

İklim Değişikliği Mücadelesinde Kooperatif Oyun Teorisi: Bir Modelleme ve Uygulama Analizi

Halil İbrahim DÖNMEZ^{1*}, Mehmet Onur OLGUN², Sırma Zeynep ALPARSLAN GÖK³

¹Matematik Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

³Matematik Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye

*(hidonmez35@gmail.com)

(Geliş Tarihi: 15 Mayıs 2024, Kabul Tarihi: 25 Mayıs 2024)

(3rd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS 2024, May 16-17, 2024)

ATIF/REFERENCE: Dönmez, H. İ., Olgun, M. O., Gök, S. Z. A. (2024). İklim Değişikliği Mücadelesinde Kooperatif Oyun Teorisi: Bir Modelleme ve Uygulama Analizi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(4), 113-121.

Özet – Bu çalışma, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede kooperatif oyun teorisinin potansiyelini araştırmaktadır. Çevresel sorunların çözümünde stratejik bir araç olarak kooperatif oyun teorisi, ulusal ve uluslararası politikalarla uyum sağlayabilecek kooperatif çözümler sunmaktadır. Literatürdeki önemli referanslara dayanarak, Shapley Değeri, Banzhaf Değeri, Kısıt Kümesinin Ağırlık Merkezi Çözümü Değeri (CIS-değeri), Eşitlikçi Bölünemeyen Katkı Değeri (ENSC-değeri) ve Eşit Bölme Değeri (ED-değeri), Banzhaf değeri gibi temel çözüm yöntemleri ele alınmıştır. Bu teorik kavramlar, maliyet ve faydaların adil ve verimli bir şekilde dağıtılmasını sağlayarak, çeşitli koalisyon senaryolarında ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Araştırma bulguları, bu değerlerin birbirine yakın sonuçlar verdiğini ve kooperatif oyun teorisinin verimlilik, koalisyonel bağımsızlık ve bireysel bağımsızlık gibi önemli özellikleri desteklediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, kooperatif oyun teorisinin etkinliği ve uygulanabilirliği üzerine farklı senaryoların analizi yapılmış, uluslararası işbirliğinin güçlendirilmesi, politik ve ekonomik istikrarın sağlanması ve teknolojik yeniliklerin entegrasyonunun bu süreçteki kritik rolleri vurgulanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma küresel düzeyde sürdürülebilirlik ve ekolojik dengeyi destekleyecek politikaların ve stratejilerin geliştirilmesi için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Özellikle sera gazı emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve iklim değişikliğiyle mücadelede finansal kaynakların etkin kullanımı gibi alanlarda politika yapıcılara yol gösterici olması beklenmektedir. Kooperatif oyun teorisinin çevresel politikaların şekillendirilmesindeki rolüne dair bir perspektif sunarak, gelecekteki araştırmalar için sağlam bir temel oluşturulmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Kooperatif Oyun Teorisi, Küresel İklim Değişikliği, Yöneylem Araştırması, Shapley Değeri

I. GİRİŞ

Günümüz devletleri, refah içinde yaşayan topluluklar oluştururken, çevreyi koruma konusunda sayısız ve çok yönlü kararlar (iyi/kötü) almak zorundadır. Bu bağlamda ekonomik büyüme ve kalkınmanın uğruna doğal kaynakların çıkarılması ve teknoloji üretimi sırasındaki faaliyetlerde kontrolsüzlük hızla devam etmektedir. Bu malzemelerin çeşitli motivasyondan kaynaklı hırslar ile aşırı ve kontrolsüz kullanımı gezegenimizin karşı karşıya kaldığı çevresel sorunların başlıca sebeplerinden birini

oluşturmaktadır. (Collins ve Kumral, 2020; Ayres, 2016; Brown ve Timmerman, 2015; Daly ve Farley, 2010). Diğer taraftan rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve elektrikli araçlar gibi çevre dostu teknolojilerin üretiminde ihtiyaç duyulan madde ve malzemelerin elde edilmesi zorunluluğu dünya çapındaki önemli kirlilik üreten faktörler arasında yer almaktadır. (Heede, 2014, 2019). Bu sebepten her türlü gelişim odaklı değişim kararları ve bu kararlardan etkilenen pek çok paydaşın kazanç ve kayıplarının dengelenmesini gerektirir. Eğer bu paydaşlar kazanç ve kayıplarını işbirliği içerisinde dengeleme yoluna gitmezlerse çok yakın bir gelecekte telafi edilemez sorunlarla karşı karşıya kalınacaktır. Tam bu noktada paydaşların kazanç ve kayıplarını işbirliği içerisinde dengeleme yoluna cevap İşbirlikçi Oyun Teorisi argümanlarıyla cevaplamak mümkündür.

Oyun Teorisinin tarihi gelişimi incelendiğinde, teorik analizleri barındıran ilk eserin M.S. 500 yıllarına dayandığı görülmektedir. Uzun yıllar anlaşılmayan bu durum Aumann ve Maschler'in 1985 yılında sundukları çalışmalarında, İşbirlikçi oyun olarak modellenmesiyle oluşturulan çözümler olduğu bulunmuştur (Şahin ve Eren, 2012). 20. ve 21. yüzyıllarda yapılan çalışmalar ile gruplar, bireyler veya "oyuncular" arasındaki etkileşimleri araştırmak için kullanılan bir yöntem olarak kendine fazlaca yer bulmaya başlamıştır. Bu yöntem, yerel ve uluslararası ölçekte toplum için verimli sonuçlar doğrultusunda çevresel stratejilerin modellenmesinde uygulanabilir. Bununla birlikte çevresel uygulamalarda çokça kullanılsa da oyun teorisinin kutup çalışmalarında kullanılarak anlamlı bir düzeyde modellenmesine rastlanmamıştır. Genel olarak yerküre üzerindeki sürdürülebilirliğin merkeze alınarak hazırlanan bu çalışmanın amacı, küresel oyuncuların (örneğin hükümetler, topluluklar, paydaşlar ve çevreci örgütler vb.) potansiyel etkileşimlerini ve karar verme süreçlerini anlamak için oyun teorisinin nasıl kullanılabileceğini keşfetmektir. Ekolojik sağlığın daha bütüncül ve gerçekçi bir şekilde ele alınmasını sağlamak için çok kriterli bir yaklaşım kullanılarak bu oyunların nasıl modellenebileceğine dair bir analizle birlikte sunulmaktadır.

A. Literatür Özetleri

Bu çalışmada literatür özeti iki aşamada anlatılacaktır. İlk kısım çalışmanın çıkış noktası olan iklim değişikliği, küresel ısınma ve sürdürülebilirlik çalışmaları, ikinci kısım ise bu durumun çözümü için oluşturulacak matematiksel modelin inşasında kullanılacak çalışmaların varlığıdır.

Mevcut literatürde iklim değişikliği ve küresel ısınma üzerine yapılan çalışmalar, ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltma maliyetleri ve faydalarını ele almakta ve doğal ile insan sistemlerinin iklim değişikliğine karşı hassasiyetini artırmaktadır. ABD başta olmak üzere diğer ülkelerden sağlanan teknik ve finansal destek, gelişmekte olan ülkelere uzmanların küresel değerlendirmelere daha etkin bir şekilde katılmasına imkân tanımıştır. Ayrıca ABD Ülke Çalışmaları Programı (USCSP) kapsamında yürütülen sera gazı envanterleri, azaltım stratejileri ve iklim adaptasyonu çalışmaları üzerine yapılan çalışmaları bu alandaki bilgi birikimini zenginleştirmektedir (Sathaye vd., 1997). ABD Ülke Çalışmaları Programına (USCSP) katılan 49 ülkenin kıyı kaynakları, tarım, çayır/çiftlik hayvanları, su kaynakları, ormanlar, balıkçılık, yaban hayatı ve sağlık gibi sekiz farklı sektörde iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirdiği belirtilmektedir. Bu çalışmalar özellikle biyofiziksel etkilerin analizine odaklanmıştır. Analizler deniz seviyesi yükselmesinin değerli arazilerin büyük bir kısmını su altında kalabileceğini ve erozyona neden olabileceğini ortaya koymuştur. Ancak gelişmiş alanların korunmasının ekonomik olarak mantıklı olabileceğini vurgulamıştır. Tarım verimindeki değişikliklerle ilgili olarak ise farklı sonuçlar elde edilmiştir (Smith ve Lazo, 2001). Bir başka çalışmada, 27 ülkede medya aracılığıyla iklim değişikliği temsillerinin karşılaştırmalı olarak analiz edildiği belirtilmektedir. Analiz Kyoto Protokolü'nde sera gazı emisyonlarını azaltma taahhütleri olan ülkeler (örneğin Almanya) ile iklim değişikliğinden güçlü bir şekilde etkilenen ülkeler (örneğin Hindistan) gibi çeşitli ülkeleri kapsamaktadır. Çalışma 1996'dan 2010'a kadar bu ülkelerdeki medya ilgisinin iklim değişikliği konusundaki gelişimini ele almaktadır. Bu analizler ülkelerin iklim değişikliğine yaklaşımlarının ve medyanın bu konudaki temsillerinin nasıl evrildiğini göstermektedir (Schmidt vd., 2013). Iacobuta vd., 2018 yılında yaptıkları Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) üyesi olan neredeyse tüm ülkelerdeki ulusal iklim yasaları, stratejileri ve hedefler üzerinde yapılan bir analiz incelenmektedir. Bu çalışmada son on yılda ulusal iklim

yasalarının ve stratejilerinin nasıl değiştiğini ve bu değişimlerin küresel iklim hedeflerine nasıl bir katkı sağladığını değerlendirmektedir. Araştırma ayrıca ulusal düzeydeki politik değişikliklerin geniş kapsamlı iklim hedeflerine olan etkisini ortaya koymaktadır (Iacobuta vd., 2018). Wu vd., 2019 yılında ortaya koydukları çalışmada BRICS ülkeleri (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) için yeni bir gri model kullanılarak yapılan karbondioksit emisyon tahminleri ele alınmaktadır. Bu çalışma söz konusu ülkelerdeki karbon emisyon trendlerini ve hükümetlerin bu emisyonları azaltma çabalarını analiz etmektedir. Sonuç olarak BRICS ülkelerinin karbon yönetimi stratejilerini ve bu stratejilerin etkinliğini değerlendirerek, küresel emisyon azaltma hedeflerine olan katkılarını inceliyor (Wu vd., 2019). 2021 yayımlanan 2006'dan 2018'e kadar on ülkede gerçekleştirilen kapsamlı bir çalışmada, iklim değişikliğinin medya kapsamını karşılaştırmalı olarak analiz etmektedir. Bu araştırma medya temsillerinin yalnızca ekolojik değişimler veya iklim bilimi ile sınırlı olmadığını göstermektedir. Ayrıca insanların iklim değişikliği konusunda nasıl bilinçlendiğini, bu durumdan nasıl etkilendiğini, nasıl mücadele ettiğini ve bu sürece nasıl katkıda bulunduğunu da vurgulamaktadır. Çalışmanın önemini ortaya koyan durum ise medyanın iklim değişikliği konusundaki çok boyutlu rolünü ve etkisini ortaya koymaktadır (Hase vd., 2021). Yine 2021'de yayımlanan bir çalışmada G7 ve E7 ülkelerindeki yeşil finansmanın iklim değişikliği hafifletme çabalarına olan etkisini değerlendiren bir araştırma bulunmaktadır. Bu çalışma yeşil finansman tekniklerinin çevreyi nasıl temizlemeye yardımcı olduğunu ve politika yapıcıların yeşil ekonomik büyümeyi desteklemek için neler yapması gerektiğini göstermektedir. Araştırma, yeşil finansmanın etkinliğini ve çevresel sonuçlarını analiz ederek, sürdürülebilir kalkınma yolunda önemli bir araç olarak vurgulanmaktadır (Wu vd., 2021). Bu çalışmanın (Kooperatif Oyun Teorisi modelleme) temel ilkelerinden biri olan yaşam ve sürdürülebilirlik çerçevesinde koalisyonla yönelik uygun tedbirler alınmadığı takdirde iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki olumsuz etkilerinin kaçınılmazlığını savunmaktadır. Bunu destekler nitelikte Opoku vd. 2021 yılında yaptığı çalışmada Afrika'daki altı ülkenin iklim değişikliğine karşı ne kadar savunmasız olduğunu ve iklim değişikliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini inceler. Araştırma sağlık sistemlerinin bu sağlık tehlikeleriyle başa çıkma kapasitelerini, mevcut kaynakları ve savunmasız nüfusları güçlendirmek için gereken kaynakları incelemektedir. Çalışmanın bulguları politika yapıcıların mevcut politikaları iyileştirmesi ve sağlık profesyonellerinin yeteneklerini güçlendirmesi gerektiğini önermektedir. Bu çalışma, iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkilerine yönelik kapsamlı bir değerlendirme sunarak, uyum ve müdahale stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğine dikkat çekmektedir. (Opoku vd., 2021). Son olarak literatürde yer alan bir bibliyometrik analiz, 2001 ile 2018 yılları arasında iklim değişikliği konusunda yapılan küresel araştırmaları değerlendirerek, farklı ülkelerin araştırma ilgilerini ve ulusal stratejilerini nasıl yansıttığını incelemektedir. Bu çalışma, iklim değişikliği araştırmalarındaki ulusal farklılıkları ve eğilimleri ortaya koyarak, çeşitli ülkelerin bu global sorun karşısındaki bilimsel yaklaşımlarını ve politikalarını analiz etmektedir (Fu ve Waltman, 2022).

Kooperatif oyun teorisinin temel özellikleri ve ana kavramları 1944 yılında Von Neumann ve Morgenstern tarafından geliştirilmiştir. Von Neumann ve Morgenstern, "Oyunlar ve Ekonomik Davranış Teorisi" adlı eserlerinde, oldukça karmaşık stratejik davranış modellerini daha basite indirgeyebilmek için karakteristik fonksiyon modelini geliştirmişlerdir (Von Neumann ve Morgenstern, 1944). 1953 yılında Shapley, "Shapley Değeri" olarak ifade edilen yaklaşımı keşfetmiş ve alana büyük bir katkı sağlamıştır. Sonrasında, "Shapley Değeri" ile ilgili çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. İşbirlikçi oyun teorisinde kullanılan diğer bir çözüm yöntemi olan "Banzhaf Değeri", ilk olarak Banzhaf tarafından oylama oyunlarında tanımlanmıştır (Banzhaf, 1965). "Banzhaf Değeri" her oyuncunun koalisyona katılma olasılıklarını eşit olarak kabul ederken (Li vd., 2008; Álvarez-Mozos ve Tejada, 2015; Saavedra-Nieves ve Fiestras-Janeiro, 2021), "Shapley Değeri" her oyuncunun her boyuttaki koalisyona eşit şansa katılmasını hesaba katar (Hu, 2020; Kamionko ve Marakulin, 2020; Njoya vd., 2021). Kooperatif oyunlar için kısıt kümesinin ağırlık merkezi çözümü (CIS-değeri), eşitlikçi bölünemeyen katkı değeri (ENSC-değeri) ve eşit bölme değeri (ED-değeri) 1991 yılında ortaya konmuştur (Driessen ve Funaki, 1991).

II. KOOPERATİF OYUN TEORİSİ

Bu bölümde kooperatif oyun teorisinin temel kavramları ve metodolojisi üzerinde durulacaktır. Literatürdeki çalışmalar Shapley (1953), Curiel (1997), Tijs (2003) ve Branzei vd. (2008) referansları ile desteklenecektir. Bu kaynaklar teorisinin derinlemesine anlaşılmasında ve uygulama senaryolarının kavranmasında önemli bir rol oynar. Kooperatif oyun teorisi, oyuncuların bir araya gelerek birlikte hareket etmelerini ve koalisyon yapmaları sonucunda ortaya çıkan kazanç veya maliyetlerin nasıl adil bir şekilde dağıtılacağını inceleyen bir yaklaşımı temel alır. Bu teori, oyuncuların kendi aralarında anlaşmalar yaparak koalisyonel bir yapı oluşturmalarını ve bu yapı içerisinde elde edilen toplam faydanın nasıl optimal bir şekilde bölüşüleceğini modellemektedir. Toplam faydanın optimal olarak bölünmesini tesis eden karakteristik fonksiyon, bu modelin merkezinde yer alır ve oyuncu kümesinin her bir alt kümesi için potansiyel kazanç ya da maliyetleri belirler.

Tanım 1 (Kooperatif Oyun): n -kişilik bir kooperatif oyun $\langle N, v \rangle$ ikilisinden oluşur. Burada $N = \{1, \dots, n\}$ oyuncu kümesi $v: 2^N \rightarrow \mathbb{R}$ karakteristik fonksiyondur. Karakteristik fonksiyon $\forall S \subset N$ koalisyonunu bir reel sayıya götürür yani $\forall S \in 2^N$ için $v(S)$ koalisyonunun değerini belirtir ve $v(\emptyset) = 0$ olarak tanımlıdır.

Tanım 2 (Maliyet Kurtarma Oyunu): $\forall S \in 2^N$ için $\langle N, v \rangle$ oyunu $v(S) = \sum_{i \in S} c(i) - c(S)$ olarak tanımlayalım. $v \in G^N$ oyununa $c \in G^N$ maliyet oyununun maliyet kurtarma oyunu denir.

Kooperatif oyun teorisinde, oluşturulan tüm koalisyonlar sonrasında elde edilen kazanç veya maliyetin nasıl paylaşılacağı anahtar bir sorundur. Bu soruna yönelik çözüm kavramları arasında, von Neumann tarafından 1928'de geliştirilen "von Neumann çözümü", 1944 yılında von Neumann tarafından ortaya konulan "kararlı kümeler" ve Shapley tarafından 1953'te tanımlanan "Shapley değeri" bulunmaktadır (von Neumann, 1928; von Neumann, 1944; Shapley, 1953). Bu çözüm kavramları, kooperatif oyun teorisindeki ödeme vektörleri olarak ifade edilen $x = (x_i) \in \mathbb{R}^N$ formundaki çözümleri temsil eder. Bu tanımlar, teorisinin nasıl işlediğini ve çeşitli koalisyon senaryolarında kazançların adil bir şekilde nasıl dağıtılacağını anlamamıza yardımcı olur.

Tanım 3 (Marjinal Katkı): $v \in G^N$ ve $\sigma \in \pi(N)$ olsun. $m^\sigma(v) \in \mathbb{R}^N$ marjinal katkı vektörü, $\forall i \in N$ için, $m_i^\sigma(v) := v(P^\sigma(i) \cup \{i\}) - v(P^\sigma(i))$ ile gösterilir.

Tanım 4 (Shapley Değeri): $v \in G^N$ oyununun Shapley değeri olan $\Phi(v)$, bir oyunun marjinal vektörlerinin ortalamasıdır. Yani, $\Phi(v) := \frac{1}{n!} \sum_{\sigma \in \pi(N)} m^\sigma(v)$ dir.

Bu denkleme bakarak, Shapley değerinin olasılık yorumunu yapabilir. $\pi(N)$ 'nin elemanlarının içinde olduğu bir torbadan bir permütasyonu $\frac{1}{n!}$ olasılıkla çekebilir. O zaman, oyuncular odaya σ permütasyonu sırasında bir bir girer ve her oyuncu odaya marjinal katkısını verir. Shapley değeri $\Phi(v) = \frac{1}{n!} \sum_{\sigma \in \pi(N)} (v(P^\sigma(i) \cup \{i\}) - v(P^\sigma(i)))$ formülü ile de ifade edilir.

Tanım 5 (Banzhaf Değeri): 1965 yılında Banzhaf tarafından bulunmuştur. $\beta(v)$ ile gösterilir. $\forall i \in N$ ve $v \in G^N$ için $\beta: G^N \rightarrow I(\mathbb{R}^N)$ olmak üzere $\beta_i(v) = \frac{1}{2^{|N|-1}} \sum_{i \in S} v(S) - v(S \setminus \{i\})$ ile tanımlanır.

Tanım 6 (Kısıt kümesinin ağırlık merkezi çözümü): CIS değeri 1991 yılında Driessen ve Funaki tarafından bulunmuştur. $\forall v \in G^N$, $\forall i \in N$ için $CIS: G^N \rightarrow I(\mathbb{R}^N)$ olmak üzere $CIS_i(v) = v(\{i\}) + \frac{1}{|N|} (v(N) - \sum_{j \in N} v(\{j\}))$ olarak tanımlanır.

Tanım 7 (Eşitlikçi Bölünemeyen katkı değeri): ENSC değeri 1991 yılında Driessen ve Funaki tarafından bulunmuştur. Bu değer CIS değerinin duali olarak tanımlanır. Yani $\forall v, v^* \in G^N$ ve v^*, v nin dual oyunu olsun. $ENSC(v) = CIS(v^*)$ olur.

v^*, v nin duali olsun. Bu durumda $v, v^* \in G^N$ ve $\forall S \in 2^N$ için, $v^*(S) = v(N \setminus S)$ dir.

Önerme: $\forall S \in 2^N$ için $ENSC: G^N \rightarrow I(\mathbb{R}^N)$ olup $\forall i \in N$ için $ENSC_i(v) = -v(N \setminus \{i\}) + \frac{1}{|N|} (v(N) + \sum_{j \in N} v(N \setminus \{j\}))$ olur.

Tanım 8 (Eşit Dağıtım Değeri): ED değeri oyunculara büyük koalisyonu eşit olarak paylaştıran aralık ED değeri $\forall i \in N$ için, $ED: G^N \rightarrow (\mathbb{R})^N$ için $ED_i(v) = \frac{1}{|N|} v(N)$ olarak tanımlanır.

III. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİYLE MÜCADELEDEKİ İŞBİRLİĞİ VE MALİYET DAĞILIM OYUNU

Oyun teorisi, karşılıklı etkileşimde bulunan birden fazla tarafın karar alma süreçlerini incelerken, bu süreçleri basit bir modelle özetleyerek anlaşılmasını kolaylaştırır (Bauso, 2016). Bu alanda, Mahkumlar ikilemi gibi idealize oyunlar ile Nash dengesi, kooperatif oyunlar, sıfır toplamlı oyunlar ve daha birçok farklı oyun türü üzerinden birçok kavramı ele alır. Bu oyunlar hem simetrik hem de asimetrik yapıları, sonsuz oyun süreçleri, eş zamanlı hamleler ve tam ya da eksik bilgi durumları gibi çeşitli özellikler barındırır (Yılmaz, 2009; Karabacak, 2018). Çalışmanın bu bölümü iklim değişikliği, küresel ısınma ve sürdürülebilirlik gibi alanlardaki çevresel sorunların azaltılmasına odaklanarak oyun teorisinin bu küresel meselelere nasıl uygulanabileceğini maliyet dağılımı perspektifinde gözler önüne serer.

Oyun kurarken oyunun türünü, oyuncuların stratejilerini ve bu stratejilerin sonuçlarını öngören varsayımlar önemlidir (Bencheckroun ve Van Long, 2014). Bu bağlamda iklim değişikliğiyle mücadeledeki işbirliği ve maliyet dağılımı oyunu, sürdürülebilir sonuçlar doğrultusunda araştırma ve geliştirmeyi yönlendirme potansiyeline sahip kararlar, kayıplar ve değer değiş-tokuşlarını analiz ederek bu potansiyeli ilk 100 megaton emisyon azaltımı için ton başına marjinal maliyetin gayri safi yurtiçi hasılanın yüzde olarak yıllık maliyetine göre ortaya koyacaktır (Chander, 2018). Çünkü kooperatif oyun teorisi çerçevesinde bir model ile farklı ülkelerin iklim değişikliğiyle mücadeledeki işbirliği ve maliyet dağılımını analiz etmek mümkün olabilir. Bu her ülkenin ortak bir çevresel hedefe ulaşmak için ne kadar katkıda bulunması gerektiğini ve karşılığında ne kadar yük taşıması gerektiğini belirlemeye yardımcı olabilir. Bunuda bu çalışmada kooperatif oyun teorisi literatürdeki Shapley (1953), Curiel (1997), Tijs (2003) ve Branzei vd. (2008) referansları ile oluşturulan çıktılar oluşturulup, sonuçları kullanılarak politikaların geliştirilmesinde paydaş davranışlarını ve değerlerini daha iyi anlama ve sürdürülebilirliği artırma yönünde stratejiler sonuçlar kısmında sunulacaktır.

Kooperatif oyun teorisi çerçevesinde kurulacak modelde ele alınan 3 ülke $N=\{1,2,3\}$ kümesi ile gösterilecektir. Bu üç farklı ülkenin iklim değişikliğiyle mücadeledeki işbirliği ve maliyet kurtarma analizinde $\forall S \in 2^N$ için $\langle N, v \rangle$ oyunu $v(S) = \sum_{i \in S} c(\{i\}) - c(S)$ olarak tanımlanmış ve $v \in G^N$ oyununda $c \in G^N$ dir.

Bu modele ait oyunun ve maliyet kurtarma oyununun koalisyon değerleri Tablo 1 de verilmiştir. Bu çalışmada maliyet kurtarma oyununa ait çözüm yöntemlerine bakacağız.

Tablo 1: Karakteristik fonksiyonların gösterimi

S	\emptyset	$\{1\}$	$\{2\}$	$\{3\}$	$\{1,2\}$	$\{1,3\}$	$\{2,3\}$	$\{1,2,3\}$
$c(S)$	0	9.23	28.57	25	19.26	17.41	26.79	21.22
$v(S)$	0	0	0	0	18.54	16.82	26.78	41.58

Shapley değeri hesabı için gerekli olan marjinal katkı vektörleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2: Marjinal vektörler

σ	$m_1^\sigma(v)$	$m_2^\sigma(v)$	$m_3^\sigma(v)$
$\sigma_1=(1,2,3)$	0	18.54	23.04
$\sigma_2=(1,3,2)$	0	16.82	24.76
$\sigma_3=(2,1,3)$	18.54	0	23.04
$\sigma_4=(2,3,1)$	26.78	0	14.8
$\sigma_5=(3,1,2)$	16.82	24.76	0
$\sigma_6=(3,2,1)$	14.8	26.78	0

Bu oyuna ait Shapley değeri marjinallerinin ortalaması olup,

$$\begin{aligned}\Phi(v) &= \frac{1}{3!} \sum_{\sigma \in \pi(3)} m^\sigma(v) \\ &= \frac{1}{6} (76.94, 86.9, 85.64) \\ &= (12.82\bar{3}, 14.48\bar{3}, 14.27\bar{3}) \text{ olarak bulunur.}\end{aligned}$$

Banzhaf değeri,

$$\begin{aligned}\beta_i(v) &= \frac{1}{2^{|N|-1}} \sum_{i \in S} (v(S) - v(S \setminus \{i\})) \\ \beta_1(v) &= \frac{1}{2^2} \sum_{1 \in S} (v(S) - v(S \setminus \{1\})) \\ &= \frac{1}{2^2} (v(\{1\}) - v(\emptyset) + v(\{1,2\}) - v(\{2\}) + v(\{1,3\}) - v(\{3\}) + v(\{1,2,3\}) - v(\{2,3\})) \\ &= 12.54 \\ \beta_2(v) &= \frac{1}{2^2} \sum_{2 \in S} (v(S) - v(S \setminus \{2\})) \\ &= \frac{1}{2^2} (v(\{2\}) - v(\emptyset) + v(\{1,2\}) - v(\{1\}) + v(\{2,3\}) - v(\{3\}) + v(\{1,2,3\}) - v(\{1,3\})) \\ &= 17.52 \\ \beta_3(v) &= \frac{1}{2^2} \sum_{3 \in S} (v(S) - v(S \setminus \{3\})) \\ &= \frac{1}{2^2} (v(\{3\}) - v(\emptyset) + v(\{1,3\}) - v(\{1\}) + v(\{2,3\}) - v(\{2\}) + v(\{1,2,3\}) - v(\{1,2\})) \\ &= 16.66 \\ \beta(v) &= (12.54, 17.52, 16.66) \text{ olarak bulunur.}\end{aligned}$$

CIS değeri,

$$\begin{aligned}CIS_i(v) &= v(\{i\}) + \frac{1}{|N|} (v(N) - \sum_{j \in N} v(\{j\})) \\ CIS_1(v) &= v(\{1\}) + \frac{1}{3} (v(\{1,2,3\}) - (v(\{1\}) + v(\{2\}) + v(\{3\}))) \\ &= 13.86 \\ CIS_2(v) &= v(\{2\}) + \frac{1}{3} (v(\{1,2,3\}) - (v(\{1\}) + v(\{2\}) + v(\{3\}))) \\ &= 13.86 \\ CIS_3(v) &= v(\{3\}) + \frac{1}{3} (v(\{1,2,3\}) - (v(\{1\}) + v(\{2\}) + v(\{3\}))) \\ &= 13.86 \\ CIS(v) &= (13.86, 13.86, 13.86) \text{ olarak bulunur.}\end{aligned}$$

ENSC değeri,

$$ENSC_i(v) = -v(N \setminus \{i\}) + \frac{1}{|N|} (v(N) + \sum_{j \in N} v(N \setminus \{j\}))$$

$$ENSC_1(v) = -v(\{2,3\}) + \frac{1}{3}(v(\{1,2,3\}) + v(\{1,2\}) + v(\{1,3\}) + v(\{2,3\}))$$

$$= 7.79\bar{3}$$

$$ENSC_2(v) = -v(\{1,3\}) + \frac{1}{3}(v(\{1,2,3\}) + v(\{1,2\}) + v(\{1,3\}) + v(\{2,3\}))$$

$$= 17.75\bar{3}$$

$$ENSC_3(v) = -v(\{1,2\}) + \frac{1}{3}(v(\{1,2,3\}) + v(\{1,2\}) + v(\{1,3\}) + v(\{2,3\}))$$

$$= 16.0\bar{3}$$

$ENSC(v) = (7.79\bar{3}, 17.75\bar{3}, 16.0\bar{3})$ olarak bulunur.

ED değeri,

$$ED_i(v) = \frac{1}{|N|} v(N)$$

$$ED_1(v) = \frac{1}{3} v(\{1,2,3\}) = 13.86$$

$$ED_2(v) = \frac{1}{3} v(\{1,2,3\}) = 13.86$$

$$ED_3(v) = \frac{1}{3} v(\{1,2,3\}) = 13.86 \text{ bulunur.}$$

$ED(v) = (13.86, 13.86, 13.86)$ olarak bulunur.

İklim değişikliğiyle mücadele modeline ait tüm çözümler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: İklim değişikliğiyle mücadeledeki işbirliği ve maliyet dağılımı oyunu modeline ait çözüm sonuçları

Çözümler	1	2	3
Shapley değeri	12.82 $\bar{3}$	14.48 $\bar{3}$	14.27 $\bar{3}$
Banzhaf değeri	12.54	17.52	16.66
CIS değeri	13.86	13.86	13.86
ENSC değeri	7.79 $\bar{3}$	17.75 $\bar{3}$	16.0 $\bar{3}$
ED değeri	13.86	13.86	13.86

IV. SONUÇLAR

Bu çalışma, oyun teorisi çerçevesinde kooperatif çözümlerin küresel iklim değişikliğiyle mücadelede nasıl bir potansiyel taşıdığını ve bu yaklaşımların çeşitli ulusal ve uluslararası politikalarla nasıl entegre edilebileceğini detaylı bir şekilde ele almıştır. Kooperatif oyun teorisinin temelinde yatan oyuncuların ortak menfaatleri doğrultusunda en efektif stratejileri belirleme amacı, çevresel politikaların şekillendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda Shapley değeri, Banzhaf değeri CIS değeri, ENSC değeri ve ED değerine gibi kooperatif oyun teorisi kavramları, maliyetlerin ve faydaların adaletli bir şekilde dağıtılmasını sağlayarak çevresel sorunlara karşı koymada etkili stratejiler sunmaktadır.

Çalışmanın bulgularına göre Shapley değeri, Banzhaf değeri, CIS değeri, ENSC değeri ve ED değerine ait sonuçlar birbirine yakındır. Shapley değeri, CIS değeri, ENSC değeri ve ED değeri verimlilik, koalisyonal bağımsızlık ve bireysel bağımsızlık sağlanmaktadır. Shapley değeri, her bir oyuncunun koalisyona içindeki marjinal katkısını dikkate alarak maliyet ve faydaların dağılımını önermektedir. Bu durum özellikle sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi global hedeflere yönelik uluslararası işbirliklerinde, her ülkenin çevresel hedeflere ulaşmada üstlendiği rolün ve karşılaştığı maliyetin objektif bir değerlendirmesini sağlamaktadır. Öte yandan, Banzhaf değeri ise verimlilik şartını sağlamamakta ve

oyuncuların koalisyona katılımının eşit olasılıkla değerlendirildiği bir model sunarak daha geniş çapta politik ve ekonomik dengeleri gözetmektedir. CIS değeri, tüm örnekler için 13.86 olarak sabit kalmaktadır. Bu, farklı koalisyon yapılarının olası tüm katkıları eşit olarak değerlendirdiğini ve buna göre bir ağırlık merkezi oluşturduğunu gösterir. İklim değişikliği mücadelesinde bu, farklı ülkelerin veya aktörlerin sunduğu katkıların eşit derecede önemli olduğu ve her bir koalisyon yapılanmasının benzer bir ağırlığa sahip olduğu anlamına gelebilir. CIS değeri, mücadelede tüm tarafların katkısının eşit derecede değerli olduğu herhangi bir ülkenin veya grubun diğerlerinden daha fazla sorumluluk üstlenmediği bir durumu ifade eder. ENSC değeri, örnekler arasında farklılık göstermektedir. 1, ülke en düşük (7.79), 2. ülke en yüksek (17.75) değerlere sahiptir. Bu, iklim değişikliğiyle mücadelede bazı katkıların doğrudan ölçülemeyen yönlerinin (teknoloji transferi, bilgi paylaşımı gibi) bazı durumlarda daha fazla önem kazandığını gösterir. Özellikle 2. ülke yüksek ENSC değeri, o durumda bazı katkıların çok daha değerli olduğu belki de bazı kritik teknolojilerin veya bilgilerin paylaşıldığı bir senaryoyu işaret edebilir. ED değeri tüm örnekler için sabit olarak 13.86 görülmektedir. Bu iklim değişikliğiyle mücadele çabalarının maliyetlerinin tüm oyuncular arasında eşit olarak bölüştürüldüğü bir durumu temsil eder. ED değeri, her ülkenin veya grubun mücadeleye eşit oranda katkıda bulunmasını ve maliyetleri eşit olarak üstlenmesini önerir. Bu yaklaşım, özellikle uluslararası işbirliğini ve adil katkıyı teşvik etmeye yardımcı olabilir.

Bu değerlendirme yöntemleri, karbon emisyonlarını azaltma, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırma ve iklim değişikliğiyle mücadelede finansal kaynakların etkin kullanımı gibi konularda politika yapımcılar için yol gösterici olacaktır. Çalışmada literatürde incelenen G7 ve E7 ülkeleri örneğinde yeşil finansman mekanizmalarının uygulanması kooperatif oyun teorisi çerçevesinde değerlendirildiğinde, bu ülkelerin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarında önemli bir ivme kazandırdığı gözlemlenmiştir.

Diğer yandan, kooperatif oyun teorisinin pratik uygulamalarının, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi kompleks çevresel sorunlar karşısında yeterince hızlı ve kapsayıcı olup olmadığı konusu tartışmaya açıktır. Çalışmamız, bu teorisinin uygulanabilirliği ve etkinliği konusunda çeşitli senaryoları analiz ederek, bazı kısıtlılıkları ve zorlukları da ortaya koymuştur. Özellikle, uluslararası politik farklılıklar ve ekonomik çıkar çatışmaları, kooperatif çözümlerin uygulanmasını zorlaştıran önemli faktörler arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, kooperatif oyun teorisi, küresel çapta çevresel sorunların üstesinden gelinmesi için stratejik bir araç olarak değerli potansiyele sahiptir. Ancak, bu teorisinin tam anlamıyla işlevsel olabilmesi için uluslararası işbirliğinin güçlendirilmesi, politik ve ekonomik istikrarın sağlanması ve teknolojik yeniliklerin entegrasyonu gibi çeşitli destekleyici faktörlerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, kooperatif oyun teorisinin çevresel politikaların şekillendirilmesinde nasıl bir rol oynayabileceğine dair bir çerçeve sunmaktadır ve bu çerçeve, ilerleyen çalışmalar için bir temel teşkil etmektedir. Bu alandaki ilerlemeler, global düzeyde sürdürülebilirlik ve ekolojik dengenin sağlanmasında kritik öneme sahip olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ayres, R. (2016). Energy, complexity and wealth maximization. *The Front. Collect.* <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30545>.
- Álvarez-Mozos, M. ve Tejada, O. (2015). The Banzhaf value in the presence of externalities. *Social Choice and Welfare*, 44, 781-805.
- Banzhaf, J.F., (1965). Weighted Voting Doesn.t Work: A Mathematical Analysis. *Rutgers University Law Review*, 19, 317-343.
- Bauso, D. (2016). Game theory with engineering applications. *Society for industrial and applied mathematics*.
- Benckekroun, H. ve Van Long, N. (2014). Do increases in risk mitigate the tragedy of the commons?. *Strategic Behavior and the Environment*, 4(1), 1-14.
- Branzei, R., Dimitrov, D., Tijs, S., (2008). *Models in Cooperative Game Theory*. Springer-Verlag, 204p, Berlin.
- Brown, P.G. ve Timmerman, P. (Eds.) (2015). *Ecological Economics for the Anthropocene: an Emerging Paradigm*. Columbia University Press, New York. <https://doi.org/10.7312/brow17342>.
- Chander, P. (2018). *Game theory and climate change*. Columbia University Press.
- Collins, B. C. ve Kumral, M. (2020). Game theory for analyzing and improving environmental management in the mining industry. *Resources Policy*, 69, 101860.
- Curiel, I., (1997). *Cooperative Game Theory and Applications*. Springer-Verlag, 194p, USA.

- Daly, H.E. ve Farley, J.C. (2010). *Ecological Economics: Principles and Applications*, second ed. Island Press, Washington, DC.
- Driessen, T.S.H. ve Funaki, Y., (1991). Coincidence of and collinearity between game-theoretic solutions. *OR Spectrum*, 13(1), 15-30.
- Fu, H. Z. ve Waltman, L. (2022). A large-scale bibliometric analysis of global climate change research between 2001 and 2018. *Climatic Change*, 170(3), 36.
- Hase, V., Mahl, D., Schäfer, M. S., & Keller, T. R. (2021). Climate change in news media across the globe: An automated analysis of issue attention and themes in climate change coverage in 10 countries (2006–2018). *Global Environmental Change*, 70, 102353.
- Heede, R., (2019). Accounting for carbon and methane emissions, Top Twenty investor-owned and state-owned oil, gas, and coal companies. <http://climateaccountability.org/carbonmajors.html> (accessed 12.11.19), 1965-2017.
- Heede, R., (2014). Tracing anthropogenic carbon dioxide and methane emissions to fossil fuel and cement producers. *Clim. Change* 122, 229–241. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0986-y>, 1854-2010.
- Hu, X. (2020). The weighted Shapley-egalitarian value for cooperative games with a coalition structure. *TOP*, 28, 193-212. <https://doi.org/10.1007/s11750-019-00530-4>.
- Iacobuta, G., Dubash, N. K., Upadhyaya, P., Deribe, M., & Höhne, N. (2018). National climate change mitigation legislation, strategy and targets: a global update. *Climate policy*, 18(9), 1114-1132.
- Li, S., Li, X., & Zhang, Q. (2008). The Banzhaf interaction index in game with coalition structure. 2008 Chinese Control and Decision Conference, 1196-1200. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2008.4597504>.
- Kamionko, V. ve Marakulin, V. (2020). Shapley's Value and Its Axiomatization in Games with Prior Probabilities of Coalition Formation. *Game Theory & Bargaining Theory eJournal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3524864>.
- Karabacak, H. (2018). *Yeni Başlayanlar İçin Oyun Teorisi*. Seçkin Yayınları.
- Njoya, D., Moyouwou, I., & Andjiga, N. (2021). The equal-surplus Shapley value for chance-constrained games on finite sample spaces. *Mathematical Methods of Operations Research*, 93, 463 - 499. <https://doi.org/10.1007/s00186-021-00738-w>.
- Opoku, S. K., Filho, W. L., Hubert, F., & Adejumo, O. (2021). Climate change and health preparedness in Africa: analysing trends in six African countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4672.
- Saavedra-Nieves, A., & Fiestras-Janeiro, M. G. (2021). Sampling methods to estimate the Banzhaf–Owen value. *Annals of Operations Research*, 301(1), 199-223.
- Shapley, L.S., (1953). A value for n-person games. *Annals of Mathematics Studies*, 28, 307-317.
- Sathaye, J. A., Dixon, R. K., & Rosenzweig, C. (1997). Climate change country studies. *Applied Energy*, 56(3-4), 225-235.
- Schmidt, A., Ivanova, A., & Schäfer, M. S. (2013). Media attention for climate change around the world: A comparative analysis of newspaper coverage in 27 countries. *Global Environmental Change*, 23(5), 1233-1248.
- Smith, J. B., & Lazo, J. K. (2001). A summary of climate change impact assessments from the US Country Studies Program. *Climatic Change*, 50(1), 1-29.
- Sisco, M., Pianta, S., Weber, E., & Bosetti, V. (2021). Global climate marches sharply raise attention to climate change: Analysis of climate search behavior in 46 countries. *Journal of Environmental Psychology*, 101596. <https://doi.org/10.1016/J.JENVP.2021.101596>.
- Şahin, S. ve Ercan, E., (2012). Oyun teorisinin gelişimi ve günümüz iktisat paradigmasının oluşumuna etkileri. *Hukuk ve İktisat Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 265-274.
- Tijs, S. H. (2003). *Introduction to game theory*. India: SIAM Hindustan Book Agency
- von Neumann, J., (1928). Zur theorie der gesellschaftsspiele. *Mathematische Annalen*, 100(1), 295-320.
- von Neumann, J., Morgenstern, O., (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, 776p, Princeton.
- Wu, W., Ma, X., Zhang, Y., Li, W., & Wang, Y. (2019). A novel conformable fractional non-homogeneous grey model for forecasting carbon dioxide emissions of BRICS countries.. *The Science of the total environment*, 707, 135447 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135447>.
- Wu, X., Sadiq, M., Chien, F., Ngo, Q., Nguyen, A., & Trinh, T. (2021). Testing role of green financing on climate change mitigation: Evidences from G7 and E7 countries. *Environmental Science and Pollution Research International*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15023-w>.
- Yılmaz, E. (2009). *Oyun teorisi*. Literatür Yayıncılık.