

Enerji dönüşümü: Kavramlar, mekanizmalar ve etkiler

Yu Yang ^{a,(b),(c),(*)}, Siyou Xia ^{a(c)(*)}, Ping Huang ^d, Junxi Qian ^e

^a Coğrafi Bilimler ve Doğal Kaynaklar Araştırma Enstitüsü, Çin Bilimler Akademisi, Pekin, 100101, Çin

^b Kaynaklar ve Çevre Koleji, Çin Bilimler Akademisi Üniversitesi, Pekin, 100049, Çin

^c Coğrafya Bölümü, Buffalo Üniversitesi-SUNY, Buffalo, NY, 14261, Amerika Birleşik Devletleri

^d Uluslararası İlişkiler Enstitüsü, Qianhai, Hong Kong Çin Üniversitesi, Shenzhen, Shenzhen, 518115, Çin

^e Coğrafya Bölümü, Hong Kong Üniversitesi, Hong Kong, 999077, Çin

ARTICLE INFO

Taşıma editörü: Mark Howells

Anahtar kelimeler:

Enerji dönüşümü
Yenilenebilir enerji
Adil geçiş Enerji
güvenliği

ABSTRACT

Günümüzde enerji dönüşümüne ilişkin araştırma gündemi ivme kazanmaktadır. Bu makale, enerji geçişlerinin çağrışımalarını, mekanizmalarını ve etkilerini tanımlayan bir çerçeve sunarak bu araştırma bütününe kapsamlı bir incelemesini yapmaktadır. Çalışma, enerji geçişinin enerji sektörünün ötesinde enerji sistemi unsurlarının yeniden yapılandırılmasına yol açacağı sonucuna varmaktadır. Açık geçiş genellikle enerji kullanım türü, yapısı, biçimi, ulaşım modu ve mekânsal örüntü gibi istatistikî veri ve bilgilerle yakalanmaktadır. Örtük geçiş ise enerji güvenliği, jeopolitik yapı, enerji gücü, enerji adaleti ve enerji yönetimindeki değişimleri içermekte olup mevcut literatürde nispeten daha az ilgi görmektedir. Enerji dönüşümü, teknolojik yenilik, piyasa mekanizmaları, politika düzenlemeleri ve sosyo-kültürel faktörler gibi iç içe geçmiş birçok faktör tarafından yönlendirilen ve derin sosyo-ekonomik ve ekolojik etkileri tetikleyen oldukça sosyalleşmiş bir süreçtir. İleriye baktığımızda, enerji dönüşümünün çok ölçekli etkilerine dikkat etmek, enerji dönüşümünün getirdiği risklerden kaçınmak ve adil enerji dönüşümünü çok yönlü olarak başarmak aciliyet arz etmektedir. Bu makale, enerji dönüşümünün teorik olarak anlaşılması ve iletilmesi konusunda yeni bir bakış açısı sunmakta ve literatüre katkıda bulunmaktadır.

1. Giriş

Küresel karbon nötrlüğüne ulaşmayı amaçlayan sıfır karbona geçiş, insan toplumu için önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu çerçevede, enerji sektörü bu zorluğun üstesinden gelmeye çağrılan başlıca paydaşlardan biridir [1]. Net sıfır emisyon hedeflerine ulaşmak ve küresel ısınmayı 2050 yılına kadar 1.5° C ile sınırlamak için sürdürülebilir, verimli, rekabetçi ve güvenli bir enerji sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir [2,3]. İyileştirilmiş maliyet rekabetçiliğinden ve düşük karbonlu enerji politikalarına yönelik yaygın destekten yararlanan yenilenebilir enerji, özellikle de rüzgar ve güneş enerjisi, son on yılda beklentileri sürekli olarak aşarak benzeri görülmemiş bir büyüme yaşadı. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) tarafından açıklanan verilere göre, 2021 yılı sonunda yenilenebilir enerjinin küresel kurulu gücü 3,064 milyar kilovata ulaşarak toplam kurulu güç arzının %38,3'ünü oluşturdu. Bu arada, IEA'nın belirtilen politika senaryolarına göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının 2030 yılına kadar küresel olarak artan kurulu elektriğe %80 oranında katkıda bulunacağı öngörülmektedir [4-6]. Uzun vadede, fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, aşağıdaki hedeflere ulaşmak için önemli bir enerji stratejisidir

net-sıfır emisyon hedefleri ve dünya çapında politika yapıcı çevreler arasında temel bir eylem çerçevesi olarak tanımlanmıştır [7,8]. Tarihsel olarak enerji geçişi, düşük verimli enerji kaynaklarından yüksek verimli olanlara doğru geçiş yaparak bir hakim enerji kaynağından veya kaynak kümesinden diğerine geçişi ifade eder [9]. Tarihe dönecek olursak, insan toplumu yakacak odun döneminden kömür dönemine ve nihayetinde petrole kadar iki enerji geçişi yaşamıştır [10]. Bu makaledeki tartışmaların merkezinde yer alan enerji geçişinin en son aşaması, karbon bazlı enerjiden, özellikle kömür ve petrolden, gaz, rüzgar, güneş ve hidroelektrik gibi daha düşük karbonlu enerji kaynaklarına geçişle işaretlenmektedir. 1970'lerdeki küresel petrol krizinden bu yana, birçok ülke alternatif enerji çözümleri arayan enerji dönüşüm stratejileri geliştirmeye başlamıştır [11]. Alman Uygulamalı Ekoloji Enstitüsü'nden araştırmacılar, yenilenebilir enerjiye yönelme ve enerji verimliliğini artırma koşulları altında daha az enerji tüketimiyle ekonomik büyümenin sağlanabileceğine inanıyordu. Enstitü 1982 yılında "Ener-giewende" kavramını ilk kez ortaya atan "Energy Transition, Growth and Prosperity without Oil and Uranium" (Enerji Dönüşümü, Petrol ve Uranyum Olmadan Büyüme ve Refah) adlı kitabı yayınlamış [12] ve gelecekte baskın enerjinin yenilenebilir enerji olacağına işaret etmiştir.

* Sorumlu yazar. Coğrafi Bilimler ve Doğal Kaynaklar Araştırma Enstitüsü, Çin Bilimler Akademisi, Pekin, 100101, .

E-posta adresi: xiasyou@163.com (S. Xia).

<https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101320>

Alındı 5 Temmuz 2023; Gözden geçirilmiş haliyle alındı 10 Ocak 2024; Kabul edildi 23 Ocak 2024

Çevrimiçi olarak kullanılabilir 4 Şubat 2024

2211-467X/© 2024 Yazarlar. Elsevier Ltd. tarafından yayınlanmıştır. Bu makale CC BY lisansı altında açık erişimli bir makaledir (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

petrol ve nükleer enerjiden yenilenebilir enerjiye geçmelidir ki bu da yenilenebilir enerjiye geçiş kavramının embriyonik bir şekli olarak kabul edilebilir.

Genel olarak, enerji dönüşümü muazzam akademik, politik ve pratik öneme sahip bir konudur. Son birkaç on yılda, enerji dönüşümleri benzeri görülmemiş bir hızda gerçekleşmiş ve bu konuya adanmış önemli bir literatürün ortaya çıkmasına neden olmuştur (Tablo 1) [13-17]. Örneğin Podobnik enerji geçişini, yeni teknolojilerin icadı veya yeni enerji türlerinin keşfi yoluyla yeni bir birincil enerji kaynağının insan tüketimi için yaygın olarak kullanıldığı bir süreç olarak tanımlamaktadır [18]. Smil ise enerji geçişini belirli bir enerji kombinasyonundan diğerine geçiş süreci olarak tanımlamakta ve şu noktalara dikkat çekmektedir

Tablo 1
Mevcut enerji dönüşümü tanımları.

Bölüm	Tanım	Ref.
Enerji tüketiminin türleri, biçimleri yapıları	Ağırlıklı olarak yenilenebilir enerjiye dayalı bir dünya enerji sistemine doğru yapısal bir değişim.	[21]
	Bir baskın enerji kaynağından ya da kaynaklar kümesinden diğerine geçiş. Yeni bir birincil enerji kaynağının ya da ana taşıyıcının piyasaya sürülmesi ile genel pazarda önemli bir paya sahip olması arasında geçen süre.	[22]
	Enerjinin bir sistem içinde nasıl kullanıldığının doğasında veya modelinde bir değişim.	[23]
	Geçiş, bir sektördeki belirli bir hizmet için enerji tüketiminin %5'inden %80'ine (veya 'e ulaşmadıysa tepe noktasına) kadardı.	[14]
	Yakıtlarda (örneğin odun kömürü veya kömürden petrole) ve bunlarla ilgili teknolojilerde (örneğin buharlı motorlardan içten yanmalı motorlara) bir değişiklik.	[24]
	Enerji üretimi için kullanılan yakıt kaynağındaki ve bu yakıttan yararlanmak için kullanılan teknolojilerdeki değişimler.	[25]
	Tek bir enerji kaynağı veya ilgili grubu, belirli bir dönem veya çağ boyunca piyasaya hakim olmuş, sonunda meydan okunmuş ve yerini başka bir ana kaynak veya kaynaklar almıştır.	[26]
		[27]
Sosyoekonomik sonuçlar	Bir ekonomik sistemden diğerine geçiş	[28]
	Bir veya bir dizi enerji kaynağına ve teknolojisine bağlı olarak diğerine geçiş. Bir enerji sisteminde birden fazla enerji kaynağını, taşıyıcıyı, sektörü ve son kullanım uygulamalarını etkileyen, genellikle "genel amaçlı" teknolojilerin (örneğin buhar makineleri veya elektrik) yayılmasıyla ilişkili yaygın değişiklikler.	[29]
	Bir toplumdaki enerji kullanım modellerinde, potansiyel olarak kaynakları, taşıyıcıları, dönüştürücüleri ve hizmetleri etkileyen özellikle önemli bir dizi değişiklik.	[30]
	Enerji dönüşümü, hem sosyo-teknik manzarayı hem de onu sürdüren sosyo-politik-teknik rejimi ilgilendiren yeni bir yöndür.	[16]
	Yerleşik sosyo-teknik sistemlerin daha sürdürülebilir üretim ve tüketim biçimlerine geçtiği uzun vadeli, çok boyutlu ve temel dönüşüm süreçleri.	[31]
	Enerji dönüşümü, temelde ekonomik ve sosyal faaliyetlerin mevcut mekânsal kalıplarının yeniden yapılandırılmasını içeren coğrafi bir süreçtir.	[32]
	Çevresel ve sosyal maliyetleri, riskleri ve faydaları dengelemek için iyi yönetilen yüksek verimli bir enerji sistemine doğru geçişin sürdürülebilir olduğu kabul edilir.	[33]

Enerji tüketim yapısında yeni enerjinin oranının %5'e ulaşmasının enerji dönüşümünün başlangıcına, yarısını aşmasının ise dönüşümün tamamlandığına işaret olarak kabul edilebileceğini belirtmektedir [19]. Dünya Enerji Konseyi ve Kearney tarafından ortaklaşa hazırlanan "Küresel Enerji Dönüşümü" raporu, enerji dönüşümünü bir ülkenin enerji karşımında yenilenebilir enerji oranının artması, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ve fosil yakıtların aşamalı olarak terk edilmesi gibi temel bir değişiklik olarak tanımlamaktadır [20]. Bu çalışmalar, özellikle enerji tüketiminin türlerini, biçimlerini ve yapılarını kapsayan çeşitli yönleriyle ilgili olarak enerji dönüşümü kavramının karmaşık bir incelemesini üstlenmiştir. Bununla birlikte, bu tanımlar, enerji politikaları, altyapı arazi şekilleri, sosyo-teknik sistemler ve enerji dönüşümü sürecinin altında yatan toplumsal uygulamalarda meydana gelen karmaşık dönüşümleri kapsamlı şekilde kapsamadıkları için bir ölçüde üstünkörü olarak kabul edilebilir. Özellikle ve bu makale ile özel olarak ilgili olarak, bazı akademisyenler

enerji tüketiminin ötesine geçmiş ve bunun yerine dikkatlerini enerji dönüşümünün daha geniş sosyo-ekonomik sonuçlarına yöneltmişlerdir. Enerji dönüşümünü, enerji sistemi ile sosyo-ekonomik sistem arasındaki etkileşim olarak tanımlamaktadırlar (Tablo 1). Örneğin Child ve Breyer, enerji geçişi kavramının aynı zamanda teknolojilerdeki değişimlerle ilişkili ekonomik, sosyal ve siyasi rejimlerin karmaşık bir gelişimini ifade ettiğini öne sürmektedir [16]. Bridge ve arkadaşları, enerji geçişinin temelde ekonomik ve sosyal faaliyetlerin mevcut mekânsal kalıplarının yeniden yapılandırılmasını içeren coğrafi bir süreç olduğunu belirtmektedir [32]. Chen ve arkadaşları ile Mohammad ve arkadaşları, enerji dönüşümünün çevresel, sosyal ve ekonomik maliyetleri, riskleri ve faydaları dengeleyebilen, iyi yönetilen, yüksek verimli bir enerji sistemi öngördüğüne inanmaktadır [33,34]. Özünde enerji dönüşümü, enerji sistemleri içerisinde çok yönlü, kalıcı ve yapısal bir evrimi temsil etmektedir [15,35-38]. Ana akım araştırmalar, enerji dönüşümünü anlamak için ağırlıklı olarak iki temel sezgisel yaklaşım üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlardan ilki, enerji kullanımının değişmesiyle ilgilidir ve belirli bir yeni enerji türünün yaygın olarak benimsenmesinin bir geçişin başlangıcına işaret ettiğini öne sürmektedir [10]. İkinci sezgisel yaklaşım ise enerji karşımalarının değiştirilmesinin altını çizmekte ve enerji dönüşümü sürecinin enerji üretim ve tüketim yapılarındaki dönüşümlerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesini kapsadığını vurgulamaktadır [28,39,40]. Genel olarak, önceki araştırmalar enerji enerji geçişi alanındaki epistemik farklılıkların tanımlanması ancak henüz bu tür bölünmelerin varlığını kanıtlayan ikna edici kanıtlar sunmamıştır.

Enerji dönüşümünün yol açtığı temel geçişler sadece enerji teknolojileri ve ekonomisinde değil, aynı zamanda fiziksel ve beşeri coğrafyalarda, sosyal anlamlarda ve enerji üretimi, dağıtımı ve tüketiminin siyasi organizasyonunda da daha derin bir dönüşümü içermektedir [26]. Bu arada, ister yerel, bölgesel, ulusal veya uluslararası ölçekte olsun, enerji dönüşümünün kendiliğinden gerçekleşmeyeceğini kabul etmek zorunludur [41,42]. Bunun yerine, birbirine bağlı çok sayıda faktör tarafından yönlendirilen son derece karmaşık, çekişmeli ve heterojen bir sosyal sürece yol . Enerji dönüşümüne yönelik akademik ve kamusal ilginin artmasıyla birlikte, bu sürecin itici güçlerini ve sonuçlarını daha iyi anlamak için daha sistematik bir epistemolojik çerçeve geliştirmek zorunlu hale gelmiştir. Özellikle enerji dönüşümü, sosyoekonomik sistem ile ekosistem arasındaki giderek artan ortak ilişkilerin altını çizen kapsamlı ve derin sosyal ve ekonomik değişimleri beraberinde getirmektedir. Ne yazık ki, "enerji dönüşümü" terimi artık yaygın olarak kullanılsa da, enerji dönüşümüne ilişkin sistematik bir kavrayış ve analitik bir çerçeve henüz mevcut değildir [15]. Bu araştırma boşluğunu doldurmak ve devam eden ve gelecekteki enerji geçişlerinin farklı bağlamlarda yerel ihtiyaçlar ve sosyoekonomik koşullarla iyi bir şekilde eklemlenmesini sağlamak için (1) enerji geçişinin çağnşımını daha da inceltmek; (2) itici mekanizmaları açıklamak ve (3) çok boyutlu sonuçları üzerinde düşünmek gerekmektedir.

Bu makale, sürecin çağrışımlarını, önemli itici mekanizmalarını ve etkilerini tanımlayan analitik bir çerçeve sunarak enerji geçişleri literatürüne katkıda bulunmaktadır (Şekil 1). Bu analitik çerçeve, enerji geçişlerinin daha geleneksel açık ve yeterince temsil edilmeyen örtük analizler yoluyla nasıl incelenebileceğini göstermeye çalışan ve aynı zamanda enerji geçişinin iç içe geçmiş mekanizmalarını ve çok boyutlu sonuçlarını tanımlayan yeni bir bakış açısı sunmaktadır.

2. Enerji dönüşümünün çağrışımlarını hafifletmek

İnsan toplumunda bugüne kadar üç enerji geçişi yaşanmıştır (Şekil 2): birincisi yakacak odunun yerini kömürün alması; ikincisi kömürün yerini petrolün alması; ve üçüncü (ve devam eden) geçiş ise petrol ve kömürün temsil ettiği fosil enerjinin yerini temiz ve yenilenebilir enerjinin almasıdır. Doğası gereği, mevcut düşük karbonlu enerji geçiş dalgası, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak için temiz elektriğin hakim olduğu bir enerji üretim ve tüketim modeli öngörmektedir.

Enerji geçişi esasen enerji sisteminin ana unsurlarının, enerji üretimi, depolanması, iletimi ve tüketimi, enerji teknolojileri, yönetimi ve enerji güvenliği, jeopolitik ve enerji yönetimi ile ilgili uygulamaları içeren uzun bir zincir ve karmaşık bir sistemde somutlaşan yeni bir enerji hizmeti yapılandırmasına doğru temel bir dönüşüm sürecidir. Bu makalede enerji dönüşümünün enerji türü, yapısı, biçimi, aktarımı, mekânsal örüntüsü, teknolojisi, faydası, yönetim biçimi, enerji güvenliği, jeo-yapısı, jeo-enerji gücü ve enerji yönetimi gibi çoklu boyutlardaki çağrışımları ele alınmaktadır. Özellikle, enerji dönüşümünün çağrışımları hem açık hem de örtük bir boyuta sahip olarak detaylandırılmıştır (Şekil 2).

2.1. Açık çağrışımlar

Enerji dönüşümünün açık çağrışımları genellikle istatistiksel veri ve bilgilerle, örneğin dönüşümün ortasında enerji kullanım türü, yapısı, biçimi, ulaşım modu ve mekânsal örüntünün analizi yoluyla yakalanır. Enerji dönüşümüne işaret eden enerji türü fosil enerjiden yenilenebilir enerjiye dönüşecek; elektrik ana kanalı haline gelecek; ve enerji kullanımından kaynaklanan emisyonlar karbon yoğunundan düşük karbona, hatta sıfır karbona dönüşecektir [43-45]. Enerji yapısı daha fazla çeşitlenecek, fosil enerji tüketiminin miktarının ve tüm karışıma oranının giderek azaldığı, yenilenebilir enerji tüketiminin miktarının ve oranının arttığı bir geçiş süreci gösterecektir [46,47].

Enerji formu, katı (kömür) ve sıvı (petrol) formlardan gaz (doğal gaz) ve iyonik (elektrik) formlara geçiş sürecini ifade etmektedir [48]. Enerji formunun değişmesiyle birlikte, enerji taşıma modu da enerji taşıma kanalı ve boru hattı açısından elektrik şebekesine ve bölgeler arası enerji şebekesi yenilenebilir enerjinin taşınmasında önemli bir rol oynayacaktır. Buna ek olarak, fosil yakıtlar dünya genelinde eşit şekilde dağılmamaktadır, yenilenebilir enerjinin geniş spektrumu eşit olmayan mekânsal dağılım modelini değiştirecek ve dengesiz dağılımdan nispeten dengeli dağılıma geçişin mekânsal adaletini artıracaktır [49].

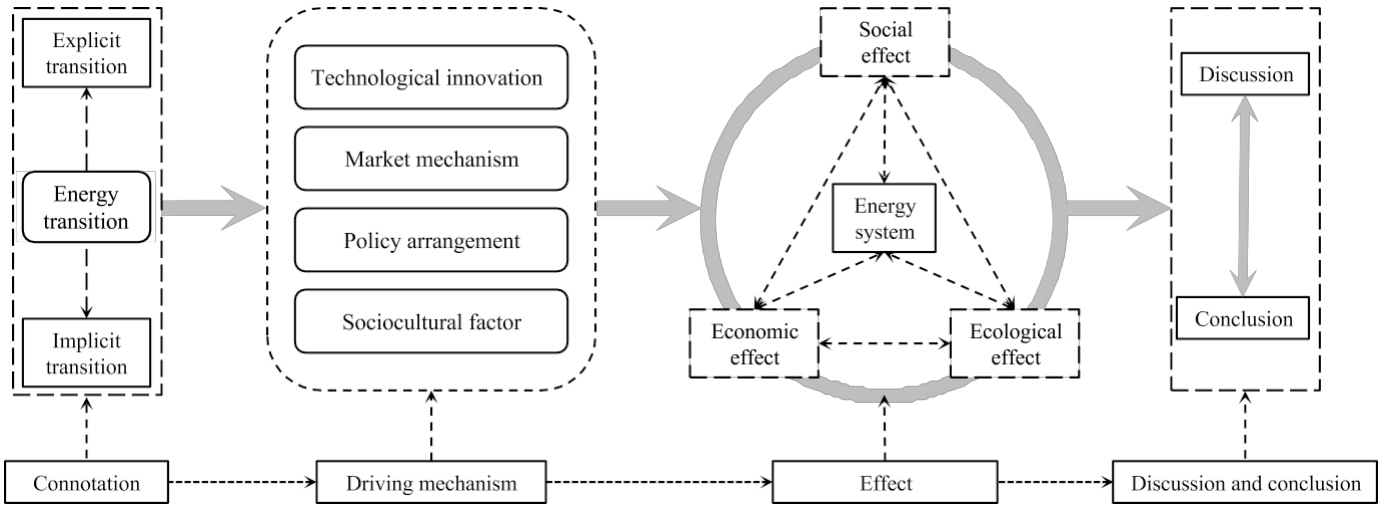
2.2. Örtülü çağrışımlar

Örtük enerji geçişi, enerji teknolojisi, fayda, yönetim şekli, enerji güvenliği, jeopolitik, enerji gücü, enerji adaleti ve enerji yönetimi gibi enerji geçişinin açık süreçleri tarafından birlikte oluşturulan daha gizli ve soyut geçişleri ifade eder.

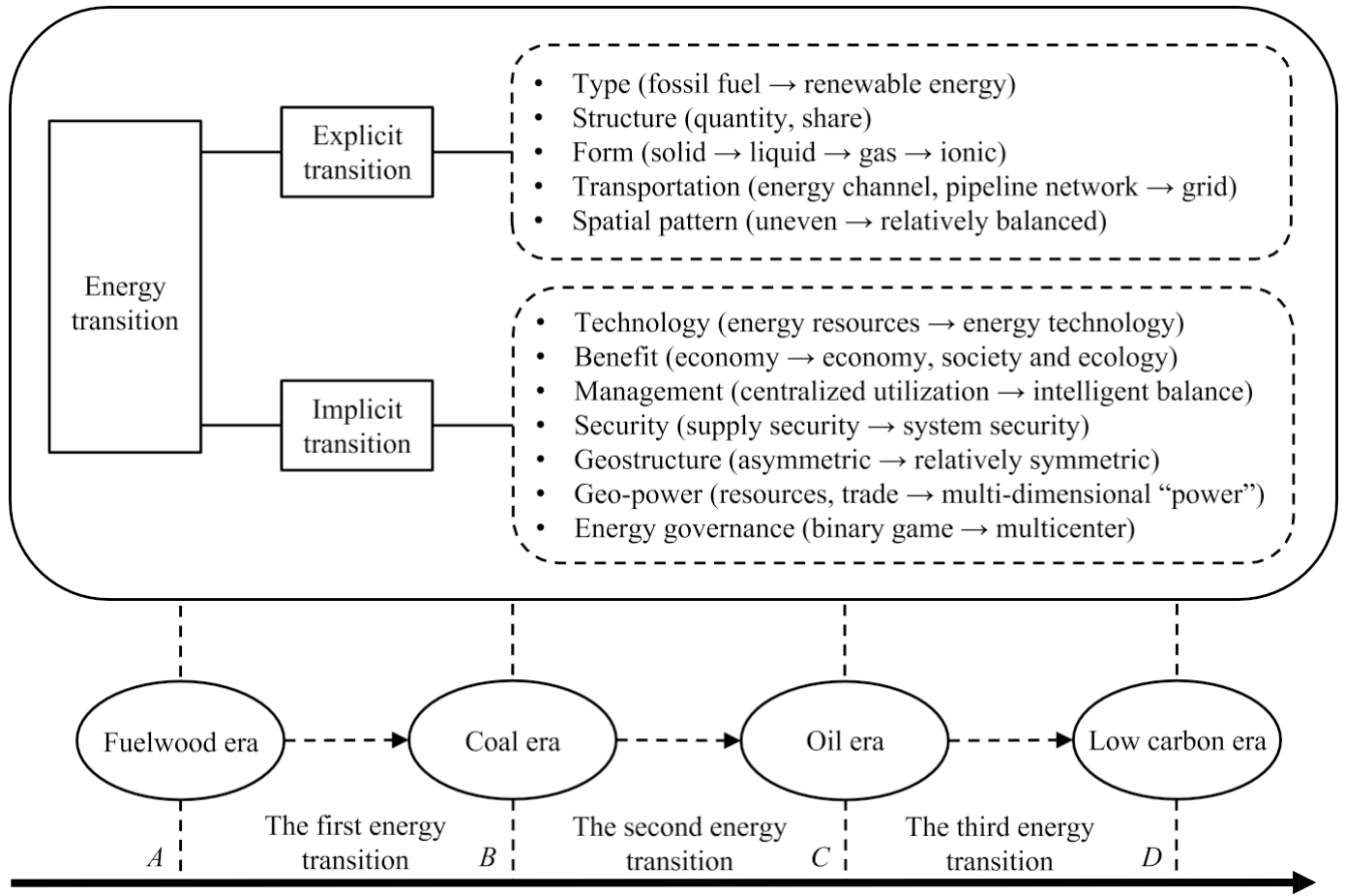
Her şeyden önce enerji dönüşümü, enerji sektörünün fosil enerjiye ve çıkarılan kaynaklara olan bağımlılığını değiştirerek, temel teknolojik değişiklikleri içeren sürdürülebilir bir enerji sistemi oluşturacaktır. Düşük karbon teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte, yenilenebilir enerji çağında enerji sektörü teknoloji odaklı olacak ve bu da enerji sistemini karbon ağırlıklı enerjiye olan geleneksel 'kilitlenmelerden' kurtaracaktır [50]. Enerji dönüşümü, fosil enerji çağında yaygın olan sosyal ve ekolojik yönleri ihmal ederken ekonomik faydalara öncelik veren kalkınma paradigmasından ayrılacaktır. Bunun yerine, ekonomi, toplum ve ekoloji alanlarını kapsayan sinerjik faydalar elde etmek için çaba gösterecek ve böylece sürdürülebilir kalkınma kapasitesini artıracaktır.

İkinci olarak, enerji dönüşümünün, enerji üretiminin, tüketiminin ve dağıtımının tekelleşmesi ve merkezsizleşmesi [51] yoluyla, bölge sakinleri, topluluk enerji örgütleri ve sosyal hareketlerin katılımcıları gibi çok sayıda üretici ve tüketicinin giderek daha kritik roller oynadığı [52,53] merkezi olmayan enerji coğrafyaları [31] yaratması beklenmektedir. Yenilenebilir enerjinin ademi merkezileşmesi ve kesintili olması, geliştirilmesi, kullanımı ve yönetiminde dağıtık ve akıllı bir yaklaşıma doğru bir kaymayı gerektirmektedir. Fosil yakıtların tekelden ve merkezileştirilmesinden uzaklaşılması, yenilenebilir enerji kullanımı ve yönetiminde esnekliğin en üst düzeye çıkarılmasını sağlarken "enerji demokrasisini" de kolaylaştıracaktır [54].

Üçüncü olarak, enerji dönüşümü enerji güvenliği kavramını enerji arz güvenliğinden sistematik güvenliğe kaydıracaktır [55]. Fosil yakıt senaryosunda, enerji güvenliğinin odak noktası enerji arz güvenliği ve fiyat istikrarıdır ve sınırlı bir enerji kaynağı çeşitliliği vardır.



Şekil 1. Enerji dönüşümü analitik çerçevesi.



Şekil 2. Enerji dönüşümünün çağrışımları.

Geçiş çağında enerji güvenliği, daha çeşitlendirilmiş bir enerji karışımıyla birlikte enerji bulunabilirliği, altyapı esnekliği, enerji fiyatları, toplumsal etkiler, çevresel hususlar, yönetim ve enerji verimliliği gibi daha geniş sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları kapsayacaktır [55]. Öte yandan enerji dönüşümü, yenilenebilir enerji teknolojilerinin üretimi için gerekli kritik minerallerin tedarik zincirindeki istikrarsızlık ve enerji altyapısını hedef alan siber saldırılara yatkınlık gibi yeni güvenlik açıkları ve riskleri de beraberinde getirmektedir [56-61]. Tedarik zinciri güvenliği ve siber güvenlik, yenilenebilir enerji çağında enerji güvenliğinin önemli unsurları haline gelmiştir.

Dördüncüsü, enerji kaynakları bakımından zengin ülkeler genellikle rezervlerini korumaya, enerjiye erişilebilirlik doğal olarak jeopolitik faktörlerden etkilanmaktadır [56,62]. Fosil yakıtların coğrafyaları sık sık "asimetrik" jeopolitik yapı ile karakterize edilen jeopolitik çatışmalara yol açmaktadır [63]. Ancak enerji dönüşümü, geleneksel enerji jeopolitiğinin dayandığı hidrokarbon kaynaklarının coğrafi yoğunlaşmasını dengesizliğini değiştirecek, yenilenebilir enerji arzının merkezsizleşmesine, enerji kaynaklarının mekânsal dağılımının yeniden dengelenmesine ve nispeten simetrik bir jeopolitik yapının ortaya çıkmasına yol açacaktır [49]. Enerji dönüşümünün tetiklediği jeopolitik artık enerji sektörüyle sınırlı kalmayacak, yenilenebilir enerji teknolojilerini ve kritik mineralleri de kapsayacak şekilde genişleyecektir. Enerji dönüşümü ilerledikçe, yenilenebilir enerji teknolojileri ve kritik mineraller önemli değişkenlere dönüşmekte ve küresel enerji jeopolitik manzarasını yeniden şekillendirmektedir.

Buna ek olarak, enerji dönüşümü, enerji jeopolitiğinde gücün rolünde köklü bir değişikliğe yol açacaktır [64,65]. Fosil enerji çağında gücün temel kaynağı kaynakların ve ticaret yollarının kontrolünde yatarken, yenilenebilir enerji senaryosunda odak noktası

enerji yatırımlarının, teknolojinin ve piyasanın kontrolü. Enerji artık sadece devlet kurumlarının ya da büyük enerji şirketlerinin çıkarlarını temsil etmemekte, küresel enerji üretimi, ticareti, tüketimi ve yatırımının iç içe geçmiş ağırları içinde devam eden bir güç yeniden dağılımı sürecidir. Enerji dönüşümü, enerji arzı, enerji talebi, enerji teknolojisi, enerji finansmanı, karbon emisyonu ve kalkınma gibi çeşitli çok boyutlu "enerji gücü" genelinde enerji otoritesinin genişlemesini kolaylaştırmaktadır [64,65].

Enerji adaleti, her grubun uygun fiyatlı, güvenli, sürdürülebilir ve iyi bir yaşam kalitesini destekleyebilecek enerjiye erişimi olması gerektiği kavramıdır. Aynı zamanda enerjiyle ilgili karar alma süreçlerine katılma fırsatını ve bu konuda değişiklik yapma hakkını da içerir. Adil bir enerji dönüşümü, sosyal adaleti merkezine koyar. Özüde, yenilenebilir enerji enerji arzının desantralizasyonunu mümkün kıldığından, enerji dönüşümü demokratikleşme ve adalet için güçlü bir katalizör görevi görür. Bu da vatandaşları, yerel toplulukları ve şehirleri güçlendirerek nihayetinde hem enerji adaletinin hem de enerji demokrasisinin gerçekleşmesini kolaylaştırır.

Son olarak, enerji dönüşümü küresel enerji yönetimi sistemini yeniden yapılandıracaktır. Fosil enerji çağında, enerji yönetimine ilişkin jeopolitik, tipik bir "ikili oyun" modeli sergileyen büyük enerji üreticileri ve tüketicileri tarafından domine edilmektedir [66,67]. Enerji dönüşümü ilerledikçe, uluslararası enerji ajansları, ulusal hükümetler, sivil toplum kuruluşları ve çok uluslu enerji şirketleri de dahil olmak üzere çeşitli enerji paydaşları, farklı enerji alanlarıyla ilgili etkileşimlere girmekte ve böylece küresel enerji yönetiminde "çok merkezli" bir sistemin ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır [68,69].

Özetle, enerji dönüşümü sadece bir enerji kaynağının diğerine basit bir şekilde ikame edilmesi değildir. Bunun yerine, enerji sistemi içerisinde kapsamlı ve derin dönüşümler anlamına gelmektedir [70],

71]. İklim değişikliğiyle mücadele ve sürdürülebilir kalkınmayı iletme hedefine ulaşmak teknoloji, politika, altyapı, bilimsel bilgi ve sosyal kültürü kapsayan enerji sisteminin uzun vadeli, karmaşık ve çok boyutlu olarak yeniden yapılandırılmasını içerir.

3. Enerji dönüşümünün itici mekanizmaları

İtici mekanizmaların analizi, enerji dönüşümüyle ilgili hem teorik hem de pratik araştırmaların önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Enerji dönüşümü kendiliğinden gerçekleşmez; bunun yerine, farklı etkilere sahip çok sayıda faktörden etkilenen oldukça sosyalleşmiş bir süreçtir [41,42]. Halihazırda birçok politika odaklı enerji araştırmacısı ve iklim modeli, enerji geçişinin tekil yönlerine odaklanan disiplinler yaklaşımlara bağlı kalmakta, ancak hızlandırılmış geçişler için çeşitli sosyo-teknik faktörleri göz ardı etmektedir [72]. Sosyo-teknik geçiş teorileri, enerji geçişi sorununun çok boyutluluğunu ele alabilir ve teknolojiler ile toplumsal gruplar arasındaki birlikte evrimsel etkileşimlerin enerji geçişlerini nasıl hızlandırabileceğini gösterebilir [73-75]. Bundan esinlenerek, teknoloji inovasyonu, piyasa mekanizması, politika tasarımı ve sosyo-kültürel koşullar gibi birbiriyle ilişkili faktörlerin, enerji dönüşümünün altında yatan mekanizmaları ortaya çıkarmanın anahtarı olduğuna inanıyoruz. Bu bölümde, enerji dönüşümünün itici mekanizmaları, teknoloji inovasyonu, piyasa dinamikleri, politika düzenlemeleri ve sosyo-kültürel etkiler olmak üzere dört geniş mercek üzerinden açıklanmaktadır (Şekil 3).

3.1. Teknolojik yenilik

Yenilenebilir enerjide teknolojik yenilik, enerji dönüşümünün başarısına yol açan en önemli faktörlerden biridir [31,76,77]. Teknolojik inovasyonun enerji dönüşümünü desteklemesinin ardındaki temel mantık, iki temel açıdan kendini göstermektedir. Eylem modu bakıldığında, teknolojik ilerleme, enerji üretim faktörlerinin yenilenmesini teşvik ederek, enerji sistemi unsurlarının biçimini ve işlevini değiştirerek ve düşük karbon teknolojilerini yüksek düzeyde entegre hale getirerek enerji geçişinde kilit itici güç haline gelmiştir

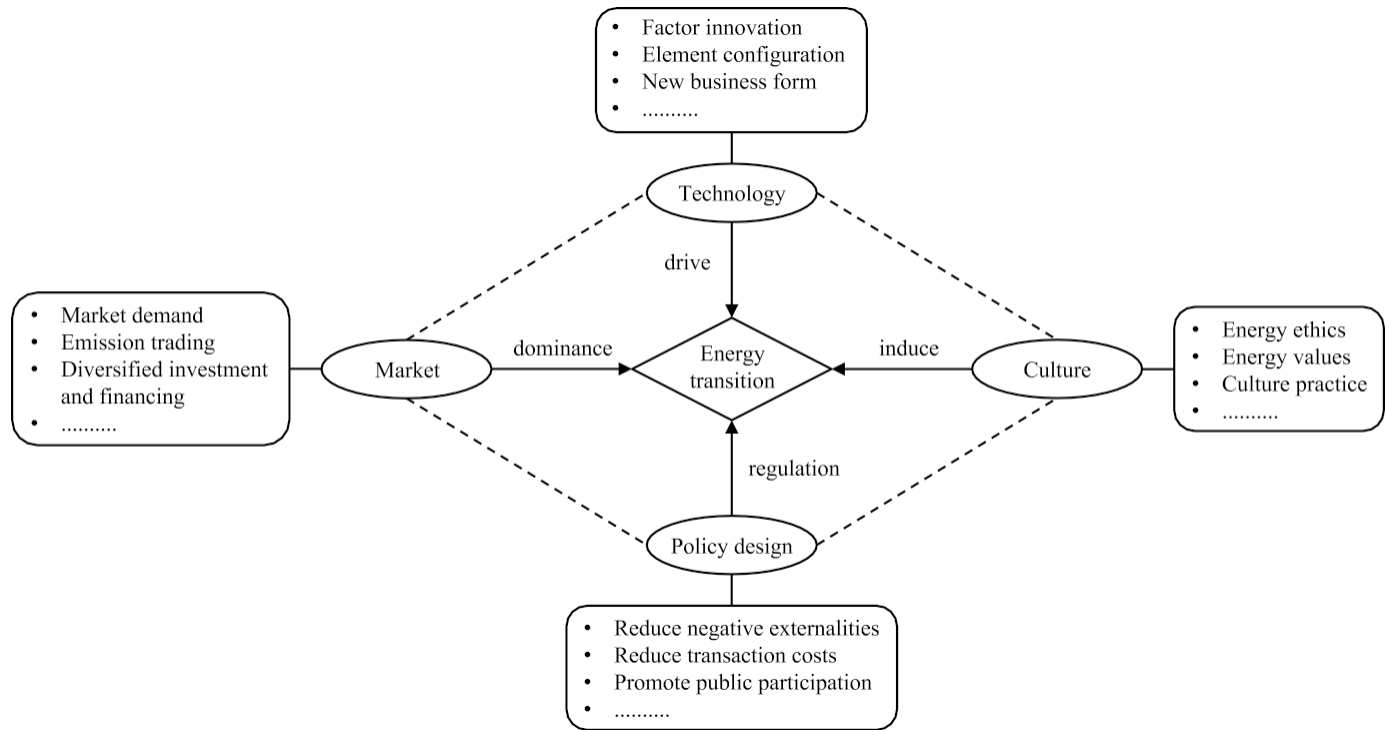
tüm enerji endüstrisi zincirine yaymaktadır. Etki açısından bakıldığında, bir yandan teknolojik yenilik enerji sistemi içindeki çeşitli faktörlerin yapısını iyileştirmekte ve faktörlerin dağılımını optimize etmekte, üretim faktörlerinin marjinal çıktı düzeyini ve enerji faktörlerinin verimliliğini iyileştirmekte, böylece yenilenebilir enerjinin uzun vadeli rekabet gücünü korumaktadır. Öte yandan, yenilenebilir enerji teknolojisi modern bilgi ve akıllı şebekeye giderek daha fazla entegre olmakta, sürekli olarak enerji verimliliğini büyük ölçüde artıracak ve düşük karbonlu enerji geçişini teşvik edecek yeni ürünler, modeller ve enerji kullanımı iş modelleri üretmektedir [78,79].

Ayrıca, enerji piyasasındaki arz ve talep arasındaki ilişki ve enerji endüstrisindeki iş bölümü mekanizması açısından bakıldığında, teknolojik yenilik sosyo-ekonomik faktörleri değiştirecek ve böylece enerji dönüşümünü teşvik edecektir. Bir yandan, düşük karbonlu teknolojik inovasyon, enerji kullanımının yinelenmeli olarak yükseltilmesini sağlar, enerji tüketim kalıplarının değişmesine neden olur, uluslararası enerji piyasasındaki arz-talep ilişkisini değiştirir ve ardından enerji dönüşümü sürecini yönlendirir. Öte yandan, enerji teknolojisinin ileri düzeyi, bir ülkenin küresel enerji endüstrisi ve değer zincirindeki konumunu belirler ve teknolojik evrim, küresel enerji üretim yapısı ve tüketim yapısının dönüşümünü teşvik eder, böylece enerji dönüşümü sürecini destekler.

3.2. Piyasa mekanizması

Enerji geçişi büyük ölçüde bir piyasa ekonomisindeki kaynakların arz ve talep dinamiklerinden etkilenmektedir [80]. Net sıfır emisyon hedeflerine ulaşılması, kaçınılmaz olarak fosil yakıt kapasitesinin aşamalı olarak azaltılmasını gerektirecektir; bu da uzun vadeli enerji geçişini kolaylaştırmada piyasa mekanizmalarının önemini vurgulamaktadır [81]. Düşük karbon teknolojisinin piyasa maliyetindeki düşüşle birlikte, yeniden üretilebilir enerji kaynaklarının ticarileştirilmesi, düşük karbonlu enerji geçişlerinin ana itici gücü haline gelmiştir [82].

Piyasa mekanizması tarafından yönlendirilen enerji dönüşümünün mantığı temel olarak aşağıdaki üç açıdan yansıtılmaktadır: İlk olarak, piyasa mekanizması açısından



Şekil 3. Enerji geçiş mekanizmalarının çerçevesi.

Arz ve talep, piyasa talebi enerji arzında yeri doldurulamaz bir düzenleyici rol oynar çünkü piyasa talebinin yönelimi genellikle arz modellerini şekillendirir. Sürdürülebilir kalkınma kavramı doğrultusunda enerji tüketim talebi, enerji tüketicilerinin piyasa talebine uyum sağlama koşulu altında enerji dönüşümünü etkin bir şekilde teşvik edecektir. İkinci olarak, piyasa temelli bir çevresel ekonomi politikası olarak [83], emisyon ticareti, özellikle de karbon ticareti, esasen enerji kullanımının çevresel maliyetlerini etkili bir şekilde içselleştirebilen, fosil kullanımının çevresel maliyetini artırabilen ve temiz teknolojik yeniliğini teşvik edebilen piyasa mekanizmaları ile kaynakları tahsis etmek için bir piyasa teşvikidir. Piyasa emisyon ticareti, yeşil ve düşük karbonlu enerji kullanımını geliştirerek ve emisyon izinlerine olan talebi azaltarak yenilenebilir enerjinin gelişimini teşvik etmekte ve enerji dönüşümünü desteklemek için ekonomik teşvikler yaratmaktadır [84]. Buna ek olarak, piyasanın çeşitlendirilmiş yatırım ve finansman mekanizmaları enerji dönüşümünü teşvik etmektedir. Teşvikler, sübvansiyonlar ve kredi indirimleri yoluyla, her türlü sosyal sermaye yenilenebilir enerjiyle ilgili yatırım, inşaat ve işletmeye katılmaya teşvik edilmekte, böylece yenilenebilir enerji piyasasındaki yatırımcıların çeşitlendirilmesi ve enerji dönüşümünün teşvik edilmesi sağlanmaktadır.

3.3. Politika düzenlemesi

Etkili politika tasarımı, enerji geçişlerini düzenleyebilir ve enerji geçişi için destekleyici bir çerçeve sağlayarak enerji geçişlerinin başlatılması, hızlandırılması veya desteklenmesinde kilit bir rol oynayabilir [31,77,85, 86]. Bir yandan, etkili politika düzenlemeleri enerji geçişiyle ilgili politika yeniliklerinin faydalarını artırabilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının olumsuz dışsallıklarını azaltabilir [87]. Öte yandan devlet, yasal olarak bağlayıcı iklim ve enerji dönüşümü hedefleri ve ilgili politikaları belirleyip uygulayarak işletmeleri yenilenebilir enerjiyle ilgili Ar-Ge faaliyetleri ve üretim yapmaya yönlendirir ve böylece enerji dönüşümünü teşvik eder [88]. Buna ek olarak, politika inovasyonu, insanların enerji dönüşümüyle ilgili ürün ve hizmetlerin üretimine, değişimine ve fayda dağıtımına katılmaları için temel kuralları da oluşturmakta ve ortaya çıkan enerji piyasasındaki belirsizliği ve bilgi asimetrisini azaltmaktadır [89]. Davranış kuralları, tahkim ve uygulama kurallarının formüle edilmesine yönelik kurumsal düzenlemeler yoluyla, piyasadaki işlem maliyetleri etkin bir şekilde azaltılabilir ve nihayetinde enerji geçişi teşvik edilebilir [90]. Enerji dönüşümü, uluslararası enerji kuruluşları, bölgesel ve ulusal hükümetler, enerji şirketleri ve kamu hizmetleri, araştırma kurumları, savunuculuk grupları ve yerel topluluklar gibi çeşitli paydaşlar arasında yakın işbirliği gerektiren oldukça karmaşık bir sosyal süreçtir. Politika inovasyonu yoluyla, sadece bu paydaşların çevresel farkındalığı eyleme dönüştürülmekle kalmaz, aynı zamanda farklı paydaşların çıkarları arasındaki koordinasyon da teşvik edilir [87].

3.4. Kültürel faktörler

Eğitim seviyesi, cinsiyet rolleri, aile yapıları, gıda tercihleri, yemek pişirme alışkanlıkları, ritüeller, ev malzemeleri ve etnobotanik bilgi gibi sosyokültürel faktörler genellikle yerel enerji tüketim alışkanlıklarını ve bunların sosyo-teknik tezahürlerini yansıtır ve yakıt seçimlerini etkilemede ve enerji geçişini teşvik etme çabalarını katalize etmede önemlidir [91-95]. Enerji etiği ve enerji değerleri de dahil olmak üzere enerji kültürü, genellikle fiili kullanım sırasında anlamların ve etik kodların müzakere edilmesi yoluyla kurulan gayri resmi bir sistem olarak sosyal ve ekonomik bağlamlara gömülmüştür ve kendini birden fazla ölçekte ve sosyal yaşamın birçok alanında gösterebilir. Bu da enerji dönüşümüne başka bir karmaşıklık katmanı eklemektedir [96-98]. Buna ek olarak, kültürel faktörler bir ülke veya bölgedeki enerji tüketimi rutinlerinin ve kalıplarının oluşumunu etkiler. Özellikle, enerjinin ekonomik niteliklerini vurgularken sosyal ve etik niteliklerini ihmal eden bölgesel bir kültür, genellikle enerjinin emtia çıktısı artışının tek taraflı takibine adanmış bir sistemi sürdürür. Enerji için artan talep

Emtia üretimi, genellikle en yüksek marjinal çıktıya sahip işleve yönelik olarak artan enerji kısıtlılığına katkıda bulunmaktadır. Bu arayış, bazen sürdürülebilir enerji kullanımı pahasına, enerji kullanımından elde edilen ekonomik faydaların maksimize edilmesine öncelik vermekte ve böylece enerji dönüşümünde ilerlemeyi engellemektedir.

Aksine, enerjiye yaklaşımlarında ekonomik, sosyal ve çevresel hususları kapsayan bölgesel kültürler, sürdürülebilir enerji kullanımı arayışını ve ekonomik, sosyal ve ekolojik faydaların elde edilmesini vurgulayan ve böylece düşük karbonlu ve sürdürülebilir enerji geçişlerini teşvik eden kültürel bir bakış açısını teşvik etmektedir. Sosyal uygulama teorisi açısından bakıldığında, yerel kültürün oluşumu ve sürdürülmesini içeren enerji uygulamaları, dönüşümünde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu, yerel dini gelenekleri, normları, inançları, ulusal kimliği ve aile uygulamalarını içerir ve bunların tümü enerji geçiş süreci üzerinde etkili olabilir [91,99].

4. Enerji dönüşümünün etkileri

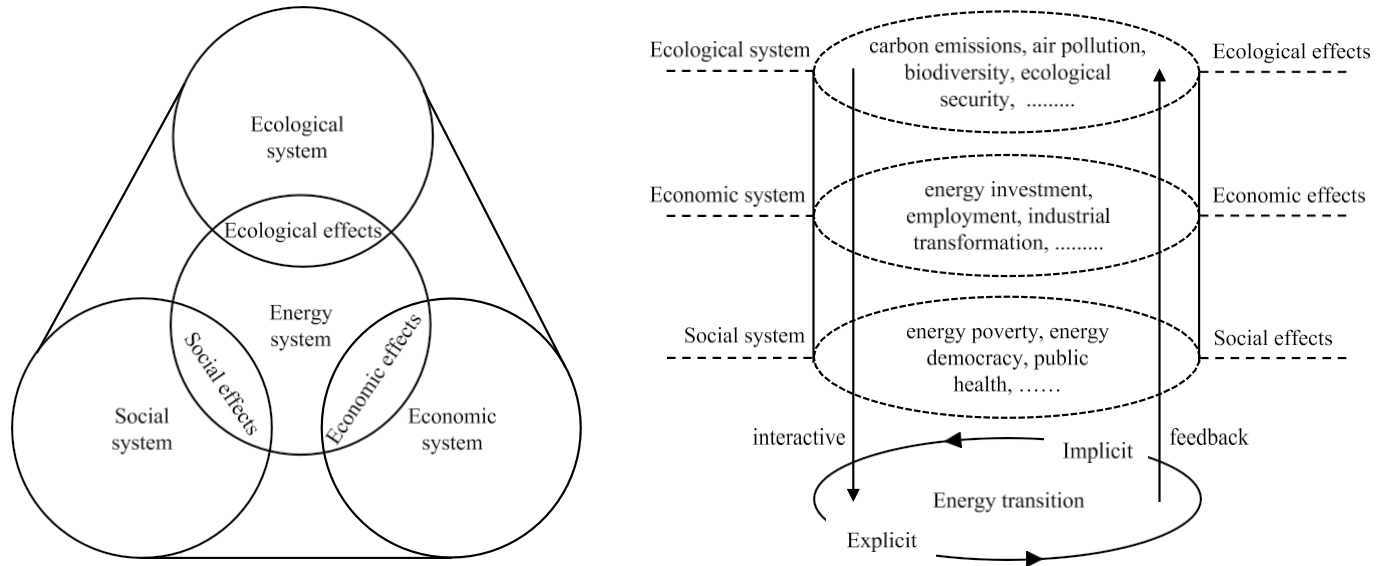
Enerji sistemi izole değildir, her zaman sosyal, eko- nomik ve ekolojik sistemlerle ilişkilidir (Şekil 4). Enerji dönüşümünün, başlangıçta fosil enerjiye dayalı olan sosyo-ekonomik sistemin ve ekolojik sistemin yeniden yapılandırılmasına yol açacağı ve bunun da geniş bir sosyo-ekonomik ve ekolojik etki yelpazesine neden olacağı yaygın olarak öngörülmektedir [100]. Bu bölüm, enerji geçişlerinin sosyal eşitliği, ekonomik kalkınmayı ve ekolojik çevreyi nasıl etkilediğine dair kapsamlı bir inceleme sunmaktadır.

4.1. Sosyal etkiler

Enerji dönüşümü, enerji erişilebilirliği, istihdama ve kamu sağlığı gibi alanlarda değişikliklere yol açarak çok çeşitli sosyal etkileri tetikleyecektir. Düşük karbonlu enerjiye geçiş çağında, enerji yoksulluğunun yoğunlaşmasıyla ilgili endişeler artmaktadır [101]. Enerji yoksulluğu sadece geleneksel biyokütle enerjisine veya diğer fosil yakıtlara olan yüksek bağımlılıkla değil, aynı zamanda elektrik veya diğer temiz enerji hizmetlerinin ödenmesi ve elde edilmesindeki zorluklarla da kendini göstermektedir [102, 103]. Bu makale, bu konuda iki ana bakış açısı grubu tanımlamaktadır: "artan enerji yoksulluğu" yaklaşımı ve "azalan enerji yoksulluğu" yaklaşımı. Bunlardan ilki enerji dönüşümünün enerji yoksulluğunu artıracığına, ikincisi ise daha fazla kendi kendine yeterliliğin enerji yoksulluğunu azaltacağına inanmaktadır.

Birinci grup, enerji dönüşümünün ısınma, pişirme ve soğutma gibi enerji kullanım maliyetlerini bir ölçüde artıracığını ve düşük gelirli hanelere ek bir yük getireceğini dolayısıyla enerji yoksulluğunu artıracığını savunmaktadır. Araştırmaları, düşük karbonlu teknolojilere yönelik sübvansiyonların ve diğer çeşitli teşviklerin, marjinal gruplar tarafından enerjiye harcanan hane geliri yüzdesini orantısız bir şekilde artırdığını ve bunun da enerji yoksulluğunun artmasına neden olduğunu göstermektedir [104, 105]. Enerji dönüşümü sadece hane halkının yakıt harcamalarını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda yakıt harcamalarının hane halkının toplam harcamaları ve toplam geliri içindeki payını artırarak ilgili mali yükü de artırmakta ve enerji yoksulluğuna yol açmaktadır [106]. Enerji dönüşümü sürecinde, kırsal hanelerin enerji harcamaları kentsel hanelerle orantısız bir şekilde artacak ve daha yüksek temiz enerji dönüşüm maliyetleriyle karşı karşıya kalacaklardır. Bu nedenle, enerji dönüşümünü zorla teşvik etmek büyük bir dirençle karşılaşabilir ve hatta kırsal hanelerde enerji yoksulluğuna neden olabilir [107].

Buna karşın, enerji yoksulluğunu azaltma kampı, ana enerji kaynağı yenilenebilir enerji olan bir dünyada uygun, güvenilir ve sürdürülebilir enerjinin kolayca bulunabileceğine ve temiz enerjiye geçişin yoksul bölgelerde elektrikli erişimi artırabileceğine, enerji yoksulluğu çeken hanelere fayda sağlayabileceğine ve bir bütün olarak enerji azaltılabileceğine inanmaktadır [108-110]. Bu akademisyen grubu, fosil yakıtlara kıyasla yenilenebilir enerjilerin geniş bir alana yayıldığını ve her ülkenin bir veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağına sahip olduğunu vurgulamaktadır [111]. Dolayısıyla yenilenebilir enerjiye geçiş, enerji arzının ademi merkezileşmesini teşvik edecek, daha fazla enerji öz yeterliliğine yol açacak ve enerji verimliliğini azaltacaktır.



Şekil 4. Enerji geçişi etkilerinin araştırma çerçevesi.

yoksulluk. Enerji tüketiminin odağını dış tedarikten iç tedarike kaydırarak enerji yoksulluğunu azaltmaya yönelik daha geniş bir eylem ufkü yaratabilir. Enerji dönüşümünün teşvik edilmesinin ulusal veya topluluk düzeyinde enerji bağımsızlığını geliştirebileceğini, enerji demokrasisini ve arzının çeşitlendirilmesini sağlayabileceğini ve dolayısıyla enerji yoksulluğundan kurtulmaya yardımcı olabileceğini vurgulayan bir dizi çalışma yayınlanmıştır [100,112,113].

Halk sağlığı ile ilgili olarak, katı yakıt yakmanın halk sağlığını riske attığı tartışılmaz bir gerçektir. Hava kirliliğine uzun süre maruz kalmak, halk sağlığını ciddi şekilde tehdit eden alt solunum yolu enfeksiyonu, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, bronşit ve akciğer kanseri gibi solunum yolu hastalıklarına kolayca yol açabilir. Bu sağlık sorunları aynı zamanda insanların eğitimini, yaşamını ve işini de doğrudan etkilemektedir [114-116]. Katı yakıt sobalarından kaynaklanan hava kirliliği, yılda tahmini 2,8 milyon prematüre ölümüne katkıda bulunmakta ve bölgesel ve küresel hava kalitesini ve halk sağlığını etkilemektedir [116,117]. Bu nedenle düşük karbonlu enerji geçişleri, halk sağlığını hava kirliliğinden korumak için gereklidir [118]. Yenilenebilir ve temiz enerjiye geçişin CO₂ ve PM_{2.5} gibi kirlenmelerin emisyonlarını azaltacağını, hava kalitesini iyileştireceğini ve sağlık ve iklim için sinerjik faydalar destekleyen kanıtlar giderek artmaktadır [119-121]. Örneğin, Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma, Çin'de 1980-2014 yılları arasında kentsel konutlarda kömürden temiz enerjiye geçişin konut sakinlerinin sağlığını etkili bir şekilde iyileştirdiğini ve 2,2 milyon erken ölümü önlediğini göstermektedir [122]. Buna ek olarak, iddialı enerji geçiş planlarını içeren ve küresel ısınmayı 1,5° C ve 2° C ile sınırlandırmaya yönelik uluslararası iklim hedeflerini karşılayan senaryolarla, 2050'deki NDC hedeflerine kıyasla Çin'in PM_{2.5} ile ilişkili ölümlerinde önemli düşüşler olmuş ve yaşa göre standartlaştırılmış ölüm oranları yılda 100.000 nüfus başına 10,2-14,2 ölüm azalmıştır [116].

4.2. Ekonomik etkiler

Enerji tüketimi ekonomik büyümeye katkıda bulunur, ancak yenilenebilir kaynaklardan elde edilen fosil yakıtlara tercih edilir. Fosil enerjiden yenilenebilir enerjiye geçiş, küresel yeşil ve düşük karbonlu kalkınmanın yeni modellerini başlatmakta ve enerji sanayi yapısının ayarlanması, üretim organizasyonu modunun geçişi ve teknolojik atımlar sistematik değişiklikleri teşvik ederek ekonomik kalkınma üzerinde geniş kapsamlı bir etki yaratmaktadır [123]. İlk olarak, enerji dönüşümü, enerji arzının çeşitlendirilmesini teşvik ederek ve değişken fosil enerji fiyatlarının ekonomi üzerindeki etkisini azaltarak ekonomik büyüme üzerinde önemli bir olumlu etkiye sahiptir. İkinci olarak, enerji

geçiş, ödemeler dengesi kısıtlamalarını ve fosil enerjinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltarak ekonomik kalkınmanın sürdürülebilirliğini artırabilir.

Enerji dönüşümü, makro ekonomi üzerinde çeşitli olumlu etkiler yaratacak ve değişen derecelerde çifte kar payı etkisi yaratacaktır [124]. Çalışmalar, ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerjinin hem kısa hem de uzun vadede pozitif ilişkili olduğunu göstermiştir ki bu da geçerli bir geri besleme hipotezini kanıtlamaktadır [125]. Büyük ölçekli yenilenebilir enerji gelişimi önemli bir makroekonomik maliyete neden olmayacaktır. Aksine, üst endüstrilerin büyümesine fayda, enerji yapısını yeniden şekillendiren ve önemli ekonomik yan faydalar getiren önemli yeşil büyüme etkilerine sahip olacaktır [126]. Ancak, enerji geçişi için gereken teknolojik gelişmişlik düzeyine ulaşılmadığında ekonomi geçici bir enerji kilitlenmesinden kaçınmaz. Bu gibi durumlarda, yenilenemeyen enerjiden yenilenebilir enerjiye geçiş bir şoka ve ardından büyümenin azalmasına neden olabilir [127]. Bu nedenle, şaşırtıcı olmayan bir şekilde, bazı çalışmalar yenilenebilir enerjiye geçişin kısa vadede ekonomik olarak uygulanabilir görünmediğini, ancak zaman içinde yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerinde olumlu bir etkisi olacağını belirtmiştir [128].

Küresel enerji dönüşümünün istihdam üzerindeki etkisi, net sıfır emisyon hedeflerine ulaşmanın sosyal uygulanabilirliği açısından kritik önem taşımaktadır. Elektrik enerjisi endüstrisi ulusal ekonominin temel bir endüstrisi olduğundan, yenilenebilir elektriğin büyük ölçekli gelişimi ile karakterize edilen elektrik enerjisinin düşük karbonlu geçişi kaçınılmaz olarak istihdamın boyutunda ve enerji sektöründeki işler için gerekli becerilerin karışımında değişikliklere yol açacaktır [129-131]. Giderek artan sayıda çalışma, enerji dönüşümünün istihdam üzerindeki etkilerini incelemiştir [132-134]. Bunlar arasında, enerji dönüşümünün sinerjik bir faydası olarak "yeşil işler" politika yapımcıların ve araştırmacıların giderek daha fazla ilgisini çekmektedir [130,135,136]. Enerji dönüşümünün istihdam üzerinde olumlu bir etkisi olacağına, yani yenilenebilir enerji sektörlerinde yaratılan yeni yeşil işlerin fosil yakıt sektörlerinde kaybedilen işleri telafi edeceğine inanılmaktadır [132,137]. Uluslararası Çalışma Örgütü'ne (ILO) göre, daha temiz enerjinin uygulanması, enerji sistemlerinin ve binaların verimliliğinin artırılması ve elektrikli araçların benimsenmesi iklim değişikliğini yönelik önlemler 24 milyon yeni iş yaratabilirken, karbon yoğun endüstrilerin küçülmesi nedeniyle yalnızca yaklaşık 6 milyon iş kaybedilebilir (ILO 2018) [138].

Bununla birlikte, bazı akademisyenler enerji geçişiyle ilgili istihdam dağılımının uyumsuzluğuna dikkat çekmiştir [135,139], yani temiz enerji geçişlerinde üretilen yeni yeşil işler

fosil yakıtlara dayalı işlerin kaybedildiği bölgelerde. Belirli bir bölgede sadece olumsuz işgücü etkileri yaşanacaksa, bu durum o bölgelerde enerji dönüşümüne yönelik toplumsal desteği zayıflatır. Bu nedenle, adalet perspektifinden bakıldığında, enerji dönüşümü nedeniyle geçim kaynaklarını kaybetme ihtimali olan kişiler için alternatif eğitim ve istihdam olanakları veya tazminat sağlanmalıdır. Buna ek olarak, "yeşil işler" mutlaka var olmayıp yenilenebilir elektriğin türü, sübvansiyonların şekli ve istihdam etkisinin ölçümü gibi birçok faktöre bağlıdır [130]. Bu nedenle, politika yapıcılar enerji dönüşümünün istihdam üzerindeki etkisinin karmaşıklığını ve sistematikliğini tam olarak anlamalı ve aşırı iyimser tutumdan politika önyargılarından kaçınmalıdır.

4.3. Ekolojik etkiler

Enerji dönüşümünü teşvik etmeye yönelik küresel çabalar, iklim değişikliğini hafifletmek ve öngörülen iklim değişikliğinin ekolojik çevre üzerindeki güçlü olumsuz etkilerini önlemek için merkezi öneme sahiptir. Fosil yakıtların hakim olduğu bir enerji sisteminin çevre ve sağlık son derece sorunlu olduğu tespit edilmiştir. Bu sorunlar arasında küresel iklim değişikliği ile yakından ilişkili olan zehirli gaz emisyonları, doğal kaynakların tükenmesi, hava kirliliği, nesli tükenmekte olan yaban hayatı vb. yer almaktadır [140-142]. Düşük karbonlu enerji dönüşümünün sağlanması, çevre üzerindeki yıkıcı etkileri en aza indirebilir; bu da çevrenin iyileştirilmesi ve iklim değişikliğiyle mücadele için gereklidir [143-145]. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi teşvik eden iklim değişikliği politikaları, hava kirleticileri ve karbondioksit emisyonlarını azaltmak ve hava kalitesini iyileştirmek gibi çevresel faydalar elde etme potansiyeline sahiptir [146]. Uzun vadede, iklim değişikliğini azaltmak ve çevre dostu bir toplum inşa etmek için düşük karbonlu geçiş şarttır [147].

Yenilenebilir enerji oranının artırılmasının karbondioksit emisyonlarını azaltabileceği yaygın olarak kabul birlikte, birçok çalışma yenilenebilir enerjinin emisyonları azaltma olasılığının ulusal ekonominin büyüklüğüne ve gelir eşitsizliği düzeyine bağlı olduğunu göstermiştir [148-151]. Buna ek olarak, enerji dönüşümü sürecinde, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi kaynaklarının büyük ölçekli gelişimi ve kullanımı da yeni çevresel tehlikeleri beraberinde getirecektir. İlk olarak, yenilenebilir enerji gelişiminin yer seçimi ile arazi kullanımı arasında bir çatışma vardır ve yanlış yer seçimi ekolojik hasara neden olabilir. Bazı çalışmalar, yenilenebilir enerji altyapısının konuşlandırılmasının biyolojik çeşitliliğin korunması için bir tehdit oluşturduğuna işaret etmiştir [152,153]. Örneğin, yenilenebilir enerji inşası arazi kullanımını, yüzey işlevlerini ve yerel ekosistemleri değiştirecektir [154,155]. Küresel ölçekte tehdit altında olan büyük çöpçüler ve diğer benzersiz ve nadir süzülen kuşlar, tehdit altındaki bazı popülasyonlar için de- mografik sonuçlarla birlikte, mevcut yaklaşık 20.000 türbin için ağır bir bedel ödemektedir [156-158]. Bu nedenle, yenilenebilir enerjiye geçişin biyoçeşitliliğe yönelik tehditlerinin, fosil yakıt çıkarma ve kullanımını yavaşlatma çabalarıyla önlenen sorunlar nedeniyle kamu ve politika ilgisini atlamamasını sağlamak için acilen dikkatli stratejik planlama yapılması gerekmektedir [159]. İkinci olarak, yeni enerji ekipmanlarının üretimi çok sayıda mineral kaynağa ve mineral kaynakların aşırı kullanımı çevre üzerinde olumsuz bir etki yaratacaktır [159-161]. Bununla birlikte, yakın zamanda yapılan bir çalışma, koruma bilimcilerinin yenilenebilir enerji altyapısının alan bazlı koruma için bir tehdit oluşturduğu konusunda uyarılarına rağmen, iki arazi kullanımının mevcut ve yakın vadedeki çakışmasının daha önce önerildiği kadar şiddetli olması gerektiğini göstermektedir. Uygun politikalar benimsenir ve yenilenebilir enerji altyapısının konuşlandırılması düzgün bir şekilde planlanır ve yönetilirse, biyolojik çeşitliliğin korunması üzerinde önemli olumsuz etkilerden kaçınırken iklim hedeflerine ulaşmak mümkün olacaktır [162].

5. Tartışma ve sonuç

5.1. Tartışma

- (1) Fosil yakıtlar mevcut enerji sistemini önemli ölçüde şekillendirmiştir ve enerji geçişinin maliyetlerini, teknolojilerini ve politikalarını çevreleyen belirsizliklerle birleştirdiğinde, yenilenebilir enerjiye geçiş zorlu bir görev haline gelmektedir [100,163]. Devam etmekte olan bu enerji geçişi sadece bir dizi yakıttan diğerine geçiş değil, aynı zamanda çok çeşitli aktörlerin çok ölçekli ve çok boyutlu geçiş sürecine dahil olduğu oldukça karmaşık bir sosyal süreçtir [11,100,164-166]. Bu arada, enerji geçişleri birden fazla alanda (örneğin, ekonomik, teknolojik, sosyal, kurumsal, kültürel, politik ve ekolojik) temel ve sistemik değişikliklerden oluşur [31,167]. Bu nitelikteki geçişler, bölgesel ve ulusal hükümetler, enerji şirketleri ve kamu hizmetleri, araştırma kurumları, savunuculuk grupları ve yerel topluluklar arasında güçlü bir işbirliği gerektirmektedir [168]. IEA tarafından belirtildiği gibi, (2020) tarafından da belirtildiği üzere, "hiçbir gösterge dünyanın temiz enerjiye geçişinin karmaşıklığını kavrayamaz" [169]. Buna ek olarak, enerji dönüşümü temelde "ekonomik ve sosyal faaliyetlerin mevcut mekânsal kalıplarının yeniden yapılandırılmasını içeren" çok karmaşık bir mekânsal-zamansal süreçtir [32]. Dolayısıyla, enerji dönüşümünün farklı mekânsal-zamansal ölçeklerde yol açtığı etkiler güçlü bir heterojenlik sergilemektedir. İleriye dönük olarak, çok ölçekli geçişin arka planı altında enerji geçişinin coğrafi hatlarını, evrimsel kalıplarını ve itici mekanizmalarını daha fazla araştırmak ve enerji geçişinin farklı mekânsal ve zamansal ölçeklerdeki etkileri üzerine araştırmaları güçlendirmek gerekmektedir.
- (2) Enerji sistemi güçlü bir geçiş ataleti sergilemektedir [170]. Fosil yakıtlara bağımlı enerji sistemine, inşa edilmiş altyapıya ve kurumsal miraslara gömülüdür. Yani, fosil enerjinin hakim olduğu enerji sistemi güçlü bir yol bağımlılığı, hatta bazen 'karbon kilitlemesi' göstermekte ve hızlı dönüşümü ulaşılmaz kılmaktadır [170-172]. Enerji dönüşümünün temel konularından biri, sta- bile ve risk arasındaki ilişkiyi anlamaktır. Enerji sisteminin sürdürülebilir dönüşümünü gerçekleştirmek için en önemli faktör, yenilenebilir enerjinin yerleşik fosil enerji tabanlı nasıl geliştirebileceğini, bozabileceğini ve potansiyel olarak elden geçirebileceğini anlamakta yatmaktadır. Bu, mevcut fosil enerji sistemindeki derin kurumsallaşmadan sapmanın ve sürdürülebilir bir enerji sistemine doğru yeni ve yenilikçi bir yol oluşturma yollarını bulmayı gerektirir. Şu anda, yenilenebilir enerji kaynakları tek başına enerji taleplerini karşılayamamaktadır ve küresel enerji tüketimi, özellikle fosil yakıtlara büyük ölçüde bağımlı olan gelişmekte olan bölgelerde hala fosil yakıtların hakimiyetindedir [173]. 2020 yılındaki istatistikler, Afrika enerji tüketiminin %90,47'sinin fosil yakıtlardan geldiğini ve Cezayir, Mısır ve Güney Afrika'daki fosil yakıt tüketiminin toplam birincil enerji tüketiminin %94'ünden fazlasını oluşturduğunu göstermektedir [174]. Bu ülkelerde yollar, okullar ve konutlar gibi kalkınma projeleri hala fosil yakıtlarla çalışmaktadır [173], fosil yakıt temelli enerjiden yenilenebilir enerjiye geçiş, yüksek enerji talebinin devam ettiği koşullarda gerçekleşirse, kaçınılmaz olarak enerji arz şoklarına yol açacak ve enerji güvenliği zafiyetlerine neden olabilecektir [175]. Küresel fosil enerji ve elektrik fiyatları 2021 yılında yükselmiş ve Avrupa ve Brezilya'daki elektrik ve gaz kıtlığı, Hindistan'daki kömür kıtlığı ve Lübnan'daki ulusal elektrik kesintisi gibi yaklaşık 30 ülke ve bölgede farklı derecelerde yakıt krizlerine yol açmıştır. Bu krizlerin hepsi enerji sistemindeki kırılmalara işaret etmektedir. Bu nedenle ülkeler enerji dönüşümünün uzun vadeli bir süreç olduğunu kabul etmeli ve enerji sisteminin sürdürülebilir, istikrarlı ve adil bir şekilde dönüşümünü teşvik etmek için iklim ve ekonomik risklerle başa çıkmalıdır.

- (3) Enerji dönüşümünü ilerletirken, kapsamlı bir inceleme gerektiren kritik bir konu, geçiş süreci boyunca adalet ve hakkaniyetin nasıl . Adil enerji geçişi üzerine yapılan araştırmalar, sadece enerji geçişi sırasında maliyet ve faydaların nasıl dağıtıldığını değil, aynı zamanda prosedürel adalet ve tanıma adaletinin önemini de vurgulamaktadır [176,177]. Temel argüman, yeni eşitsizliklerin oluşmasını veya eski eşitsizliklerin yeniden ortaya çıkmasını önlemek için enerji dönüşümünde adalet konularının dikkatle ele alınması gerektiğidir [11,178,179]. Ayrıca, düşük karbonlu enerji kaynaklarına geçişin çeşitli toplumsal gruplar arasında ve küresel sahnede gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler arasında eşitsizliklere yol açma olasılığı yüksektir [22,180]. Örneğin, enerji geçişi toplumsal cinsiyet körlüğü sorununu artırmaktadır, yani kadınlar enerji geçişinde neredeyse hiç görünür değildir ve toplumsal rolleri ve farklılaştırılmış ihtiyaçları genellikle marjlara itilmektedir [181,182]. Bu nedenle, düşük karbonlu enerji geçişi sırasında, nihayetinde bir enerji dönüşümüne ulaşmak için hassas grupların çıkarlarını korumaya odaklanmak çok önemlidir.
- adil geçiş [101]. Bu hususun ihmal edilmesi, anlamlı iklim değişikliği azaltım çabalarını tehlikeye atabilir. Uluslararası toplumun enerji adaletini gerçekleştirmek için adalet ve eşitlik ilkelerini koruma zorluğuyla mücadele etmesi gerekmektedir.

- (4) Bu makalenin en önemli katkılarından biri giriş bölümünde yer almaktadır potansiyel uygulanabilirliği olan teorik bir çerçeve oluşturmuştur. Bu Analitik çerçeve, açık geçiş ve örtük geçişten enerji geçişinin çağrışımlarının yanı sıra enerji geçişinin iç içe geçmiş mekanizmalarını ve çok boyutlu sonuçlarını göstermek için yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Araştırmacılara, bilim insanlarına ve politika yapıcılara enerji dönüşümünün içerdiği karmaşıklıkların derinlemesine ve sistematik bir şekilde anlaşılmasına konusunda yardımcı olacaktır. Bununla birlikte, amacımızın tüm ülkeler için geçerli evrensel bir enerji dönüşümü paradigması oluşturmak olmadığını açıklığa kavuşturmak önemlidir. Ülkeler arasında enerji geçişlerinde var olan önemli farklılıklar göz önüne alındığında böyle bir hedef gerçekçi değildir (Tablo 2). Bu farklılıklar sadece sosyal, ekonomik, teknolojik ve kültürel yönleri değil, aynı zamanda elektrik şebekelerini ve dağıtım ağlarını kapsayan enerji altyapısını da kapsamaktadır. Örneğin, gelişmiş ekonomiler tipik olarak köklü merkezi enerji üretim ve dağıtım sistemlerine sahipken, gelişmekte olan ekonomiler enerji üretimi, dağıtımı ve bağlanabilirliği konusunda farklı karakteristikler sergilemektedir. Bu çalışma, teorik çerçevenin gelişmiş ya da gelişmekte olan ekonomiler bağlamında daha etkili olup olmadığını değerlendirmemektedir. Dolayısıyla, bu makalede oluşturulan teorik çerçevenin farklı ülkelerde uygulanabilirliği henüz doğrulanmamıştır.

5.2. Sonuç

Bu makale, enerji dönüşümlerinin hem açık çağrışımlarını hem de örtük çağrışımlarını sunmaktadır. Açık enerji geçişi süreci genellikle istatistiksel veriler veya bilgiler aracılığıyla yakalanır ve enerji kullanım türleri, yapıları, biçimleri, ulaşım modları ve mekânsal modellerdeki değişiklikleri kapsar. Örtük enerji geçişi ise enerji teknolojisi, fayda, yönetim şekli, enerji güvenliği, jeopolitik yapı, enerji gücü ve enerji yönetişimi gibi bir enerji geçişinin açık süreçlerinden türetilen daha gizli ve görünmez niteliklerin geçişiyle ilgilidir. Enerji sistemi izole değildir, her zaman sosyal, ekonomik ve ekolojik sistemlerle ilişkilidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, enerji sektörünün çok ötesine uzanan önemli sosyal, ekonomik ve ekolojik sonuçlarla birlikte tüm enerji sisteminde derin bir dönüşümü beraberinde . Gelecekteki araştırmalarda, enerji dönüşümünün çok ölçekli etkilerini keşfetmek, bu süreçle ilişkili riskleri azaltmak ve nihayetinde "adil ve sürdürülebilir" bir enerji dönüşümüne ulaşmak acildir.

Tablo 2

Başlıca ülke ve bölgelerde enerji dönüşüm yolları.

Ülke/bölge	Enerji geçiş yolları
Birleşik Devletler	Öncelikli olarak ileri enerji teknolojilerinin araştırılması ve geliştirilmesini desteklemeye odaklanarak, temiz enerji (nükleer enerji, yenilenebilir enerji, doğal gaz ve temiz kömür vb. dahil) oranını artırarak "enerji bağımsızlığı" elde etmek amacıyla enerji sisteminin temizlenmesini teşvik etmek.
Alman	Enerji politikasının üç temel hedefi güvenli, ekonomik verimlilik ve çevresel sürdürülebilirliği kapsamaktadır. Enerji dönüşümünün yolu öncelikle enerji tüketiminin azaltılmasını, enerji verimliliğinin artırılmasını, nükleer enerjinin aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmasını ve yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılmasını içermektedir.
Japonya	Enerji teknolojisinin geliştirilmesi, enerji güvenliğini sağlamak, enerji arzını istikrara kavuşturmak, yapısını optimize etmek ve endüstriyel rekabet gücünü artırmak için stratejik bir önlemdir. Enerji , hidrojen enerjisinin büyük ölçekli kullanımı ile karakterize edilmekte olup, bu amaçla bir "hidrojen toplumu".
Orta Doğu ülkeleri	Güneş, rüzgar ve jeotermal kaynakları bol olan Orta Doğu ülkeleri, son yıllarda yenilenebilir enerjinin küresel maliyetindeki en önemli düşüşlerden bazılarına tanık oldu. Yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi ve payının artırılması, bölgenin enerji dönüşümünde çok önemli stratejiler olarak kabul edilmektedir.
Çin	Enerjinin temiz, düşük , güvenli ve verimli kullanımını teşvik etmek, enerji endüstrisinin dijital ve akıllı gelişimini hızlandırmak, yenilenebilir enerji ile birlikte gaz ve elektrik endüstrisinin entegre gelişimini teşvik etmek, net sıfır emisyonlu yeni enerji sistemleri kurmak ve "Kuşak ve Yol" girişimi kapsamında uluslararası enerji işbirliğini güçlendirmek.

Rekabetçi çıkar beyanı

Yazarlar, bu makalede rapor edilen çalışmayı etkileyebilecek bilinen herhangi bir rakip finansal çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan etmektedir.

Veri kullanılabilirliği

Makalede açıklanan araştırma için herhangi bir veri kullanılmamıştır.

Teşekkür

Yazarlar, bu araştırma için Çin Devlet Şirketi Bilim ve Teknoloji Vakfı'ndan sağlanan mali desteğe teşekkür etmek isterler: 5108-202218280A-2-432-XG.

Referanslar

- [1] D.M.L. Gonza´lez, J.G. Rendon, Daha verimli ve dirençli enerji piyasalarına geçiş için dağıtılmış enerji kaynaklarını yaygınlaştırmanın fırsatları ve zorlukları, Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev. 157 (2022) 112018, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112018>.
- [2] S. Potrc, L. Cucek, M. Martin, Z. Kravanja, Sürdürülebilir yenilenebilir enerji tedarik ağları optimizasyonu - 2050 yılına kadar Avrupa Birliği içinde yenilenebilir enerji sistemine kademeli geçiş, Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev. 146 (2021) 111186, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111186>.
- [3] D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M.D. Bazilian, N. Wagner, R. Gorini, The role of renewable energy in the global energy transformation, Energy Strategy Rev. 24 (2019) 38-50.
- [4] IRENA. Yenilenebilir Kapasite, İstatistikler (2023). https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf?rev=d2949151ee6a4625b65c82881403c2a7.
- [5] IRENA. World, Energy Transitions Outlook 2023: 1.5° C Pathway. https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_2023.pdf?rev=db3ca01ecb4a4ef8accb31d017934e97.
- [6] IEA. Net Sıfır Yol Haritası, 1,5° C Hedefine Ulaşmak için Küresel Bir Yol: 2030 Güncellemesi. <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>.

- [7] J. Hong, J. Kim, W. Son, H. Shin, N. Kim, W.K. Lee ve diğerleri, Güney Kore için uzun vadeli enerji stratejisi senaryoları: sürdürülebilir bir enerji sistemine geçiş, *Energy Pol.* 127 (2019) 425-437, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.055>.
- [8] Y. Wen, B. Cai, X. Yang, Y. Xue, Çin'in Düşük Karbonlu enerji geçişinin nicel analizi, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 119 (2020) 105854, <https://doi.org/10.1016/j.jepes.2020.105854>.
- [9] UIA Girişimi, Enerji geçişi. Çevrimiçi: <https://www.uia-initiative.eu/en/energy-transition>.
- [10] B.D. Solomon, K. Krishna, The coming sustainable energy transition: history, strategies, and outlook, *Energy Pol.* 39 (11) (2011) 7422-7431, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.009>.
- [11] P. Huang, Y. Liu, Toward just energy transitions in authoritarian regimes: indirect participation and adaptive governance, *J. Environ. Plann. Manag.* 64 (1) (2021) 1-21, <https://doi.org/10.1080/09640568.2020.1743245>.
- [12] F. Krause, H. Bossel, K.F.M. Reibmann, *Energy Transition Growth and Prosperity and, without Oil Uranium, Fischer, Frankfurt, 1980.*
- [13] C. Wang, A. Engels, Z. Wang, Çin'in düşük karbonlu kalkınmaya geçişine ilişkin araştırmalara genel bakış: şehirlerin, teknolojilerin, endüstrilerin ve enerji sisteminin rolü, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 81 (P1) (2018) 1350-1364, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.099>.
- [14] K. Araujo, The emerging field of energy transitions: progress, challenges, and opportunities, *Energy Res. Social Sci.* 1 (2014) 112-121, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.002>.
- [15] B.K. Sovacool, Burada ne yapıyoruz? On beş yıllık enerji biliminin analizi ve bir sosyal bilim araştırma gündemi önerisi, *Energy Res. Social Sci.* 1 (2014) 1-29, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.02.003>.
- [16] M. Child, C. Breyer, Transition and transformation: a review of the concept of change in the progress towards future sustainable energy systems, *Energy Pol.* 107 (2017) 11-26, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.022>.
- [17] J. Ko" hler, F.W. Geels, F. Kern, J. Markard, E. Onsongo, A. Wiecek, ve , Sürdürülebilirlik geçişleri araştırması için bir gündem: son durum ve gelecekteki yönler, *Environ. Innov. Soc. Transit.* 31 (2019) 1-32, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.004>.
- [18] Podobnik Bruce, *Küresel Enerji Değişimleri: Fostering Sustainability in a Turbulent Age [M]*, Temple University Press, Philadelphia, 2006.
- [19] Vaclav Smil, *Enerji Geçişleri: History, Requirements, Prospects[M]*, Praeger, Santa Barbara, 2010.
- [20] Dünya Enerji Konseyi, *Küresel enerji geçişi.* <https://www.kearney.com/in-dustry/metals-mining/energy-transition>.
- [21] O. Edenhofer, R. Pichs-madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlo" mer, C. Von Stechow, *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2011.
- [22] S. Carley, D.M. Konisky, The justice and equity implications of the clean energy transition, *Nat. Energy* 5 (2020) 569-577, <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0641-6>.
- [23] Vaclav Smil, *Energy Myths and Realities: Bringing Science to the Energy Policy Debate*, Rowman and Littlefield, Washington, DC, 2010, s. 136-141.
- [24] R. Fouquet, Tarihsel enerji geçişleri: Hız, fiyatlar ve sistem dönüşümü, *Energy Res. Social Sci.* 22 (2016) 7-12, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.014>.
- [25] Richard F. Hirsh, Christopher F. Jones, Tarihin enerji araştırma katkıları ve politikasına , *Energy Res. Social Sci.* 1 (Mart) (2014) 106-111.
- [26] C.A. Miller, J. Richter, J. O'Leary, Socio-energy systems design: a policy framework for energy transitions, *Energy Res. Social Sci.* 6 (2015) 29-40, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.11.004>.
- [27] Melosi Martin, *Energy transitions in historical perspective*, in: Laura Nader (Ed.), *The Energy Reader*, Wiley Blackwell, Londra, 2010, s. 45-60.
- [28] R. Fouquet, P.J.G. Pearson, Past and prospective energy transitions: insights from history, *Energy Pol.* 50 (2012) 1-7, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.014>.
- [29] A. Grubler, C. Wilson, G. Nemet, Apples, oranges and consistent comparisons of the temporal dynamics of energy transitions, *Energy Res. Social Sci.* 22 (2016) 18-25, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.015>.
- [30] Peter A. O'Connor, *Enerji Geçişleri (The Pardee Papers/No. 12/Kasım 2010).*
- [31] T. Coenena, T. Hansenc, A. Glasmeiere, R. Hassink, Regional foundations of energy transitions, *Camb. J. Reg. Econ. Soc.* 14 (2021) 219-233, <https://doi.org/10.1093/cjres/rsab010>.
- [32] G. Bridge, S. Bouzarovski, M. Bradshaw, N. Eyre, Geographies of energy transition: space, place and the low-carbon economy, *Energy Pol.* 53 (2013) 331-340, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066>.
- [33] B. Chen, R. Xiong, H. Li, Q. Sun, J. Yang, Pathways for sustainable energy transition, *J. Clean. Prod.* 228 (2019) 1564-1571, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.372>.
- [34] N. Mohammad, W. Ishak, S.I. Mustapa, B.V. Ayodele, Sürdürülebilir yenilenebilir enerji geçişinde önemli bir alternatif enerji kaynağı olarak doğal gaz: mini bir inceleme, *Front. Energy Res.* 9 (2021) 625023, <https://doi.org/10.3389/feng.2021.625023>.
- [35] R. Fouquet, Çözümler için yavaş arayış: Sektör ve hizmetlere göre tarihsel enerji geçişlerinden dersler, *Energy Pol.* 38 (2010) 6586-6596, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.029>.
- [36] M. Vanegas-Cantarero, S. Pennock, T. Bloise-Thomas, H. Jeffrey, M.J. Dickson, Beyond LCOE: a multi-criteria evaluation framework for offshore renewable energy projects, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 161 (2022) 112307, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112307>.
- [37] V. Smil, Examining energy transitions: a dozen insights based on performance, *Res. Social Sci.* 22 (2016) 194-197, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.017>.
- [38] B.K. Sovacool, Ne kadar sürecek? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions, *Energy Res. Social Sci.* 13 (2016) 202-215, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020>.
- [39] A. Grubler, *Transitions in energy use*, *Encyclopedia of Energy* 6 (2004) 163-177.
- [40] A. Grubler, Energy transitions research: insights and cautionary tales, *Energy Pol.* 50 (2012) 8-16, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.070>.
- [41] P. Johnstone, K.S. Rogge, P. Kivimaa, C.F. Fratin, E. Primmer, A. Stirling, Temiz enerji geçişlerinde bozulma dalgaları: Almanya ve Birleşik Krallık'ta sistem bozulmasının sosyoteknik boyutları, *Energy Res. Social Sci.* 59 (2020) 101287, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101287>.
- [42] E. Davy, U.E. Hansen, I. Nygaard, Dual embeddedness? Innovation capabilities, multinational subsidiaries, and solar power development in South Africa, *Energy Res. Social Sci.* 78 (3) (2021) 102145, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102145>.
- [43] C. Zou, F. Ma, S. Pan, M. Lin, G. Zhang, B. Xiong, et al., Earth energy evolution, human development and carbon neutral strategy, *Petrol. Keşif. Dev.* 49 (2) (2022) 468-488, [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(22\)60040-5](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(22)60040-5).
- [44] C. Zou, B. Xiong, H. Xue, D. Zheng, Z. Ge, Y. Wang ve , durumu ve işlevi.. Karbon nörlüğünde yeni enerjinin , *China Oil Gas* 28 (1) (2021) 3-10.
- [45] C. Zou, S. Pan, Q. Zhao, On the connotation, challenge and significance of China's "energy independence" strategy, *Petrol. Explor. Dev.* 47 (2) (2020) 449-462, [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(20\)60062-3](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(20)60062-3).
- [46] S. Pan, C. Zou, L. Yong, Z. Jing, E. Liu, M. Yuan ve , Başlıca biyolojik olaylar ve fosil enerji oluşumu: yer sistemi çerçevesinde enerji biliminin gelişimi üzerine, *Petrol. Explor. Dev.* 48 (3) (2021) 581-594, [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(21\)60047-2](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(21)60047-2).
- [47] C. Zou, D. He, C. Jia, B. Xiong, Q. Zhao, S. Pan, Dünya enerji dönüşümünün ve yolu ve karbon nötr için önemi, *Acta Pet. Günah.* 42 (2) (2021) 233-247, <https://doi.org/10.7623/syxb202102008>.
- [48] C. Zou, B. Xiong, H. Xue, D. Zheng, Z. Ge, Y. Wang ve , Karbon nötralizasyonunda yeni enerjinin rolü, *Petrol. Keşif. Dev.* 48 (2) (2021) 480-491, [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(21\)60039-3](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(21)60039-3).
- [49] R. Vakulchuk, I. Overland, D. Scholten, Renewable energy and geopolitics: a review, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 122 (2020) 109547, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109547>.
- [50] T.J. Foxon, Birleşik Krallık'ın düşük karbonlu elektrik geleceği için geçiş yolları, *Energy Pol.* 52 (JAN) (2013) 10-24, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.001>.
- [51] M. Guidolin, T. Alpcan, Transition to sustainable energy generation in Australia: interplay between coal, gas and renewables, *Renew. Energy* 139 (2019) 359-367, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.045>.
- [52] J. Radtke, *Bürgerenergie in Deutschland; Partizipation zwischen Gemeinwohl und Rendite*, Springer, Heidelberg, 2016.
- [53] G. Seyfang, A. Haxeltine, Growing grassroots innovations: exploring the role of community-based initiatives in governing sustainable energy transitions, *Environ. Plann. C* 30 (2012) 381-400.
- [54] K. Szulecki, Conceptualizing energy democracy, *Environ. Pol.* 27 (1) (2018) 21-41.
- [55] B.W. Ang, W.L. Choong, T.S. Ng, Enerji güvenliği: tanımlar, boyutlar ve endeksler, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 42 (2015) 1077-1093, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.064>.
- [56] A. Erin Bass, B. Grøgaard, The long-term energy transition: drivers, outcomes, and the role of the multinational enterprise, *J. Int. Bus. Stud.* 52 (2021) 807-823, <https://doi.org/10.1057/s41267-021-00432-3>.
- [57] W. Rabe, G. Kostka, K. Smith Stegen, Çin'in kritik hammadde tedariki: Avrupa'nın güneş ve rüzgar endüstrileri için riskler? *Energy Pol.* 101 (2017) 692-699, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.019>.
- [58] IEA, *Temiz Enerji Geçişlerinde Kritik Minerallerin Rolü.* <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.
- [59] M. Blondeel, M.J. Bradshaw, G. Bridge, C. Kuzemk, The geopolitics of energy system transformation: a review, *Geogr Compass* 15 (2021) e12580, <https://doi.org/10.1111/gec.12580>.
- [60] J. Qi, A. Hahn, X. Lu, J. Wang, C. Liu, Cybersecurity for distributed energy resources and smart inverters, *IET Cyber-Physical Systems: Teori ve Uygulamalar* 1 (1) (2017) 28-39.
- [61] M. O'Sullivan, I. Overland, D. Sandalow, *The Geopolitics of Renewable Energy*, Columbia University, New York, 2017.
- [62] A. Bass, S. Chakrabarty, Resource security: competition for global resources, strategic intent, and governments as owners, *J. Int. Bus. Stud.* 45 (2014) 961-979, <https://doi.org/10.1057/jibs.2014.28>.
- [63] M. Bradshaw, The geopolitics of global energy security, *Geogr Compass* 3 (5) (2009) 1920-1937, <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2009.00280.x>.
- [64] Y. Yang, Yu. Enerjinin jeo-güçü üzerine, *J. Nat. Resour.* 35 (2020) 2572-2584, <https://doi.org/10.31497/zrxyxb.20201102>.
- [65] Y. Yang, Z. He, Enerji jeopolitiği ve güç, *Prog. Geogr.* 40 (2021) 524-540, <https://doi.org/10.18306/dlkxjz.2021.03.015>.
- [66] Michael T. Klare, *Geriye Kalanlar İçin Yarış: Dünyanın Son Kaynakları İçin Küresel Mücadele...*
- [67] H.Y. Yu, *Geopolitics and global market: two logics global resource governance, of Chinese Journal of European Studies* 39 (1) (2021) 102-122+ 7, 8.
- [68] A. Florini, B.K. Sovacool, Bridging the gaps in global energy governance, *Global Govern.* 17 (1) (2011) 57-74.
- [69] D. Lesage, T. Van de Graaf, *Global Energy Governance in a Multipolar world[M]*, Routledge, London, UK, 2016.

- [70] J. Lu, G.F. Nemet, Kanıt haritası: Enerji Geçişleri literatüründeki konular, eğilimler ve politikalar, *Environ. Res. Lett.* 15 (2020) 123003, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc195>.
- [71] J. Rodriguez-Manotas, P.L. Bhamidipati, J. Haselip, Sahaya inmek: Ruanda'da şebeke ölçeğinde güneş enerjisinin belirleyicilerini araştırmak, *Energy Res. Social Sci.* 42 (2018) 1) 70-79, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.03.007>.
- [72] P. Stern, B. Sovacool, T. Dietz, Towards a science of climate and energy choices, *Nat. Clim. Change* 6 (2016) 547-555, <https://doi.org/10.1038/nclimate3027>.
- [73] F. Geels, B. Sovacool, T. Schwanen, S. Sorrell, Sociotechnical transitions for deep decarbonization, *Science* 357 (2017) 1242-1244, <https://doi.org/10.1126/science.aao3760>.
- [74] F. Geels, Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study, *Res. Pol.* 31 (2022) 1257-1274, [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8).
- [75] R. Bosman, D.A. Loorbach, N. Frantzeskaki, T. Pistorius, Discursive regime dynamics in the Dutch energy transition, *Environ. Innov. Soc. Transit.* 13 (2014) 45-59, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.07.003>.
- [76] J. Wang, C. Song, R. Yuan, 1997-2040 Çin'de elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları: enerji geçişi ve termik enerji üretim verimliliğinin rolleri, *Sci. Total Environ.* 773 (2021) 145026, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145026>.
- [77] N. Johnstone, I. Hassid, D. Popp, Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts, *Environ. Resour. Econ.* 45 (2010) 133-155.
- [78] J. Gusc, P. Bosma, S. Jarka, A. Biernat-Jarka, Avrupa'da enerji geçişi için gerçek maliyet muhasebesinde büyük veri, yapay zeka ve blok zinciri, *Energies* 15 (2022) 1089, <https://doi.org/10.3390/en15031089>.
- [79] S.D. Agyeman, B.Q. Lin, Nonrenewable and renewable energy substitution, and low-carbon energy transition: evidence from North African countries, *Renew. Energy* 194 (2022) 378-395, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.026>.
- [80] T. Sharma, P. Balachandra, Geçiş dönemindeki bir elektrik sisteminde yenilenebilir enerjinin dinamik entegrasyonunun planlanması için model tabanlı yaklaşım, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 105 (2019) 642-659, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.09.007>.
- [81] Y. Zhang, X. Shi, X. Qian, S. Chen, R. Nie, Karbon nötrlüğüne enerji geçişinin makroekonomik etkisi: Çin'in kömür kapasitesi azaltma politikasından kanıtlar, *Energy Pol.* 155 (2021) 112374, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112374>.
- [82] Liu P., Gao P., Zhang C. Piyasa Tasarımı ile Enerji Dönüşümü Nasıl Teşvik Edilir: Çin'in Elektrik Enerjisi Sektörü Üzerine Bir İnceleme. *Ön. Energy Res.* 2021(9): 709272. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.709272>.
- [83] M. Zeng, S. Meng, Z. Long, L. Tian, C. Sun, Uluslararası karbon üzerine araştırmaemisyön ticareti mekanizması . Uluslararası Yönetim, KonferansıEkonomi, Eğitim ve Sosyal Bilimler , MEESS 2018, 2018, s. 267-271. Atlantis Yayınları.
- [84] M. Pahle, O. Tietjen, S. Osorio, F. Egli, B. Steffen, T.S. Schmidt, ve diğerleri, Safeguarding the energy transition against political backlash to carbon markets, *Nat. Energy* 7 (2022) 290-296, <https://doi.org/10.1038/s41560-022-00984-0>.
- [85] N. Kittner, F. Lill, D. Kammen, Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition, *Nat. Energy* 2 (2017) 17125, <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.125>.
- [86] P. Chen, Y. Wu, J. Meng, He P, D. Li, Coffman Dm, Liang X, Guan D, Asya-Pasifik'in gelişmekte olan ekonomilerinin enerji dönüşümünde enerji politikalarının heterojen rolü, *Nat. Energy* (2022), <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01029-2>.
- [87] S. Xu, Çin'deki enerji devriminin paradoksu: sosyo-teknik bir geçiş perspektifi, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 137 (2021) 110469, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110469>.
- [88] J. Aleluia, P. Tharakan, A.P. Chikkatur, G. Shrimali, X. Chen, Güneydoğu Asya'da temiz enerjiye geçiş hızlandırılması: hükümetlerin ve kamu politikalarının rolü, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 159 (2022) 112226, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112226>.
- [89] N. Goyal, A. Taeihagh, M. Howlett, Whither policy innovation? Mapping conceptual engagement with public policy in energy transitions research, *Energy Res. Social Sci.* 89 (2022) 102632, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102632>.
- [90] U. Bhattarai, K. Maraseni, A. Apan, Yenilenebilir enerji geçişinin değerlendirilmesi: sistematik bir literatür taraması, *Sci. Total Environ.* 833 (2022) 155159, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155159>.
- [91] A. Mazzone, T. Cruz, P. Bezerra, Ormanda yakacak odun: Brezilya Amazon'unun uzak bir köyünde sosyal uygulamalar, kültür ve enerji geçişleri, *Energy Res. Social Sci.* 74 (2021) 101980, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101980>.
- [92] B.K. Sovacool, S. Griffiths, Culture and low-carbon energy transitions, *Nat. Sustain.* 3 (2020) 685-693, <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0519-4>.
- [93] M. Jüriso, N. Serenje, F. Mwila, F. Lambe, M. Osborne, Old habits die hard: using the energy cultures framework to understand drivers of household-level energy transitions in urban Zambia, *Energy Res. Social Sci.* 53 (2019) 59-67, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.03.001>.
- [94] A. Gioda, Residential fuelwood consumption in Brazil: environmental and social implications, *Biomass Bioenergy* 120 (2019) 367-375, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.014>.
- [95] B. Behera, D.B. Rahut, A. Jeetendra, A. Ali, Household collection and use of biomass energy sources in South Asia, *Energy* 85 (2015) 468-480, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.059>.
- [96] S. Hays, Structure and agency and the sticky problem of culture, *Socio. Teori.* 12 (1) (1994) 57-72.
- [97] A. Reckwitz, Toward a theory of social practices: a development in culturalist theorizing, *Eur. J. Soc. Theor.* 5 (2) (2002) 243-263, <https://doi.org/10.1177/1368431022225432>.
- [98] O.W. Johnson, V. Gerber, C. Muhoza, Gender, culture and energy transitions in rural Africa, *Energy Res. Social Sci.* 49 (2019) 169-179, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.11.004>.
- [99] J. Stephenson, B. Barton, G. Carrington, D. Gnoth, R. Lawson, P. Thorsnes, Energy cultures: a framework for understanding energy behaviours, *Energy Pol.* 38 (2010) 6120-6129, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.069>.
- [100] A. İrena, Yeni Dünya: Enerji Jeopolitiği, İRENA, Enerji Dönüşümünün Jeopolitiği Küresel Komisyonu, 2019.
- [101] S. Okushima, Energy poor need more energy, but do they need more carbon? İnsanların temel karbon ihtiyaçlarının değerlendirilmesi, *Ecol. Econ.* 187 (4) (2021) 107081, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107081>.
- [102] M. Gonzalez-Eguino, Energy poverty: an overview, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 47 (2015) 377-385, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.013>.
- [103] A. Reddy, Enerji ve sosyal konular, içinde: Dünya Enerji Konseyi ve UNEP, Editörler. Enerji ve Sürdürülebilirlik Mücadelesi, 2000. New York, NY.
- [104] J. Oppenheim, The United States regulatory compact and energy poverty, *Energy Res. Social Sci.* 18 (2016) 96-108, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.04.022>.
- [105] C. Barrington-Leigh, J. Baumgartner, E. Carter, B.E. Robinson, S. Tao, Y. Zhang, Pekin'in evlerde kömür kullanımını ortadan kaldırma programı kapsamında hava kalitesi, ev ısıtması ve refahın değerlendirilmesi, *Nat. Energy* 4 (2019) 416-423, <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0386-2>.
- [106] M. Li, T. Jin, S. Liu, S. Zhou, The cost of clean energy transition in rural China: evidence based on marginal treatment effects, *Energy Econ.* 97 (2021) 105167, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105167>.
- [107] L. Xie, X. Hu, X. Zhang, X. Zhang, Hanehalkı enerji dönüşümünde yoksulluğundan kimler muzdari? Çin kırsalındaki temiz ısıtma programından elde edilen kanıtlar, *Energy Econ.* 106 (2021) 105795, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105795>.
- [108] G.D. Kamalapur, R.Y. Udaykumar, Hindistan'da kırsal elektrifikasyon ve fotovoltaik güneş ev sistemlerinin fizibilitesi, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 33 (3) (2011) 594-599, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2010.12.014>.
- [109] M.Y. Suberu, M.W. Mustafa, N. Bashir, N.A. Muhamad, A.S. Mokhtar, Sahra-altı Afrika'da elektrige erişimi genişletmek için enerji sektörü yenilenebilir enerji entegrasyonu, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 25 (2013) 630-642, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.033>.
- [110] A. Yadoo, H. Cruickshank, The role for low carbon electrification technologies in poverty reduction and climate change strategies: a focus on renewable energy mini-grids with case studies in Nepal, Peru and Kenya, *Energy Pol.* 42 (2012) 591-602, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.029>.
- [111] Y. Yang, Energy globalization of China: trade, investment, and embedded energy flows, *J. Geogr. Sci.* 32 (2022) 377-400, <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1952-2>.
- [112] M.J. Burke, J.C. Stephens, Political power and renewable energy futures: a critical review, *Energy Res. Social Sci.* 35 (2018) 78-93, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.018>.
- [113] J. Rifkin, The third industrial revolution: how lateral power is transforming the energy, economy, and the world, *Civ. Eng.* 82 (1) (2012) 74-75.
- [114] M.A. Omar, M. Hasanujjaman, Bangladeş'te çok boyutlu enerji yoksulluğu ve bunun sağlık ve eğitim üzerindeki etkisi: hane halkı anket verilerine dayalı çok düzeyli bir analiz, *Energy Pol.* 158 (2021) 112579, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112579>.
- [115] Z. Zhang, H. Shu, H. Yi, X. Wang, Hanehalkının çok boyutlu enerji yoksulluğu ve bunun fiziksel ve ruhsal sağlık üzerindeki etkileri, *Energy Pol.* 156 (2021) 112381, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112381>.
- [116] B. Lin, M.A. Okyere, Çok boyutlu enerji yoksulluğu ve ruh sağlığı: Gana'dan mikro düzeyde kanıtlar, *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 17 (2020) 6726, <https://doi.org/10.3390/ijerph17186726>.
- [117] GBD 2015 Mortality and Causes of Death Collaborators, Küresel, bölgesel ve ulusal yaşam beklentisi, tüm nedenlere bağlı ölüm oranı ve 249 ölüm için nedene özel ölüm oranı, 1980-2015: küresel hastalık yükü çalışması 2015 için sistematik bir analiz, *Lancet* 388 (2016) 1459-1544, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31012-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31012-1).
- [118] Y. Liu, D. Tong, J. Cheng, S.J. Davis, S. Yu, B. Yarlagadda, ve , Çin'de gelecekteki hava kirliliği ölümlerini azaltmada iklim hedeflerinin ve temiz hava politikalarının rolü: bir modelleme çalışması, *Lancet Planet. Health* 6 (2) (2022) e92-e99, [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00326-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00326-0).
- [119] J.A. Burney, The downstream air pollution impacts of the transition from coal to natural gas in the United States, *Nat. Sustain.* 3 (2020) 152-160, <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0453-5>.
- [120] G. Shen, M. Ru, W. Du, X. Zhu, Q. Zhong, Y. Chen ve , Hızlı konut enerji geçişi altında kırsal Çin hanelerinden gelen hava kirliletilerinin etkileri, *Nat. Commun.* 10 (2019) 3405, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-1453-w>.
- [121] B. Zhao, H. Zheng, S. Wang, K.R. Smith, X. Lu, A. Kristin ve diğerleri, Ev yakıtındaki değişim, 2005-2015 yıllarında Çin'de PM_{2.5} maruziyetindeki ve erken ölüm oranındaki düşüşe hakimdir, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 115 (49) (2018) 12401-12406, <https://doi.org/10.1073/pnas.1812955115>.
- [122] W. Zhang, X. Yun, W. Meng, H. Xu, Q. Zhong, X. Yu ve diğerleri, 1980 ve 2014 yılları arasında Çin'de kentsel konut enerji geçişi 2,2 milyon erken ölümü önlledi, *One Earth* 4 (11) (2021) 1602-1613, <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.10.013>.
- [123] S. Majewski, U. Mentel, R. Salahodjaev, M. CierpiałWolan, Elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme: Güney Asya ülkelerinden kanıtlar, *Energies* 15 (4) (2022) 1327, <https://doi.org/10.3390/en15041327>.

- [124] W. Jia, X. Jia, L. Wu, Y. Guo, T. Yang, E. Wang, ve , Temiz enerji gelişiminin karbondioksit emisyonu ve ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin bölgesel farklılıklarla ilgili araştırma, *Humanit Soc Sci Commun* 9 (2022) 25, <https://doi.org/10.1057/s41599-021-01030-2>.
- [125] M. Mohsin, H.W. Kamran, M.A. Nawaz, S. Muhammed, A.S. Dahri, Yenilenemeyen enerji tüketiminden yenilenebilir enerji tüketimine geçişin ekonomik büyüme-çevre bağlantısı üzerindeki etkisinin gelişmekte olan Asya ekonomilerinden değerlendirilmesi, *J. Environ. Manag.* 284 (2021) 111999, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111999>.
- [126] H. Dai, X. Xie, Y. Xie, J. Liu, T. Masui, Green growth: the economic impacts of largescale renewable energy development in China, *Appl. Energy* 162 (2016) 435-449, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.049>.
- [127] V. Court, P.A. Juvet, F. Lantz, Long-term endogenous economic growth and energy transitions, *Energy* J. 39 (1) (2018) 29-57, <https://doi.org/10.5547/01956574.39.1.vcou>.
- [128] G.D. Sharma, A.K. Tiwari, B. Erkut, H.S. Mundi, Exploring the nexus between non-renewable and renewable energy consumptions and economic development: evidence from panel estimations, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 146 (2021) 111152, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111152>.
- [129] A. Malik, C. Bertram, E. Kriegler, G. Luderer, Climate policy accelerates structural changes in energy employment, *Energy Pol.* 159 (2021) 112642, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112642>.
- [130] Y. Mu, W. Cai, S. Evans, C. Wang, D. Roland-Holst, Çin'de yenilenebilir enerji politikalarının istihdam üzerindeki etkileri: CGE modelleme çerçevesine dayalı bir ayrıştırma analizi, *Appl. Energy* 210 (2018) 256-267, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.086>.
- [131] W. Cai, Y. Mu, C. Wang, J. Chen, Yenilenebilir ve yeni enerjinin dağılımsal istihdam etkileri-Çin örneği, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 39 (2014) 1155-1163, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.136>.
- [132] H. Garrett-Peltier, Green versus brown: comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model, *Econ. Modell.* 61 (2017) 439-447, <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.11.012>.
- [133] M. Simas, S. Pacca, Assessing employment in renewable energy technologies: a case study for wind power in Brazil, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 31 (2014) 83-90, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.046>.
- [134] M. Wei, S. Patadia, D.M. Kammen, Yenilenebilir enerji kaynaklarını ve enerji verimliliğini işe koymak: Temiz enerji endüstrisi ABD'de kaç iş yaratabilir? *Energy Pol.* 38 (2010) 919-931, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.044>.
- [135] A. Sharma, R. Banerjee, Framework to analyze the spatial distribution of the labor impacts of clean energy transitions, *Energy Pol.* 150 (2021) 112158, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112158>.
- [136] UNEP, Yeşil Ekonomiye Doğru: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Nairobi, 2011.
- [137] S. Nasirov, A. Girard, C. Penˆ a, F. Salazar, F. Simon, Şilide yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi: istihdam üzerindeki etkilerin analizi, *Energy* 226 (2021) 120410, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120410>.
- [138] ILO, Dünya, İstihdam ve Sosyal Görünüm 2018 - İşlerle Yeşillenme, 2018.
- [139] S. Williams, A. Doyon, Enerji geçişlerinde adalet, *Environ. Yenilikçilik. Soc. Transit.* 31 (2019) 144-153, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.12.001>.
- [140] U.K. Pata, Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO₂ emissions in Turkey: testing EKC hypothesis with structural breaks, *J. Clean. Prod.* 187 (2018) 770-779, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.236>.
- [141] I. Hanif, B. Aziz, I.S. Chaudhry, Asya'nın gelişmekte olan ekonomilerinde yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kullanımı yelpazesinde karbon emisyonları, *Renew. Energy* 143 (2019) 586-595, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.032>.
- [142] F. Adedoyin, I. Abubakar, F. Victor, S. Asumadu, Enerji üretimi ve çevresel-ekonomik büyüme sonuçları: geçiş ekonomileri arasında fark var mı? *Energy Rep.* 6 (2020) 1418-1427, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.05.026>.
- [143] I. Khan, F. Hou, A. Zakari, V.K. Tawiah, Enerji geçişleri, enerji tüketimi ve sürdürülebilir ekonomik büyüme arasındaki dinamik bağlantılar: IEA ülkeleri için yeni bir çerçeve, *Energy* 222 (2021) 119935, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119935>.
- [144] D. Tong, G. Geng, K. Jiang, J. Cheng, Y. Zheng, C. Hong ve diğerleri, 2030 yılına kadar Pekin-Tianjin-Hebei bölgesinde PM_{2.5} hava kalitesine ulaşmaya yönelik enerji ve emisyon yolları, *Sci. Total Environ.* 692 (2019) 361-370, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.218>.
- [145] K.C. Surendra, S.K. Khanal, P. Shrestha, B. Lamsal, Nepal'de yenilenebilir enerjinin mevcut durumu: fırsatlar ve zorluklar, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 15 (2011) 4107-4117, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.022>.
- [146] D. Millstein, R. Wiser, M. Bolinger, G. Barbose, The climate and air-quality benefits of wind and solar power in the United States, *Nat. Energy* 2 (2017) 17134, <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.134>.
- [147] G. Pereira, M.L. Bell, Y. Honda, J.T. Lee, L. Morawska, B. Jalaludin, Energy transitions, air quality and health, *Environ. Res. Lett.* 16 (2) (2021) 020202, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abdac>.
- [148] R.P. Thombs, The paradoxical relationship between renewable energy and economic growth: a cross-national panel study, 1990-2013, *J. World Syst. Res.* 23 (2) (2017) 540-564.
- [149] R. York, J.A. Mcgee, Yenilenebilir enerji gelişimi ekonomik büyümeyi mübütlemeyi CO₂ emisyonlarından ? *Soc. Soc. Res. Dyn. World* 3 (2017) 237802311668909.
- [150] J.A. Mcgee, P.T. Greiner, Renewable energy injustice: the socio-environmental implications of renewable energy consumption, *Energy Res. Social Sci.* 56 (2019) 101214, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.05.024>.
- [151] K.U. Ehigiamusoe, E. Dogan, Karbon emisyonlarında yenilenebilir enerji tüketimi ve reel gelir arasındaki etkileşim etkisinin rolü: düşük gelirli ülkelerden kanıtlar, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 154 (2022) 111883, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111883>.
- [152] D. Serrano, A. Margalida, J.M. Peˆ rez-Garcia, J. Juste, J.A. Donaˆ zar, İspanya'daki yenilenebilir enerji kaynakları bıyoçeşitliliği tehdit ediyor, *Science* 370 (6522) (2020) 1282-1283, <https://doi.org/10.1126/science.abf6509>.
- [153] A. Gasparatos, C.N.H. Doll, M. Esteban, A. Ahmed, T.A. Olang, Renewable energy and biodiversity: implications for transitioning to a green economy, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 70 (2017) 161-184, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.030>.
- [154] R.A. Holland, K. Scott, P. Agnolucci, C. Rapti, G. Taylor, Küresel elektrik güç sisteminin karasal bıyoçeşitlilik üzerindeki etkisi, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116 (2019) 26078-26084, <https://doi.org/10.1073/pnas.1909269116>.
- [155] T.D. Searchinger, T. Beringer, A. Strong, Dünya, arazinin özel kullanımından kaynaklanan düşük karbonlu bıyoenerji potansiyeline sahip mi? *Energy Pol.* 110 (2017) 434-446, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.016>.
- [156] A. Sanz-Aguilar, J.A. Saˆ nchez-Zapata, M. Carrete, J.R. Benitez, E. A vila, R. Arenas, et al., Güney İspanya'daki Mısır akbabasının düşüşünü tersine çevirmek için yasadışı zehirlenme ve rüzgar çiftliği planlaması gibi birden fazla cephede harekete geçilmesi gerekiyor, *Biol. Conserv.* 187 (2015) 10-18, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.03.029>.
- [157] Asociacioˆ n Empresarial Eoˆ lica, "Rüzgar Enerjisi Yıllığı 2020: 2019'da Sektöre İlişkin Tüm Bilgiler", 2020. www.aeeolica.org/comunicacion/publicaciones-ace/anuarios/4264-anuario-eolico-20-toda-la-informacion-del-sector-en-el-ano-2019 [İspanyolca].
- [158] N.V. Aladin, J.T. Hoeg, I. Plotnikov, Small aral sea brings hope for lake balkhash, *Science* 370 (6522) (2020), <https://doi.org/10.1126/science.abf6682>, 1283-1283.
- [159] L.J. Sonter, M.C. Dade, J.E.M. Watson, R.K. Valenta, Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity, *Nat. Commun.* 11 (2020) 4174, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17928-5>.
- [160] Eˆ . Lˆ ebre, M. Stringer, K. Svoboda, J.R. Owen, D. Kemp, C. Coˆ te, et al., Enerji geçiş metallerinin çıkarılmasının sosyal ve çevresel karmaşıklıkları, *Nat. Commun.* 11 (2020) 4823, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18661-9>.
- [161] D.R. Sagar, C.B. Tami, K. Zbigniew, R.P. Jeffrey, M. Natalie, R. Chaitri, ve , Yenilenebilir enerji talebini karşılamak için metal üretiminden kaynaklanan gelecekteki PM_{2.5} emisyonları, *Environ. Res. Lett.* 17 (2022) 044043, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5d9c>.
- [162] S. Dunnett, R.A. Holland, G. Taylor, F. Eigenbrod, Tahmin edilen rüzgar ve güneş enerjisi genişlemesi, küresel bölgelerdeki çoklu koruma öncelikleriyle minimum örtüşmeye sahiptir, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 119 (6) (2022) e2104764119, <https://doi.org/10.1073/pnas.2104764119>.
- [163] P. Pandey, A. Sharma, Knowledge politics, vulnerability and recognition-based justice: public participation in renewable energy transitions in India, *Energy Res. Social Sci.* 71 (2021) 101824, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101824>.
- [164] L. Gailing, T. Moss, Conceptualizing Germany's Energy Transition: Institutions, Materiality, Power, Space, Springer, Londra, 2016.
- [165] C. McEwan, Mekânsal süreçler ve yenilenebilir enerjiye geçiş politikaları: Güney Afrika'da arazi, bölgeler ve sürüşmeler, *Polit. Geogr.* 56 (2017) 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2016.10.001>.
- [166] S. Wodrig, Enerji dönüşümü siyasetinde yeni özneler mi? Kuzey Almanya petrol ve gaz altyapısının yeniden etkinleştirilmesi, *Environ. Polit.* 27 (1) (2018) 69-88, <https://doi.org/10.1080/09644016.2017.1384469>.
- [167] C. Chlebnia, J. Mattes, The fragility of regional energy transitions, *Environ. Yenilikçi. Soc. Transit.* 37 (2020) 66-78, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.07.009>.
- [168] S. Sillak, K. Borch, K. Sperling, Assessing co-creation in strategic planning for urban energy transitions, *Energy Res. Social Sci.* 74 (5) (2021) 101952, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101952>.
- [169] IEA, Energy Transitions Indicators, Tracking Energy Transitions, 2020. <https://www.iea.org/articles/energy-transitions-indicators>.
- [170] X. Shi, Y. Sun, Y. Shen, China's ambitious energy transition plans, *Science* 373 (6551) (2021) 170.
- [171] B.K. Sovacool, The history and politics of energy transitions: comparing contested views and finding common grounds, in: *The Political Economy of Clean Energy Transitions*, Oxford University Press, Oxford, İngiltere, 2017, s. 16-35.
- [172] G.C. Unruh, Understanding carbon lock-in, *Energy Pol.* 28 (2000) 817-830, [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7).
- [173] V. Ramachandran, Blanket bans on fossil-fuel funds will entrench poverty, *Nature* 592 (7855) (2021), 489-489.
- [174] B.P. Energy, outlook, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-essentials/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf> adresinden erişilebilir, 2020.
- [175] I. Capell an-Perez, C. de Castro, I. Arto, Yenilenebilir enerjilere geçişte kırılganlıkların ve sınırların değerlendirilmesi: %100 güneş enerjisi senaryoları altında arazi gereksinimleri, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 77 (2017) 760-782, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.137>.
- [176] R.J. Heffron, Applying energy justice into the energy transition, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 156 (2022) 111936, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111936>.
- [177] R.J. Heffron, D. McCauley, The concept of energy justice across the disciplines, *Energy Pol.* 105 (2017) 658-667, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.018>.
- [178] C.A. Miller, A. Iles, C.F. Jones, The social dimensions of energy transitions, *Sci. Cult.* 22 (2) (2013) 135-148, <https://doi.org/10.1080/09505431.2013.786989>.

- [179] K. Jenkins, D. Mccauley, A. Forman, Energy justice: a policy approach, *Energy Pol.* 105 (2017) 631-634, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.052>.
- [180] A. Cherp, V. Vinichenko, J. Jewell, M. Suzuki, M. Antal, Comparing electricity transitions: a historical analysis of nuclear, wind and solar power in Germany and Japan, *Energy Pol.* 101 (2017) 612-628, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.044>.
- [181] C. Mang-Benza, Enerji dönüşümünde pembenin birçok tonu: enerji çıkarımı, üretimi, dağıtımı ve tüketiminde kadınları görmek, *Energy Res. Social Sci.* 73 (2021) 101901, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101901>.
- [182] A. Chicombo, J.K. Musango, Kentsel hane halkı düzeyinde cinsiyete dayalı enerji geçişi için teorik bir çerçeveye doğru: Mozambik örneği, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 157 (2022) 112029, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112029>.