, geri dönüşüm ve yeniden kullanımın teşvik edilmesi, yeşil teknolojilerin geliştirilmesi ve sürdürülebilir kaynak yönetimi uygulamalarının benimsenmesini içermelidir. Geri dönüşüm,

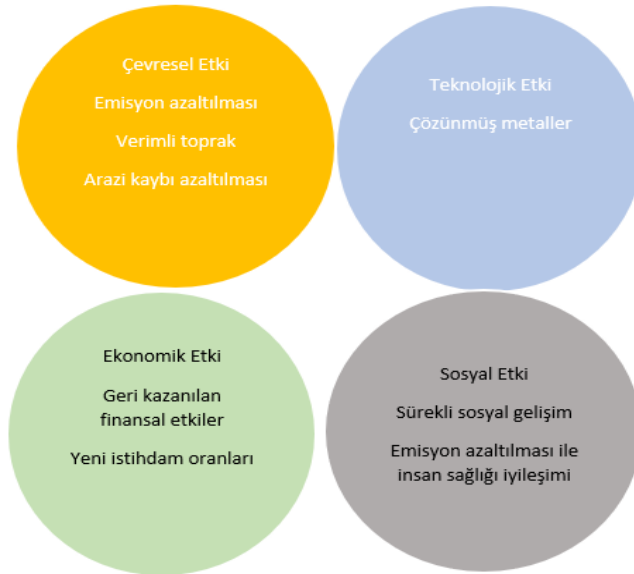
stratejik hammaddelere bağlı tedarik risklerinin üstesinden gelmesi nedeniyle hammadde politikası için önemli bir konudur. Cristobal vd., (2020) gelecekteki kritik hammaddelerin taleplerine yönelik tahminleri ve yaşam döngüsü içerisindeki malzeme kayıplarını ortaya koymaktadır. Çalışmanın amacı; 8 kritik hammadde için yoğunlaşma, üretim, hurdaların geri dönüşüm süreçlerinde yaşanan yaşam döngüsü kayıplarını ortaya koymaktır. Gelecekteki kritik hammaddelerin yaşam döngüsü içerisindeki malzeme kayıplarının hesaplanmasında (IEA-ETP) 2017 yılının 2. Derece ve Ötesi senaryosu projeksiyonlarının kullanılarak kümülatif talep ve yıllık talep hesaplamaları yapılmıştır. Çalışma, jeolojik kaynaklar ile yıllık üretim kapasitelerinin mukayesesinin yapılması için önem arz etmektedir. Çalışmadaki bulgularda, gelecekteki kritik hammaddelere ilişkin toplam talebin sadece Tellür, İndiyum, selenyum kritik hammaddelerinin küresel rezerv tahminlerini aştığı gözlemlenmiştir. Düşük yoğunlaşma senaryolarında ise yıllık Tellür, İndiyum ve galyum kritik hammaddelerine ilişkin üretim kapasitelerinin genişletilmesi üzerine katkılar sunmaktadır. Kritik hammaddelerin üretim ve çıkartılması esnasında yaşam döngüsü içerisindeki malzeme kayıplarına yönelik belirsizliğin hurdaların geri dönüştürülmesinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Yapılmış olan analizlerde yaşam döngüsü içerisindeki kritik hammadde kayıplarının analizlere eklenmesi üzerinde incelenen teknolojilerin galyum, indiyum, praseodim, selenyum gibi kritik hammaddelerden talebini artırabileceğini ortaya koymuştur. Yapılmış olan analizlere teknolojik yeniliklerin dahil edilmesi maliyetlerin azaltılacağı yönünde ele alınmaktadır. Maliyet minimizasyonunun sağlanması kritik hammaddelerin yoğunluklarını %1 ile %18 arasında artıracığı yöndedir. Çalışmada, kritik hammaddelerin yaşam döngüsü içerisindeki malzeme kayıplarının analizlere dahil edilmemesi durumunun malzeme çıkarımının önemsenmediği sonucunu ortaya koymaktadır. David ve Koch (2019) yaptıkları çalışmada akıllı şehirlere yönelik son dönemdeki eleştirilerde akıllı iletişim teknolojileri (BİT) ile ilgili olarak veri güvenliği, gözetleme veya şirketlerin kentsel gelişim üzerindeki etkisine odaklanırken, akıllı şehir teknolojilerinin maddi temelleri ve birbiriyle bağlantılı kaynak sorunları ile ilgili konuları da gündeme getirmişlerdir. Çalışmada şehir planlama literatüründeki bu eksiliği gidermek için akıllı şehirlere ilişkin kentsel planlama literatürlerini kritik hammadde madenciliği ve hurda metallere geri kazanıma ilişkin literatürlerle ilişkilendirilmiştir. Çalışmadaki yaşanan bu tür sorunları açıklamak için akıllı şehir enerji alanına atıfta bulunmakla birlikte akıllı şehir-kritik hammadde-enerji bağlantısını ilgili literatürün perspektifinden incelenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak kritik hammaddelerin enerji üretimi, enerji dağıtımı ve enerji tahsisi gibi akıllı şehir uygulamaları için önemli bir temel olduğunu göstermiştir.

Çalışma, ikiz dönüşüm kavramının kritik hammaddeler üzerindeki etkisini analiz eden ilk çalışmadır. İkiz dönüşüme zemin hazırlayan kritik hammaddelerin kullanıldığı çoğu teknolojinin de kaynağı olan güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal, termik enerjinin geçmiş verilerinin analizi ve gelecek projeksiyonu sunulmaktadır.

1.1. Yeşil Dönüşüm ve Kritik Hammaddeler

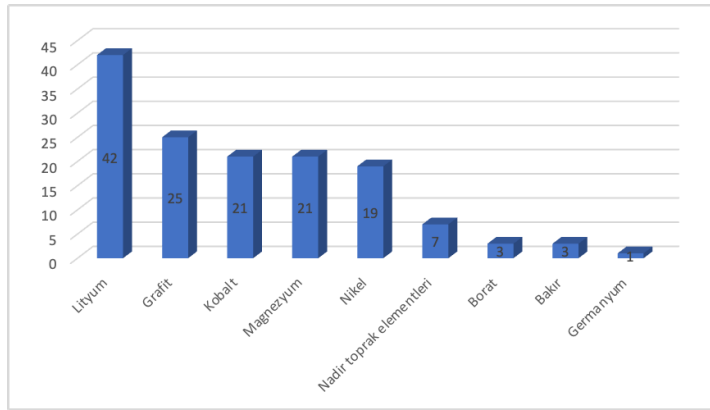
Yeşil teknoloji, telekomünikasyon, uzay araştırmaları, havadan görüntüleme, havacılık, tıbbi cihazlar, mikro elektronik, ulaşım, savunma ve diğer yüksek teknoloji ürün ve hizmetleri gibi uygulamalar

en sık kullanıldığı alanlardır. Yeşil teknoloji, çeşitli sektörlerde kullanılabilir. Örneğin, inşaat sektöründe yeşil binalar inşa edilmesi, enerji verimliliği sağlayan aydınlatma sistemlerinin kullanılması, endüstriyel sektörde ise atıkların geri dönüşümü ve enerji verimliliği sağlayan üretim sistemlerinin kullanılması yeşil teknolojinin örneklerindedir. Sonuç olarak, yeşil teknoloji; çevreye duyarlı, sürdürülebilir ve ekonomik faydalar sağlayan bir çözüm sunmaktadır. Bu teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanımı hem çevre hem de insan sağlığı için önemli bir adımdır ve gelecek nesillere temiz bir çevre bırakabilmek adına önemlidir. Yeşil teknoloji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, biyoyakıt ve biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir. Dolayısıyla ülkeler bu teknolojiye uygun hammaddeleri tedarik etmede ve bunu etkin kullanmada yarış içindedirler (Qamar vd., 2021). Dünya ekonomisi kritik hammaddelerin artan arz riskiyle karşı karşıya olduğundan alternatif ikincil kritik hammaddelere yönelmişlerdir. Örneğin alüminyum üretiminde ortaya çıkan boksit kalıntılarıyla çimento, pik demiri üretiminde alternatif yeniden kullanım uygulamaları sağlanmıştır. Bununla birlikte boksit kalıntılarının önemli miktarda değerli elementler içermesi kritik hammaddelerin geri kazanılması hususunda ekonomik değer kazanımından ziyade çevre/hayvan sağlığı, emisyon azaltılması, katı atık depolamanın azaltılması, is sağlığı ve güvenliği, gibi faydalar elde edilmektedir. Cevherlerin elde edilme aşamaları; kazılması, patlatılması, öğütülmesi, zenginleştirilmesi, eritilmesi ve rafine edilmesi gibi adımları hava, su, toprak emisyonlarında negatif etkileri bulunmaktadır. Yapılan çalışmada metal saflaştırma olarak adlandırılan işlemin çevresel etkileriyle beraber teknolojik, ekonomik, sosyal etkileri aşağıdaki Şekil 1’de gösterilmiştir (Ujaczki vd., 2018).



Şekil 1: İkincil Kaynaklardan Kritik Hammadde Üretimi Geri Kazanımı Faydaları (Ujaczki vd., 2018)

2050' ye kadar net sıfır CO2 emisyonuna ulaşma hedefi, fosil yakıtların hâkim olduğu ekonomiden yenilenebilir enerji teknolojilerinin liderliğindeki bir ekonomiye dönüşümü gerektirecektir. Bu dönüşüm, çeşitli hammaddelerin üretimini ve uluslararası ticaretini artıracaktır. Yenilenebilir enerji teknolojileri genellikle minerallerin daha yoğun kullanımını gerektirir. Yeşil geçiş süreci, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltırken, diğer hammaddelerin üretimi ve uluslararası değişimi üzerinde baskı yaratacaktır. Bu nedenle, hammaddelerin sürdürülebilir üretimi ve verimli kullanımı, küresel öncelik haline gelecek ve çeşitli stratejiler gerektirecektir. Bu süreçte, küresel standartların belirlenmesi ve uygulanması da önemlidir. Sonuç olarak yeşil ekonomi geçiş sürecinde hammaddelerin sürdürülebilir üretimi ve verimli kullanımı, küresel ekonominin yenilenebilir enerji teknolojilerine dönüşmesinde kritik öneme sahiptir. Bu süreç, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için gereklidir. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre önümüzdeki yirmi yıl içinde temiz enerji sektörünün kobalt, doğal grafit, lityum gibi madenlerin talebinin yirmi kattan kırk kata kadar artacağını öngörmektedir (Şekil 2).



Şekil 2: 2040 Yılına Kadar Bazı Hammaddelerin Beklenen Talep Artışı (IEA, 2023)

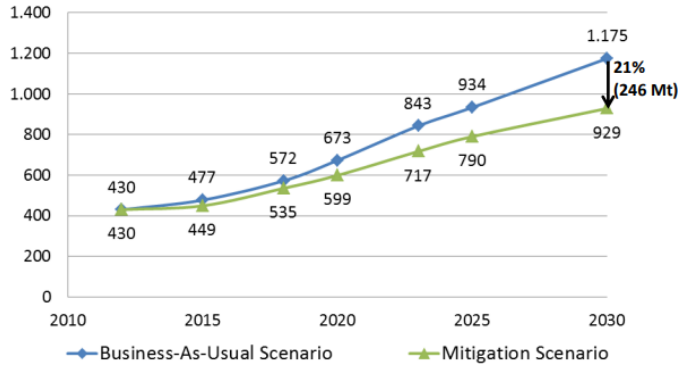
Yeşil teknoloji, çevresel etkileri minimize etmeyi ve doğal kaynakları korumayı amaçlayan bir yaklaşımı temsil eder. Bu teknoloji, çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, atık azaltma ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi konuları ele alarak çevresel etkileri en aza indirmeyi hedeflemektedir. Yeşil teknolojinin çevresel boyutuyla ilgili bazı önemli noktalar şunlardır:

- Enerji verimliliği: Yeşil teknolojiler, enerji verimliliğini artırmak için tasarlanmıştır. Bu sayede enerji tüketimi azaltılır ve çevresel etkiler minimize edilmektedir.
- Yenilenebilir enerji kaynakları: Güneş, rüzgar, su ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara göre daha az çevresel etkiye sahiptir. Yeşil teknolojiler, bu yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir.
- Atık azaltma ve geri dönüşüm: Yeşil teknolojiler, atık malzemelerin azaltılmasına ve geri dönüşümün teşvik edilmesine yardımcı olur. Bu sayede doğal kaynakların tükenmesi engellenir ve çevre kirliliği azaltılmaktadır.

- Temiz üretim teknolojileri: Endüstriyel süreçlerde kullanılan temiz üretim teknolojileri, atık ve emisyonları azaltarak çevresel etkileri minimize etmektedir.
- Çevre dostu malzemeler: Yeşil teknolojiler, çevre dostu malzemelerin kullanımını teşvik etmektedir. Bu malzemelerin üretimi ve kullanımı, çevresel etkileri azaltmaktadır (Qamar vd., 2021).

Dünya kamuoyunun fosil yakıtlara dayalı ekonomik büyüme modelinin sürdürülemez olduğu konusunda fikir birliğine varması, gerçekten de iklim değişikliği ve küresel ısınmanın olumsuz etkileriyle ilgili bir farkındalık artışını yansıtmaktadır. Bu farkındalık, fosil yakıtlara dayalı enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararları ve iklim değişikliğine olan katkılarını göz önünde bulundurarak, yeni ve sürdürülebilir bir ekonomik modelin gerekliliğini vurgulayarak yeşil teknolojinin önemine dikkat çekmektedirler. Düşük karbonlu ekonomi modelinin benimsenmesi, sadece çevresel faydalar sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda ekonomik ve sosyal açıdan da faydalar getirebilir. Yenilenebilir enerji sektörünün büyümesine katkıda bulunarak, yeni iş imkanları yaratabilir ve ekonomik büyümeyi destekleyebilir. Ayrıca, enerji verimliliği ve temiz enerji kaynaklarına geçiş, enerji güvenliğini artırabilir ve enerji maliyetlerini düşürebilmektedir (Yalçın, 2010).

Paris Anlaşmasıyla ülkeler, dünya genelinde karbon salınımının 2030 yılına kadar azaltılmasını, 2050 yılına kadar sifıra indirilmesini hedeflemiştir. Ülkemiz bu anlaşmayı 2021 yılında imzalamış olup, emisyon artışını 2030 yılına kadar gerçekleşen emisyon miktarını, yüzde 21 azaltma taahhüdünde bulunmuş (Şekil 3), ayrıca Cumhurbaşkanlığı tarafından 2053 yılı net sıfır emisyon yılı ilan edilmiştir (URL-1,2023).



Şekil 3: Toplam Sera Gazı Emisyonları (milyon ton) (URL-2, 2023)

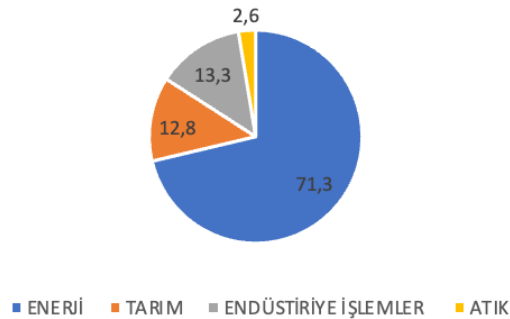
Yeşil dönüşüm sürecinde malzemenin önemi büyüktür. Fosil yakıt temelli ekonomide malzeme kullanımı artmış ve bu da sera gazı emisyonlarını artırmıştır. Karbonsuz ekonomiye geçişte malzeme kullanımının azaltılması ve sürdürülebilir malzeme seçeneklerinin tercih edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, geri dönüşüm ve döngüsel ekonomi uygulamalarıyla malzemenin doğru şekilde kullanılması, doğal kaynakların korunmasına ve atık miktarının azaltılmasına yardımcı olacaktır. Malzemenin yeşil dönüşüm sürecindeki rolü, çevresel etkilerin azaltılmasına ve sürdürülebilir bir ekonomiye geçişe katkı sağlar (Karakaya, 2023).

Çevreye duyarlı malzeme üretimi ve temini “çevre için tasarım” başlığı altında yaşam döngüsü boyunca kirliliği azaltırken, maliyet ve performans hedeflerini karşılama ve ürün yenilikleri keşfetme amacı gütmektedir. Birçok endüstrinin, ürünlerinin çevresel etkilerini en aza indirmek için kendi stratejilerini geliştirdiğini bilinmektedir. Örneğin, otomotiv endüstrisi, daha az yakıt tüketen ve daha az emisyon üreten araçlar üretmek için çeşitli teknolojiler geliştirmiştir. Aynı şekilde, tekstil endüstrisi su tüketimini azaltmak ve atık üretimini en aza indirmek için yenilikçi üretim süreçleri ve geri dönüşüm programları geliştirmiştir. Gıda endüstrisi de çevresel etkileri azaltmak için çeşitli adımlar atmıştır. Tarım alanında daha sürdürülebilir yöntemler kullanarak toprak erozyonunu azaltmak, su kaynaklarını korumak ve biyoçeşitliliği desteklemek gibi adımlar atılmıştır. Bu endüstrilerin çevresel etkileri azaltma konusundaki çabaları, sadece kendi stratejilerini geliştirmekle kalmayıp aynı zamanda diğer endüstrilere de ilham vermiştir. Bu da gösteriyor ki, çevresel sürdürülebilirlik konusunda endüstrilerin çabaları oldukça önemlidir ve bu çabaların toplumsal ve çevresel faydaları bulunmaktadır. İsveçli bir otomobil şirketi olan Volvo, ürünlerini kimyasal çözeltilerle boyamanın çevresel olarak zararlı bir işlem olduğunu, bu bileşimlerin uçucu maddeler içeriyor olması ve havayı kirletmesi sebebiyle alternatif bir teknoloji deneyerek su bazlı boya kullanmaya başlamıştır. Bu politika şirkete bazı avantajlar sağlamıştır. Su bazlı boyalar, uçucu madde içermediği için çevreyi kirletmemesi sebebiyle şirket, çevre kirliliği kontrol ekipmanı maliyetinden kurtulmuştur. Ayrıca, otomobil endüstrisinde çevreci bir şirket olarak anılmaya başladı ve çevreye duyarlı müşterileri çekerek satışlarını artırmıştır (Ferro vd., 2021), (Aglund ve Benson, 2022). Philips kendi çevreci tasarım yönergesini belirleyip, 2020 yılı sonuna kadar faaliyetlerinde karbon nötr olma yolunda yenilenebilir elektriğin %100 ünü kullandıklarını ve operasyonel atıkların %90’ ını geri dönüştürdüklerini vurgulamışlardır. Marka 2025 yılına kadar enerjisinin %75 ini yakıt dahil olmak üzere yenilenebilir enerjiden elde edeceği taahhüdünde bulunmuştur. Karbon emisyonlarının ortadan kaldırılamayan durumlarda güvenli içme suyu, temiz enerji, biyolojik çeşitlilik ve ağaçlandırma programları gibi sağlığa yararlı çevresel projelere yatırım yaparak telafi edeceklerini ve atıkların geri dönüştürülmesiyle, dögüsel ekonomiye önem vereceklerini belirtmişlerdir (URL-3,2023), (Arnold ve Hockerts, 2011). Siemens 2023 Enerji Verimliliği raporunda, atık geri dönüşüm oranını %82 olarak belirtmiş olup, yeşil elektriğin payının %100 olarak açıklamışlardır. 2019 yılına oranla karbon emisyonunu %59 oranında azalttıklarını belirtmişlerdir. 2022 yazında Kuzey Denizde kurdukları Dolwin Kappa platformu bir milyondan fazla haneye yeşil rüzgâr enerjisi sağlandığını raporda bildirmişlerdir (URL-4, 2023). 2021 küresel rüzgâr raporunda, küresel rüzgar enerjisi %53 büyüme göstermiştir. 2020 yılında Asya Pasifik, Kuzey Amerika ve Latin Amerika da kara da kurulan rüzgâr enerji santralleri ile bir önceki yıla göre %76 artış sağlamıştır (GWEC, 2021). 2021 yılında rüzgâr kapasitesi bir önceki yıla göre üç kat artmış olup küresel pazar payı %22 ye ulaşmıştır. Toplam küresel rüzgâr enerjisi kapasitesi 887 GW ulaşmış olup dünya genelinde 1,2 milyar tonun üzerinde karbon emisyonundan arınmasını sağlamıştır. Güney Amerika'nın yıllık karbon emisyonuna eşdeğerdir (Lee ve Zhao, 2022).

Temiz enerji projeleri, bazı pazarlarda maliyet enflasyonu, tedarik zinciri darboğazları ve yüksek borçlanma maliyetleri gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Ancak, temiz enerji sektörü, küresel enerji yatırımlarının en hızlı büyüyen alanı olmaktadır. Önümüzdeki yıllarda temiz enerjinin ne kadar hızlı büyüyeceği, politika ve piyasa teşviklerine nasıl yanıt vereceği, üç ana senaryoda farklılık göstereceği

beklenmektedir. Birinci senaryoda, temiz enerjiye yönelik teşvikler hızla artmaya devam edecek ve bu durum temiz enerji projeleri için finansman ve yatırım fırsatlarını genişletirken maliyetleri düşürecektir. Bu senaryoda, temiz enerji sektörü hızla büyürken, kömür, petrol ve doğal gaz talebi azalacaktır. İkinci senaryoda, politika ve piyasa teşvikleri istikrarlı bir şekilde devam edecek, böylelikle temiz enerji projeleri için finansman ve yatırım fırsatları artmaya, maliyetlerdeki düşüşte yavaşlamaya başlayacaktır. Temiz enerji sektörü yine hızla büyümeye devam eder, ancak kömür, petrol ve doğal gaz talebindeki düşüş biraz daha yavaş olabilir. Üçüncü senaryoda ise, politika ve piyasa teşvikleri yavaşlar veya durur. Bu durumda, temiz enerji projeleri için finansman ve yatırım fırsatları kısıtlanabilir ve maliyetler yükselebilir. Kömür, petrol ve doğal gaz talebindeki düşüş de diğer senaryolara göre daha yavaş olabileceği düşünülmektedir. Bu senaryolar, temiz enerji projelerinin gelecekteki büyüme potansiyeline ve enerji pazarındaki değişikliklere nasıl yanıt vereceğini göstermektedir. Politika yapımcılar, yatırımcılar ve endüstri liderleri bu senaryoları dikkate alarak temiz enerji projeleri için stratejilerini belirlemeli ve sektörün geleceğini şekillendirmelidir (IEA, World Energy Outlook, 2023). Ueberschaar vd., (2017), galyumun atık elektronik ekipmanlardan olası geri dönüşümüne yönelik seçeneklere odaklanmaktadır. Çalışmada, başlangıç noktalarını belirlemek için uygulanan galyum için bir madde akış analizi gerçekleştirilmiş olup, 2012 yılında Almanya'da baskılı devre kartlarına ve arka plan aydınlatmasında kullanılan LED'lere uygulanan entegre devreler detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmada Galyumun çiplerden ve LED'lerden geri dönüştürülmesine yönelik genel fırsatları ve riskleri araştırmak amacıyla geri dönüşüm engellerinin bir analizi yapılmıştır. Çalışma sonuçları atık yönetiminde önemli galyum kayıplarının ortaya çıktığını göstermektedir. Atık yönetimine ilişkin sonuçlar, ilgili kullanım ömrü sonu cihazlar için yalnızca düşük toplama oranları ortaya çıkarmıştır.

Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de enerji talebinin artması kaçınılmazdır (Şekil 4) En çok kullanılan ve CO₂ salınımını en çok etkileyen fosil enerji kaynakları; kömür, petrol, doğal gazdır.



Şekil 4: Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonları 2021 (TÜİK, 2023)

Bunun yanı sıra nükleer enerji, hidroelektrik enerjisi ve yenilenebilir enerji kaynakları da bulunmaktadır. Bu sebeple, Türkiye ve diğer ülkelerin karbondioksit salınım miktarlarını azaltmak için gerekli önlemleri alması gerekmektedir. Ülkelerin fosil yakıtlar yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Bu önlemler arasında, yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması, enerji verimliliğinin artırılması, karbon emisyonlarını azaltıcı politikaların uygulanması ve fosil yakıtlara olan

bağımlılığın azaltılması bulunmaktadır. Ayrıca, nükleer enerji gibi temiz enerji kaynaklarına da yatırım yapılması ve bu kaynakların etkin bir şekilde kullanılması da önemlidir (Aydın ve Aydoğdu, 2022).

Türkiye'nin de bu konuda atması gereken adımlar bulunmaktadır. Ülke genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yatırım yapılması, enerji verimliliğinin artırılması ve karbon emisyonlarını azaltıcı politikaların uygulanması Türkiye'nin enerji sektöründe sürdürülebilir bir yaklaşım benimsemesine yardımcı olacaktır. Sonuç olarak, enerji talebinin artması ve fosil yakıtların çevreye olan zararları göz önüne alındığında, Türkiye'nin de dahil olduğu tüm ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi ve karbon emisyonlarını azaltıcı önlemler alması gerekmektedir. Bu sayede, hem çevreye zarar veren fosil yakıtlardan kurtulmak mümkün olacak hem de sürdürülebilir bir enerji politikası benimsenmiş olacaktır (Kumcu ve Özyörük, 2023).

Avrupa Komisyonunun 2020 raporunda, kritik hammaddeler tedarik riskine göre sınıflandırılmış ve uygulama alanları ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 1). Bu sınıflandırmada Nadir Toprak Elementlerinin tedarik riski en yüksek hammaddeler olduğu ve rüzgâr türbinleri ile elektrik motorlarının en önemli bileşenleri olduğu dikkat çekmektedir. Bununla birlikte yüksek tedarik riski olan Magnezyum, Niyobyum, Germanyum, Bor ve Skandiyumun ise neredeyse tüm ileri teknoloji uygulamalarda ihtiyaç duyulan hammaddeler olduğu vurgulanmıştır (European Commission, 2020).

1.2. Teknolojik Dönüşüm ve Kritik Hammaddeler

Metallerin teknolojik değişimle olan ilişkisi, kullanım uygulamalarında önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle "teknoloji metalleri" olarak adlandırılan metallerin talebinde artış olabileceği düşünülmektedir. Üretim teknolojilerinin gelişmesi genellikle maliyetleri düşürür ve ürünleri daha ucuz hale getirir, bu da talebi artırabilir. Ancak malzeme verimliliğinin artması durumunda metal talebinde azalma olabilir. Sonuç olarak, teknolojik değişimin metal talebi üzerinde artırıcı veya azaltıcı etkileri olabilir. Bu nedenle metal talebinin gelişiminin anlaşılması, GSYİH büyümesi, tüketici tercihleri ve teknolojik değişim gibi faktörlerin kombinasyonunu gerektirir (Espinoza vd., 2021). Cusack vd., (2019), boksit kalıntısından kurtulma alanında parametrelerin değişimini inceleyerek boksit kalıntısının kritik hammaddeler için ikincil bir kaynak olarak potansiyel olarak yeniden kullanılmasına yönelik uygun olduğunu göstermişlerdir. Sanayi ve Ticaret Bakanlığının yayınladığı Sanayi ve Teknoloji Stratejisi Raporu'nda, Öncelikli sektörler olarak elektrikli araçlar, robotik uygulamalar, sensörler, zırh, giyilebilir teknoloji, yenilenebilir enerji ve insansız hava araçları belirlenmiş olup, bu sektörlerin ihtiyaç duyduğu hammaddelerin mevcut kaynaklardan üretilebilmesi veya Ar-Ge çalışmaları sonucunda, yüksek performanslı yeni malzemeler olarak geliştirilmesi planlanmaktadır (2023 Sanayi strateji belgesi, 2019). Ülkemizde, geleceğin petrolü olarak adlandırılan Lityum madenini, Bor cevheri kullanarak üretmeyi amaçlayan Eti Maden, 2020 yılında yerli Ar-Ge faaliyetleri sonucunda inşa ettiği ve ilk etapta 10 tonluk üretim yapacak tesis ile bor üretiminden ortaya çıkan sıvı atıklardan Lityum üretileceğini duyurmuştur. Lityumun başlıca elektrikli araçlar, küçük ev aletleri, bataryalar gibi birçok teknolojik üründe hammadde olarak kullanılmaktadır (URL – 2,2023).

Kritik hammaddelerin özellikle teknolojik yatırımlar için vazgeçilmez oluşu ve tedarikindeki bazı problemler, bu maddelerin geri dönüşüm yoluyla kazandırılması konusunu gündeme getirmiştir.

Kritik hammaddeler listelerinde yer alan pek çok elementin, oldukça düşük geri dönüşüm oranlarına sahip olması, cevherden üretime ve dolayısıyla ithalat bağımlılığına neden olmaktadır. Bununla birlikte pek çok kritik hammaddenin geri dönüşüm prosesleri konusunda yeterli teknolojik bilgiye sahip olunamaması da yine bu hammaddelerin doğrudan teminine ve dolayısıyla tedarik riskine neden olacaktır. Bu önemli problemin çözümü için, ulusların, ihtiyaç duydukları kritik hammaddelerin ekonomik geri dönüşüm proseslerini geliştirebilmesi ve geri dönüşüm oranlarını artırması gerekmektedir (Buchert vd., 2012).

Günümüzde uluslararası rekabet gücünün artırılabilmesi ve ekonomik büyüme için teknolojik atılımlar kritik bir öneme sahiptir. Bununla birlikte, gelişmiş ülkelerde ortaya çıkan teknolojik yenilikler, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümesine katkı sağlamaktadır. Türkiye'nin de teknoloji yoğunluğunu artırarak uluslararası rekabet gücünü ve ekonomik büyümeyi desteklemesi gerekmektedir. Bu nedenle, Türkiye'nin dahilde işleme rejimi kapsamındaki ithalat ve ihracat değerlerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin analiz edilmesi ve bu verilerin stratejik planlama sürecinde kullanılması önem arz etmektedir (Akyol vd., 2021).

2. Literatür Taraması

AB, kaynakların verimli kullanılması, fiyat istikrarının sağlanması, yenilikçi ve verimli iş kollarının çoğalması ve düşük karbon salınımı sağlamak amacıyla, dögüsel ekonomi planını uygulamaya geçirmiştir. Bu dögüsel ekonomi planıyla enerji tasarrufu, yeşil enerji, iklim ve biyolojik çeşitlilik, hava-su-toprak kirliliğini önlemek ve sürdürülebilir bir yaşam alanı sağlamak amaçlanmaktadır. Kritik hammaddeler yüksek ekonomik öneme sahip olmakla birlikte temin edilme sürecinde önemli çevresel etkilere neden olmaktadır. Bu hammaddelerin geri kazanımını arttırmak dögüsel ekonomiye geçişte önemli bir rol oynamaktadır (EC, 2015).

Kakışım (2022), Türkiye'de son yıllarda özellikle savunma sanayiindeki atılımlar ve büyüme hedeflerine paralel olarak, kritik hammaddelere olan ihtiyacın hızla arttığını vurgulamıştır. Bununla birlikte, yatırım önceliğini üretim ve teknoloji alanında yapan ülkelerin, yenilenebilir enerji ile etkileşimli teknolojilerin yaygınlaşmasını sağladığını ifade etmiştir. Teknoloji yarışına girilen yeni dünya ticaret düzeninde, ülkeler topraklarında bulunan hammaddeleri işlemeyi amaçlayıp ihtiyaç duydukları diğer hammaddeleri ticari anlaşmalarla alıp kullanmayı hedeflemektedirler. ABD ve Japonya gibi ülkeler hammaddelerin ikame edilebilirliği üzerine Ar-Ge çalışmalarına yoğunlaşmış olup, AB ülkeleri, bu hammadde ihtiyaçlarının güvenli bir tedarik zinciri ile karşılanabilmesi için stratejik iş birlikleri yapmakta ve ekonomik anlaşmalarla Kritik hammadde ihtiyaçları için tedarik riskini azaltmaya çalışmaktadır (Demirtaş vd., 2017). Günaslan ve ark. (2023), dögüsel ekonomi kavramı ve elektrikli araçlar için yaşam dögüsü değerlendirilmesi konusunu ele almış ve elektrikli araçların sera gazı etkisinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu araçların gelecekte fazla kullanılması beklentisiyle beraber emisyon miktarının azalacağı ön görülmektedir. Veral ve Yiğitbaşıoğlu (2018) dögüsel ekonomiye geçiş sürecinde, sadece atık yönetiminin yeterli olmadığını, bununla birlikte toplumsal alışkanlıkların da bu değişime uyum sağlaması gerektiğini ve alınacak ekonomik-politik kararlarla beraber bu uyumun desteklenmesi

gerektiğini vurgulamışlardır. Fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynakları kullanan yeşil teknolojilere geçiş sürecinde, ulusal politikaların bu geçiş sürecinin hızlandırılması yönünde alacağı kararlar, uyum sürecine katkı sağlayacaktır. Wentker ve ark. (2019), LIB'in (lityum-iyon pil) yanı sıra gelecek vaat eden PLIB (post-lityum-iyon pil) katot teknolojilerinin tedarik riskini ve çevresel etkisini değerlendirmek için bir metodoloji geliştirmiştir. Toplamda, çoğu lityum, manganez, nikel ve kobalta dayalı 12 son teknoloji LIB teknolojisini, yüksek miktarlarda lityuma ve potansiyel olarak sodyum tabanlı katotlara geçişe odaklanan 6 yüksek potansiyelli PLIB teknolojisiyle karşılaştırılmıştır. Tedarik riski boyutu için kriterler: arz azalması, talep artışı, piyasa yoğunlaşması ve politik koşullar iken çevresel etki boyutu için kriterler: ekosistem ve insan sağlığı olmuştur. Kobalt ve lityum yüksek tedarik riskine sahip olmakla beraber risk giderek artmaktadır. Nikel, kobalttan daha düşük tedarik riskine sahipken, daha yüksek bir çevresel etkiye sahiptir. PLIB teknolojileri genellikle LIB teknolojilerinden daha düşük tedarik riskine ve çevresel etkiye sahiptir. Gültek ve Altın (2022), lityum iyon bataryalarının diğer bataryalara göre daha yüksek verimliliğe sahip olması ve kullanım alanlarının fazla olması dolayısıyla (cep telefonu, tablet, bilgisayar) üretimi, geri dönüşüm ve geri kazanım süreçleri, pil endüstrisinin sürdürülebilirliği ve çevresel etkileri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

3. Yöntem

Mevcut çalışmalar incelendiğinde, kullanılan yöntemlere dayalı olarak, hammadde kritikliği ve ilgili başlıca çalışmalar üç kategoriye ayrılmaktadır (Erdmann ve Graedel, 2011):

1. Hammadde kritikliğini değerlendirmek için klasik bir risk matrisinin bir modifikasyonu olarak bir kritiklik matrisi ilkesini kullanan çalışmalar.
2. Farklı alt göstergelerden hesaplanan tek bir risk endeksini nicelleştiren çalışmalar.
3. Talep (ve arz) yönlü gelişmeleri tahmin etmek için senaryo analizi ve zaman serisi analizi ile çalışan çalışmalar.

Çalışmada, talep yönlü gelişmeleri tahmin etmek için hammaddelerin kullanıldığı sürdürülebilir enerji kaynakları için zaman serisi analizi yöntemleri kullanılmaktadır. Sistemlerin etkin kontrolü için tahmin yaklaşımı çok önemli faydalar sağlamaktadır (Palit ve Popovic, 2005). Sistemlerin gelecekteki davranışlarını zaman serilerini kullanarak tahmin etmek önemli bir araştırma alanıdır (Gao vd., 2003). Zaman serileri analizi, enerji politikalarında, sürdürülebilir ekonomide gelecek projeksiyonu oluşturmak adına taleplere uygun planlama yapmak için kullanılmaktadır. Talep planlamada, mevcut kaynakların kullanımının optimizasyonunu da imkan vermektedir. İthalat bağımlılığı dolayısıyla talep önemli bir ekonomik endeks olup, her ülke için bir stratejik hammadde geliştirme politikasının oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Element bazında talepleri tahmin etmek için zaman serileri analizi önerilmiştir. Hammadde taleplerinin gelecek tahminleriyle işleme ve hammadde değerlendirme stratejilerinin ekonomik entegrasyonu sağlanabilir. Çalışmada kullanılan zaman serileri analizi yöntemleri, basit hareketli ortalama, ağırlıklı hareketli ortalama ve üstel hareketli ortalama yöntemleridir. Üç farklı yöntemle de veriler yorumlanmaktadır. Üstel hareketli ortalama, güncel verilere daha fazla ağırlık verdiği için, tercih edilebilirliği yüksektir. Üstel hareketli ortalama, düşük ortalama karesel hata ile elde edildiğinden genellikle tercih edilmektedir.

Yöntem, (Brown, 1959) son elde edilen veriye daha büyük ağırlıklar atamaktadır. Yöntem, aşağıdaki formülü kullanmaktadır (Rabbani vd., 2021):

$L_t = a \cdot A + (1-a) \cdot L_{t-1}$; “ L_t ”; “ L_t ” cari dönemin tahmini talebi, “ a ” düzeltme sabiti, “ A ” önceki dönemin talebi, “ L_{t-1} ” önceki dönemin tahmini talebidir.

Basit hareketli ortalama ise, önceki dönem verilerinin ortalamasını kullanarak talebi tahmin etmek için kullanılır ve $L_{t+1} = (L_t + L_{t-1} + \dots + L_{t-m+1})/m$ formülü ile bulunmaktadır; “ m ” dönemin uzunluğunu ifade etmektedir (Swari vd., 2021). Ağırlıklı hareketli ortalama, bir basit hareketli ortalama türüdür, her bir dönem “ t ” ye ağırlık atanmaktadır.

4. Bulgular

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllara Göre dağılımı (MV), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. bilgi merkezinden elde edilmektedir. Veri, 2006-2023 yıllarını kapsamaktadır. Termik enerji tahmini (Tablo 2) ve stratejik hammadde ilişkisi değerlendirildiğinde genellikle termik santrallerde kullanılan türbinler ele alınmaktadır. Nikel, Demir, Skandiyum, yüksek dayanıklılığa sahip alaşımların üretiminde kullanılır ve bu alaşımların termik enerji santrallerinde kullanılan türbinlerde kullanılabilir. Ayrıca, Krom ve Kobalt gibi elementler, yüksek sıcaklık dayanımlarıyla termik enerji santrallerinde kazan ve boru hatlarında kullanılmaktadır. Dolayısıyla, enerji tahminindeki artışlar belirtilen elementler için de talebi arttıracaktır.

Tablo 2: Termik Enerji Tahmin (MW)

Yıl	Termik	SMA(2)	SMA(3)	SMA(4)	WMA(2)	WMA(3)	WMA(4)	EMA(2)	EMA(3)	EMA(4)
2006	27420									
2007	27272							27146		
2008	27595	27346			27321			27012		
2009	29339	27433	27429		27487	27458		27290	27537	
2010	32279	28467	28069	27906	28758	28413	28210	28889	29134	29159
2011	33931	30809	29738	29121	31299	30518	29959	31691	31940	31964
2012	35027	33105	31850	30786	33380	32615	31883	33443	33707	33732
2013	38648	34479	33746	32644	34662	34204	33580	38648	34869	34895
2014	41802	36838	35869	34971	37441	36655	35981	34783	38241	38270
2015	41903	40225	38492	37352	40751	39621	38714	41100	41415	41446
2016	44412	41852	40784	39345	41869	41327	40534	41475	41823	41854
2017	46926	43157	42705	41691	43575	43140	42561	43742	46926	46926
2018	46909	45669	44414	43761	46088	45251	44655	46231	46608	46909
2019	47663	46917	46082	45037	46915	46498	45914	46441	46841	47663
2020	47794	47286	47166	46477	47412	47289	46964	47794	47541	47794
2021	48228	47728	47455	47323	47750	47603	47491	43014	47726	47768
2022	49725	48011	47895	47648	48083	47989	47853	47707	48136	48178
2023	69781	48977	48582	48352	49226	48904	48683	49093	49523	49566
2024		59753	55911	53882	63096	59503	57255	67278	67712	67755

Hidrolik enerji tahmini (Tablo 3) ve stratejik hammadde ilişkisi değerlendirildiğinde genellikle santrallerde kullanılan türbinler, jeneratörler, elektrik iletim hatları ele alınmaktadır. Hidroelektrik santrallerde

kullanılan türbinler, barajlar ve diğer yapısal bileşenler genellikle çelikten yapılmıştır. Santrallerde, jeneratörlerin sargılarında ve elektrik iletkenlerinde bakır ve alüminyum sıklıkla kullanılmaktadır.

Tablo 3: Hidrolik Enerji Tahmin (MW)

Yıl	Hidrolik	SMA(2)	SMA(3)	SMA(4)	WMA(2)	WMA(3)	WMA(4)	EMA(2)	EMA(3)	EMA(4)
2006	13063									
2007	13395							12932		
2008	13829	13229			13284			13231		
2009	14553	13612	13429		13684	13556		13651	13769	
2010	15831	14191	13926	13710	14312	14119	13955	14343	14463	14475
2011	17137	15192	14738	14402	15405	15071	14804	15558	15682	15694
2012	19609	16484	15841	15338	16702	16271	15898	16848	16979	16992
2013	22289	18373	17526	16783	18785	18156	17606	22289	19333	19346
2014	23643	20949	19679	18717	21396	20537	19809	20060	21979	21993
2015	25868	22966	21847	20670	23192	22520	21780	23285	23461	23477
2016	26681	24756	23933	22852	25126	24530	23859	25409	25610	25627
2017	27273	26274	25397	24620	26410	25904	25390	26341	27273	27273
2018	28291	26977	26607	25866	27076	26842	26451	26947	27180	28291
2019	28503	27782	27415	27028	27952	27684	27421	27917	28157	28503
2020	30984	28397	28023	27687	28432	28227	28011	30984	28444	30984
2021	31493	29743	29259	28763	30157	29708	29330	27886	30705	30730
2022	31572	31238	30327	29818	31323	30825	30422	31132	31388	31414
2023	23285	31532	31349	30638	31545	31447	31123	31249	31528	31553
2024		27428	28783	29333	26047	27415	28182	23798	24081	24109

Jeotermal enerji tahmini (Tablo 4) ve stratejik hammadde ilişkisi değerlendirildiğinde genellikle jeotermal enerji santrallerinde kullanılan borular, kazanlar, türbinler ve diğer ekipmanlar genellikle Demir, Bakır, Alüminyum gibi elementlerden yapılmıştır. Lityum, potasyum, magnezyum gibi elementler jeotermal suların işlenmesi ve arıtılması sırasında kullanılmaktadır. Jeotermal enerji, sürdürülebilir mineral çıkarma ve enerji üretimi için potansiyele sahip olup, enerji dönüşümü ve kritik hammadde yönetiminin geleceğine dair olumlu bir projeksiyon çizmektedir (Szanyi vd., 2023).

Tablo 4: Jeotermal Enerji Tahmin (MW)

Yıl	Jeotermal	SMA(2)	SMA(3)	SMA(4)	WMA(2)	WMA(3)	WMA(4)	EMA(2)	EMA(3)	EMA(4)
2006	81,9									
2007	169,2							81		
2008	29,8	126			140			160		
2009	77,2	100	94		76	85		42	43	
2010	94,2	54	92	90	61	77	82	72	74	74
2011	114,2	86	67	93	89	78	84	92	92	92
2012	162,2	104	95	79	108	101	92	111	112	112
2013	310,8	138	124	112	146	135	126	311	157	157
2014	404,9	237	196	170	261	229	205	280	295	295
2015	623,9	358	293	248	374	333	299	392	394	394
2016	820,9	514	447	375	551	499	449	598	601	601

2017	1063,7	722	617	540	755	686	628	795	1064	1064
2018	1282,5	942	836	728	983	909	837	1031	1037	1283
2019	1514,7	1173	1056	948	1210	1133	1059	1250	1257	1515
2020	1613,2	1399	1287	1170	1437	1362	1285	1613	1488	1613
2021	1676,2	1564	1470	1369	1580	1525	1463	1452	1600	1601
2022	1691,3	1645	1601	1522	1655	1628	1586	1654	1667	1669
2023	1691,0	1684	1660	1624	1686	1673	1653	1673	1688	1689
2024		1691	1686	1668	1691	1689	1680	1674	1689	1691

2021 Dünya Enerji Raporuna göre, rüzgâr ve güneş enerjisi (Tablo 5-6) gibi yenilenebilir ve temiz enerjilere yönelim son yirmi yılda hızla arttığı, özellikle elektrikli araç satışı rekor düzeyde arttığı görülmektedir. Teknolojik yenilikler, iklim değişikliği mücadelesi ile temiz enerji ekonomisini ortaya çıkarmaktadır. Ülkeler ve şirketler enerji ekonomisinde temiz teknolojiye yönelik devasa pazar fırsatı içerisinde hızlıca yerini almayı planlamaktadır. 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşırsa rüzgâr türbinleri, güneş panelleri, lityum iyon pilleri için yıllık Pazar fırsatının on kat artarak 1,2 trilyon ABD dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Güneş ve rüzgar enerjisi bağlamında kritik hammaddelerin gelecek projeksiyonun çizildiği bir çalışma (Cristóbal vd., 2020), Tellür, İndiyum ve Selenyum için gelecek talebin mevcut rezervleri aştığını göstermektedir. Çin AR-GE çalışmalarıyla temiz enerji inovasyonlarına yönelik harcamalarını arttırmaktadır. Yeni Zelanda 2030 yılına kadar temiz enerji yatırımlarında üç kat arttırmayı planlamaktadır. Hindistan ve Singapur uluslararası temiz enerji girişimcilerini desteklemek için hükümet girişimleri başlatmışlardır. Japonya ve ABD; Çin gibi Ar-Ge çalışmalarıyla üst düzey taahhütlerde bulunmaktadır. AB ülkeleri ise pil ittifakı gibi kamu girişimleriyle aktif olarak değer zincirlerini arttırmannın yollarını aramaktadırlar (IEA,2021). Temiz enerji geçişlerine yönelik ortaya çıkan yeni küresel enerji ekonomisiyle birlikte, ülkeler hem politik hem ekonomik kararlarla sürdürülebilir bir büyüme için yarışa girmektedirler (Cozzi vd., 2020).

Tablo 5: Rüzgâr Enerji Tahmin (MW)

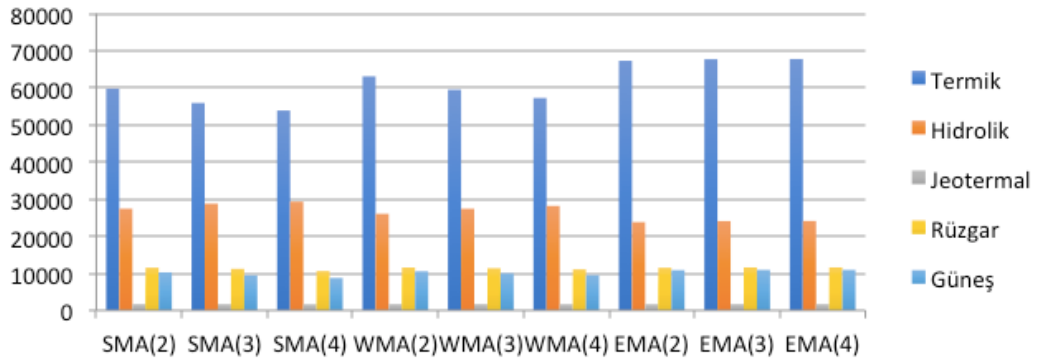
Yıl	Rüzgar	SMA(2)	SMA(3)	SMA(4)	WMA(2)	WMA(3)	WMA(4)	EMA(2)	EMA(3)	EMA(4)
2006										
2007										
2008	364									
2009	792									
2010	1320	578			649			745		
2011	1729	1056	825		1144	985		1259	1263	
2012	2261	1524	1280	1051	1593	1436	1282	1675	1682	1682
2013	2760	1995	1770	1525	2083	1927	1766	2760	2202	2203
2014	3630	2510	2250	2017	2593	2422	2260	2484	2703	2704
2015	4503	3195	2883	2595	3340	3112	2905	3515	3535	3537
2016	5751	4066	3631	3288	4212	3921	3668	4380	4404	4406
2017	6516	5127	4628	4161	5335	4982	4653	5581	6516	5617
2018	7005	6134	5590	5100	6261	5926	5595	6382	6423	6426
2019	7591	6761	6424	5944	6842	6633	6358	6891	6943	6947
2020	8832	7298	7038	6716	7396	7217	7016	8832	7521	7526
2021	10607	8212	7810	7486	8419	8114	7863	7949	8695	8701

2022	11396	9720	9010	8509	10015	9513	9111	10341	10410	10416
2023	11643	11002	10279	9607	11133	10706	10266	11211	11291	11298
2024		11520	11215	10620	11561	11388	11081	11504	11600	11608

Tablo 6: Güneş Enerji Tahmin (MW)

Yıl	Güneş	SMA(2)	SMA(3)	SMA(4)	WMA(2)	WMA(3)	WMA(4)	EMA(2)	EMA(3)	EMA(4)
2006										
2007										
2008										
2009										
2010										
2011										
2012										
2013										
2014	40									
2015	249									
2016	833	145			179			228		
2017	3421	541	374		638	506		772	3421	
2018	5063	2127	1501	1136	2558	2029	1672	3154	3156	3156
2019	5995	4242	3105	2391	4515	3810	3243	4864	4872	4872
2020	6667	5529	4826	3828	5684	5255	4684	6667	5882	5883
2021	7816	6331	5908	5287	6443	6176	5820	6001	6586	6589
2022	9425	7242	6826	6385	7433	7129	6832	7634	7688	7693
2023	11120	8621	7969	7476	8889	8429	8048	9186	9246	9252
2024		10273	9454	8757	10555	10004	9505	10856	10927	10933

Çalışmada kullanılan zaman serileri analizi yöntemleri, basit hareketli ortalama, ağırlıklı hareketli ortalama ve üstel hareketli ortalama yöntemlerinin 2, 3 ve 4 yıllık periyotlar halinde tahmin değerleri Şekil 5’ de gösterilmektedir. Termik enerji ve hidrolik enerji kaynaklarının yıllara göre her üç yöntemde de artış gösterdiği gözlenmektedir. Bu artışın da bu enerji kaynaklarıyla ilişkili hammaddelerde arz riski ortaya çıkaracağı düşünülmektedir.

**Şekil 5:** Zaman Serisi Yöntemlerine Göre Enerjilerin Karşılaştırılması

Sürdürülebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminden daha az çevresel etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu kaynaklar arasında güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle enerjisi bulunmaktadır. Bu kaynakların kullanımı, karbon emisyonlarını azaltmaya ve iklim değişikliğiyle mücadele etmeye yardımcı olabileceği bilinmektedir. Daha verimli enerji kullanımı, enerji tüketimini azaltabilir ve bu da emisyonları azaltmaya yardımcı olabilir. Sürdürülebilir enerji kaynaklarının benimsenmesi, uluslararası hedeflere ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Birçok ülke, Paris Anlaşması gibi uluslararası anlaşmalarla belirlenen karbon emisyonu hedeflerine ulaşmak için sürdürülebilir enerji politikalarını benimsemektedir. Sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı, çevresel etkileri azaltmak ve uluslararası hedeflere ulaşmak için önemli bir adımdır (Martin vd., 2022).

Sonuç olarak, yeşil dönüşüm kapsamında incelenen kaynakların zaman serileri ve teknolojileri incelendiğinde en yüksek talep artışı gösterecek hammaddeler Nikel, Demir, Skandiyum, Krom ve Kobalt, Bakır, Lityum, Potasyum, Magnezyum ve Alüminyum olmaktadır. Dijital dönüşüm bağlamında, ekran teknolojilerindeki gelişim ve taşınabilir elektronik cihazların hızla yayılması, bu teknolojilerde yoğun olarak kullanılan indiyuma olan talebin hızla artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, lityum iyon pillerin bir bileşeni olan kobalta olan talep, cep telefonu, diz üstü bilgisayar gibi teknolojilerin gelişimine bağlı olarak artış göstermiştir (Tercero, 2019). Çalışma bulguları, yatırım kararı verilecek enerji teknolojileri, hammadde ve ileri teknoloji uygulamalarına karar verilmesini sağlayacaktır. Dolayısıyla, enerji tahminindeki artış veya azalışlar, ele alınan enerjilerle ilişkili elementler için de talebi belirleyecektir. Artış göstermesi beklenen elementler için, birincil madencilik faaliyetleri veya geri dönüşüm teknolojilerine yapılacak yatırımlar desteklenecektir.

5. Sonuç ve Tartışma

Sürdürülebilir enerji kaynaklarının yaygın kullanımı, çevresel etkilerin azaltılması ve uluslararası iklim hedeflerine ulaşılması açısından ikiz dönüşüm için önemli adımdır. Bu dönüşümün başarılı olması için yenilenebilir enerji teknolojilerinin gerektirdiği hammaddelerin sürdürülebilir bir şekilde tedarik edilmesi gerekmektedir. Yeşil ve dijital dönüşüm süreçleri, belirli metallerin talebinde önemli artışlara yol açmakta ve hem tedarik zincirlerinin yönetimi hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından dikkatli bir planlama gerektirmektedir. Sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla birlikte belirli metallerin talebinde artışlar gözlemlenmektedir. Özellikle lityum iyon bataryalarının daha yaygın hale gelmesiyle lityum talebinde belirgin bir artış yaşanmaktadır. Bu durum, teknolojik gelişimle doğrudan ilişkilidir çünkü lityum, cep telefonları, tabletler ve bilgisayarlar gibi birçok cihazın pil teknolojilerinde temel bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, metal talebinin teknolojik değişimle nasıl etkileneceğini anlamak daha karmaşık bir konudur. Teknolojik gelişmeler, bazen malzeme verimliliğini artırarak ve maliyetleri düşürerek metal talebini artırabilir. Öte yandan, malzeme verimliliğinin artması durumunda, belirli metallerin talebinde azalma olabilir. Dolayısıyla, teknolojik değişimin metal talebi üzerindeki etkilerini tam olarak anlamak için tüketici tercihleri ve endüstriyel dönüşüm gibi faktörleri dikkate almak gerekmektedir. Sonuç olarak, sürdürülebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasıyla birlikte metal

talebinde artışlar gözlemlenmektedir ve bu artışlar yeşil ve dijital gelişimle yakından ilişkilidir. Bu nedenle, sürdürülebilirlik ve teknolojik değişim arasındaki ilişkiyi dikkatle izlemek ve yönetmek önemlidir. Enerji kaynaklarının talep projeksiyonları, teknolojik ihtiyaçlar, malzeme verimliliği, pazar dinamikleri, çevresel düzenlemeleri içererek, gelecekteki hammadde gereksinimlerini yönlendirmektedir. Kritik hammadde tedarik zincirlerinde sürdürülebilirliği teşvik edecek enerji politikaları, artan hammadde taleplerini dolayısıyla yeşil teknolojilere yöneltecek yatırım kararları, teknolojik inovasyonlara ve yasal düzenlemelere uyum sağlayacak sanayi stratejileri gerekmektedir.

Yazar Katkısı

KATKI ORANI	AÇIKLAMA	KATKIDA BULUNANLAR
Fikir veya Kavram	Araştırma fikrini veya hipotezini oluşturmak	Miray Say Mahir Öner Elifcan Göçmen Polat
Literatür Taraması	Çalışma için gerekli literatürü taramak	Miray Say
Araştırma Tasarımı	Çalışmanın yöntemini, ölçeğini ve desenini tasarlamak	Mahir Öner Elifcan Göçmen Polat
Veri Toplama ve İşleme	Verileri toplamak, düzenlemek ve raporlamak	Mahir Öner
Tartışma ve Yorum	Bulguların değerlendirilmesinde ve sonuçlandırılmasında sorumluluk almak	Miray Say Mahir Öner Elifcan Göçmen Polat

Çıkar Çatışması

Çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Teşekkür

Munzur Üniversitesi Stratejik Hammaddeler ve İleri Teknoloji Uygulamaları ihtisaslaşması kapsamında oluşturulan çalışma grubu olarak, ihtisaslaşma koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Akyol, M, & Mete, E (2021) Teknoloji yoğunluklarına göre dış ticaretin ekonomik büyüme üzerine etkisi: Türkiye örneği *Maliye Dergisi*, 180, 208-232.
- Aglund, S, & Benson, J (2022) Identifying Risks in the Supply Chain of Materials at Volvo Cars A Concept Modelling of Environmental, Social, and Technical Risks
- Arnold, M G, & Hockerts, K (2011) The greening dutchman: Philips' process of green flagging to drive sustainable innovations *Business Strategy and the Environment*, 20(6), 394-407
- Aydın, S G, & Aydoğdu, G (2022) Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak Türkiye ve AB ülkelerinin CO2 emisyonlarının tahmini *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (37), 42-46
- Buchert, M, Manhart, A, Bleher, D, & Pingel, D (2012) Recycling critical raw materials from waste electronic equipment *Freiburg: Öko-Institut eV*, 49(0), 30-40
- Brown, R.G., 1959. Statistical forecasting for inventory control. McGraw/Hill

- Cozzi, L, Gould, T, Bouckart, S, Crow, D, Kim, T Y, McGlade, C, & Wetzel, D (2020) World energy outlook 2020 *International Energy Agency: Paris, France*, 1-461
- Cristóbal, J., Jubayed, M., Wulff, N., & Schebek, L. (2020). Life cycle losses of critical raw materials from solar and wind energy technologies and their role in the future material availability. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104916.
- Cusack, P. B., Courtney, R., Healy, M. G., O'Donoghue, L. M., & Ujaczki, É. (2019). An evaluation of the general composition and critical raw material content of bauxite residue in a storage area over a twelve-year period. *Journal of Cleaner Production*, 208, 393-401.
- David, M., & Koch, F. (2019). "Smart is not smart enough!" Anticipating critical raw material use in smart city concepts: the example of smart grids. *Sustainability*, 11(16), 4422.
- Demirtaş, M, Turan, A, Car, E, & Yücel, O (2017) Kritik Hammaddeler Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Dergisi, 183, 28-33
- Espinoza, L. T., Loibl, A. N. T. O. N. I. A., Langkau, S. A. B. I. N. E., De Koning, A. R. J. A. N., Van Der Voet, E. S. T. E. R., & Michaux, S. (2021). Report on the future use of critical raw materials. *Accessed the 5th of March*.
- Erdmann, L, & Graedel, T E (2011) Criticality of non-fuel minerals: a review of major approaches and analyses *Environmental science & technology*, 45(18), 7620-7630
- European Commission (EC), Study on the Critical Raw Materials for the EU Final Report 2020
- Ferro, P., Bonollo, F., & Cruz, S. A. (2021). Product design from an environmental and critical raw materials perspective. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(1), 1-11.
- Gao, D, Kinouchi, Y, Ito K, and Zhao, X, 2003 Time Series Identifying and Modeling with Neural Networks
- GWEC, "Global wind report 2021" Global Wind Energy Council (GWEC), <https://gwecnet/global-wind-report-2021/> , 25 Kasım 2023
- Göçmen-Polat, E. (2024). Assessment of Critical Raw Materials by Addressing Sustainable Development Goals Using Fuzzy MCDM Approach. In *Harmonizing Global Efforts in Meeting Sustainable Development Goals* (pp. 164-181). IGI Global.
- Gültek, E, & Altın, S (2022) LiFePO4 Bataryalarda Güncel Çalışmalar *Turkish Journal of Engineering Research and Education*, 1(2)
- Günaşlan, S, Nalbur, B E, & Cindoruk, S S (2023) Otomotiv Endüstrisinde Döngüsel Ekonomi ve Elektrikli Araçlar İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin İncelenmesi *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(4), 313-318
- Hiçyılmaz, B (2022) Avrupa Birliği Kritik Hammaddeler Yasası İklim değişikliği ekonomisi çalıştay Eskişehir
- International Energy Agency (IEA), (2021) World energy outlook 2021 Paris, France: IEA 2023, <https://www.iea.com/>
- International Energy Agency (IEA), (2023) World energy Outlook 2023 Paris, France: IEA, 2023, <https://www.iea.com/>
- Kakışım, C, (2022) Kritik Minerallerin Türkiye'nin Enerji Dönüşümüne Etkisi: Teknoloji Bağımsızlığı Açısından Yeni Jeopolitik Tehdit *Mukaddime*, 13(1), 101-124
- Karakaya, E, (2023) Net Sıfır Hedefleri Sürecinde Malzemenin Rolü: Malzeme Verimliliği, Sanayide Karbonsuzlaşma ve Döngüsel Ekonomi İlişkisi <https://www.wiklimhaber.org/net-sifir-hedefleri-surecinde-malzemenin-rolu-malzeme-verimliliği-sanayide-karbonsuzlaşma-ve-dongusel-ekonomi-iliskisi/>, 30 Kasım 2023

- Kumcu, S, & Özyörük, B (2023) Sürdürülebilir yeşil bir kalkınma için salınan karbonun yakalanması, depolanması ve kullanımına yönelik bir araştırma *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 386-394
- Lee, J, & Zhao, F (2022) GWEC Global Wind Report 2022 *Global Wind Energy Council: Brussels, Belgium*
- Martin, N., Madrid-López, C., Villalba-Méndez, G., & Talens-Peiró, L. (2022). New techniques for assessing critical raw material aspects in energy and other technologies. *Environmental Science & Technology*, 56(23), 17236-17245.
- Ortega-Gras, J. J., Bueno-Delgado, M. V., Cañavate-Cruzado, G., & Garrido-Lova, J. (2021). Twin transition through the implementation of industry 4.0 technologies: Desk-research analysis and practical use cases in Europe. *Sustainability*, 13(24), 13601
- Qamar, M Z, Ali, W, Qamar, M O, & Noor, M (2021) Green technology and its implications worldwide *The Inquisitive Meridian*, 3, 1-11
- Palit, AK, Popovic, D, 2005 *Computational Intelligence in Time Series Forecasting: Theory and Engineering Applications* Springer-Verlag
- Polat, E. G. (2023). Assessing the Roles of Raw Materials in Sustainable Development Goals: Current Situation and Future Prospects. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 7(2), 176-186.
- Polat, E. G., Yücesan, M., ve Gül, M. (2023). A Comparative Framework For Criticality Assessment of Strategic Raw Materials in Turkey. *Resources Policy*, 82, 103511.
- Rabbani, M. B. A., Musarat, M. A., Alaloul, W. S., Rabbani, M. S., Maqsoom, A., Ayub, S., ... & Altaf, M. (2021). A comparison between seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) and exponential smoothing (ES) based on time series model for forecasting road accidents. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(11), 11113-11138.
- Swari, M. H. P., Qusyairi, M., Mandyartha, E. P., & Wahanani, H. E. (2021, May). Business Intelligence System using Simple Moving Average Method (Case Study: Sales Medical Equipment at PT. Semangat Sejahtera Bersama). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1899, No. 1, p. 012121). IOP Publishing.
- Szanyi, J., Rybach, L., & Abdulhaq, H. A. (2023). Geothermal Energy and Its Potential for Critical Metal Extraction—A Review. *Energies*, 16(20), 7168.
- TC Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023 Sanayi ve Strateji Teknolojisi (18092019), 01122023
- Tercero, L A, (2019) Report on the future use of critical raw materials SCRREEN project, Deliverable D, 2
- Ueberschaar, M., Otto, S. J., & Rotter, V. S. (2017). Challenges for critical raw material recovery from WEEE—The case study of gallium. *Waste Management*, 60, 534-545.
- Ujaczki, É, Feigl, V, Molnár, M, Cusack, P, Curtin, T, Courtney, R, & Lenz, M (2018) Re-using bauxite residues: benefits beyond (critical raw) material recovery *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93(9), 2498-2510
- Veral, E S, & Yiğitbaşıoğlu, H (2018) Avrupa Birliği atık politikasında atık yönetiminden kaynak yönetimi yaklaşımına geçiş yönelimleri ve döngüsel ekonomi modeli *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-19
- 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
- YALÇIN, A Z (2010) Sürdürülebilir kalkınma için düşük karbon ekonomisinin önemi ve türkiye için bir değerlendirme *balıkesir üniversitesi sosyal bilimler enstitüsü dergisi*, 13(24), 186-203
- URL-1, 2023 www.crmalliance.eu/ Critical raw materials 29 Ekim 2023

- URL-2, 2023 <https://bilimgenctubitakgovtr> Tekrar şarj edilebilen bataryaların kritik lityum yerli olarak üretildi, 04 Ekim 2023
- URL-1, 2023 <https://wwwmfagovtr/paris-anlasmasitrmfa> 1 Aralık 2023
- URL-2, 2023 Republic of Turkey Intended Nationally Determined Contribution, 2015, web sayfası:https://www4unfcccint/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Turkey/1/The_INDC_of_TURKEY_v151930pdf 1 Aralık 2023
- URL-3, 2023 <https://wwwphilipscomtr/c-e/philips-yesil-urunlerhtml> 28 Eylül 2023
- URL-4, 2023 www.siemens-energy.com Sustainability Report 2023, 1 Aralık 2023

Özgeçmiş

Miray SAY (YL mezun), Munzur Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi İşletme yüksek lisans programından mezun olmuştur. Araştırma alanları, afet yönetimi, sağlık yönetimidir.

Mahir ÖNER (Arş. Gör), Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde doktora eğitimine devam etmektedir. Araştırma alanları, yöneylem araştırması, dijital teknolojiler ve sürdürülebilirlik olup, ulusal ve uluslararası birçok yayını bulunmaktadır.

Elifcan GÖÇMEN POLAT (Doç. Dr.), Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Doçent kadrosunda çalışmaktadır. Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans ve doktora eğitimini tamamlamıştır. Araştırma alanları, yöneylem araştırması, tedarik zinciri yönetimi ve sürdürülebilirlik olup, ulusal ve uluslararası birçok yayını bulunmaktadır.