



Geliş/Received: 08/08/2024
Kabul/Accepted: 06/11/2024
Araştırma Makalesi / Research Article

ISSN: 2547-9725

DÖNGÜSEL EKONOMİ: ENTROPI VE CRITIC YÖNTEMLERİ İLE AMPİRİK BULGULAR

Taner AKÇACI*

Okan GÜLEÇ**

Öz

Sanayi Devrimi'nden sonra kitlesel üretimin hızla artması, kaynak ve hammadde kullanımının da artmasına sebep olmuştur. Kaynak ve hammadde tüketimindeki bu hızlı artış atıkların artmasına, çevre kirliliğine ve biyoçeşitliliğin tehlikeye girmesine yol açmıştır. Bu çalışmada, Avrupa Birliği'nin (AB) bu sorunlara çözüm bulabilmek adına yürürlüğe koyduğu döngüsel ekonomi uygulamaları ve bu uygulamaların sonucu olarak döngüsel ekonomi performansları araştırılmıştır. 23 AB ülkesinin döngüsel ekonomiye uygun olarak gerçekleştirdiği eylemlerin sonucu olarak ortaya çıkan 7 farklı veri ENTROPI ve CRITIC yöntemleri ile test edilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler EUROSTAT'tan elde edilmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden kriterleri ağırlıklandırmada kullanılan bu yöntemler, ülkelerin performans sıralaması için MAIRCA tekniğiyle desteklenmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre, döngüsel ekonomi kapsamında Hollanda en başarılı ülke olurken, Bulgaristan, Lüksemburg ve Romanya en kötü performans gösteren ülkeler olmuşlardır. AB'nin kurucu ülkeleri sonradan katılan ülkelere nazaran daha iyi performans gösterirken, kurucu ülkelerden olup kötü performans gösteren tek ülke Lüksemburg'dur. Ülkelere, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler açısından bakıldığında ise Danimarka birçok gelişmekte olan ülkeye göre daha kötü performans sergilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Ekonomi, ENTROPI, CRITIC, Avrupa Birliği.

JEL Kodu: E23, O13, O52, Q56

Circular Economy: Empirical Findings With ENTROPI and CRITIC Methods

* Prof.Dr.,Gaziantep Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, akcaci@gantep.edu.tr,ORCID: 0000-0002-5343-0894

** Arş.Gör (Sorumlu Yazar), Gaziantep Üniversitesi, İslahiye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, ogulec@gantep.edu.tr, ORCID: 0009-0000-5936-4720

Abstract

The rapid increase in mass production after the Industrial Revolution has led to an increase in the use of resources and raw materials. This rapid increase in the consumption of resources and raw materials has led to an increase in waste, environmental pollution and endangerment of biodiversity. In this study, the circular economy practices put into effect by the European Union (EU) in order to find solutions to these problems and the circular economy performances as a result of these practices were investigated. 7 different data resulting from the actions taken by 23 EU countries in accordance with the circular economy were tested with ENTROPY and CRITIC methods. These data are obtained from EUROSTAT. These methods, which are used to weight the criteria from multi-criteria decision-making methods, are supported by the MAIRCA technique for the performance ranking of countries. According to the results, the Netherlands was the most successful country, while Bulgaria, Luxembourg and Romania were the worst performing countries. While the founder countries of the EU performed better than the countries that joined later, Luxembourg is the only country among the founder countries that performed poorly. In terms of countries, developed and developing countries, Denmark performed worse than many developing countries.

Keywords: *Circular Economy, ENTROPY, CRITIC, Europe Union*

JEL Codes: *E23, O13, O52, Q56*

1. GİRİŞ

1700'lü yılların ortalarında İngiltere'de başlayan Sanayi devrimi makineleşmenin başladığı ve üretim teknolojileri açısından büyük bir ilerlemenin gerçekleştiği bir dönemdir. Elle üretimin yerini makinelerin alması, önemli bir değişimi de birlikte getirmiştir. El işçilerinin günlerce emek harcayarak yaptığı üretimi saatler içinde yapan makineler kitlesel üretimin başlangıcına kapı açmıştır. Kitlesel üretimin hızla artması, Sanayi Devrimi'nden sonraki yüzyıllarda göz ardı edilen bazı sorunları, son yıllarda daha büyük ve tehdit oluşturacak düzeyde karşımıza çıkarmıştır. Sanayi Devrimi'yle ekonomilerin temeli haline gelen doğrusal ekonomi modelinin sebep olduğu bu sorunlar, doğal kaynakların hızla azalması ve çevre kirliliğidir.

Doğrusal ekonomi modeliyle üretilen, tüketime sunulan ardından atık haline gelen ürünler, zamanla doğa ve

biyoçeşitlilik için tehdit haline gelmiştir. Bu modelin gittikçe tehlikeli hale gelmesi, yeni bir üretim modelinin gerekliliğini öne çıkarmıştır. Bu model, döngüsel ekonomi modelidir. Döngüsel ekonomi modeli, doğal kaynak kullanımının minimuma, atıkların geri dönüşümünü maksimuma çıkararak, doğal kaynakların, çevre kirliliğinin ve biyoçeşitliliğin azalmasını önlemeyi amaçlamaktadır. Avrupa Birliği, bu bağlamda ilki Avrupa Komisyonu tarafından 2015 yılında hazırlanan Döngüsel Ekonomi Eylem Planı ile döngüsel ekonomiye ilişkin ilk somut adımı atmıştır. Döngüsel ekonominin bir an önce tam anlamıyla hayata geçirilmesinin gerekliliği bilinse de ülkelerin bu sisteme geçişi kolay olmayacaktır. Döngüsel ekonomiye geçiş için hazırlanan eylem planları, anlaşmalar ve diğer çalışmalar önemli bir zemin oluştursa da ülkelerin uzun yıllardır süren ekonomik işleyişini kısa sürede değiştirmeleri kolay mümkün gözükmemektedir. Bu yüzden döngüsel ekonomiye geçişte yapısal engeller geçiş sürecini yavaşlatmaktadır.

AB'nin döngüsel ekonomiye geçişe dair ilk somut adımları 2014 ve 2015 yıllarında hazırladığı döngüsel ekonomi paketleri olsa da, 2008 yılında yaşam döngüsü düşüncesinin ortaya atıldığı AB Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim Eylem Planı döngüsel ekonomi planlarının öncüsü olarak ele alınabilir (Völker vd., 2020:108). Döngüsel ekonominin önemi anlaşılmasına rağmen, dünyanın yalnızca %9'u döngüsel ekonomi sistemi içinde ve bunun %20'sini Avrupa, %2'sini Çin oluşturmaktadır (Hartley, vd., 2020:1). 2015 yılında Avrupa Komisyonu tarafından ilki kabul edilen döngüsel ekonomi eylem planı, üretim, tüketim, ikincil hammadde pazarı ve atık yönetimini kapsayarak tüm yaşam döngüsünü ele alan mevzuatlar ve uygulamalar önerilmiş, 2019 yılında ilk eylem planının sonuçları rapor edilmiştir (EC, 2019).

Bu çalışmada AB üyesi 23 ülkenin döngüsel ekonomi sürecindeki performansları değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, performans değerlendirmesine tabi tutulan ülkelerin, çalışmaların ilk başladığı yıllardan günümüze kadar geçen sürede döngüsel ekonomi başarısını son verilerle ölçmektir. Çalışmanın, en güncel verilerin kullanılması ve iki farklı nesnel kriter ağırlıklandırma yöntemiyle elde edilen sonuçların karşılaştırılması açısından literatüre katkı sağlayacağı

düşünülmektedir. İngiltere, daha önceki dönemlerde AB üyeliğinden ayrılması ve son dönem verilerinin bulunmaması, Türkiye, yeterli veri bulunamaması ve diğer AB ülkeleri, kullanılan verilerde eksiklikler bulunması sebebiyle çalışmaya dahil edilememiştir. Performansı incelenen ülkelere ait veriler 2022 yılına ait ve EUROSTAT tarafından sağlanan verilerdir.

Çalışmada teorik çerçeve aktarıldıktan sonra literatür özetlenmiştir. Daha sonra çalışmanın veri setine, yöntemine ve bulgularına yer verilmiştir. Ülkelerin performansını değerlendirebilmek adına çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılmıştır. İlgili verilerin ENTROPİ ve CRITIC yöntemleriyle kriter ağırlıklandırması yapıldıktan sonra her iki yöntem için de MAIRCA yöntemiyle ülkelerin performansı sıralanmıştır.

2. DOĞRUSAL EKONOMİ VE DÖNGÜSEL EKONOMİNİN TEORİK ÇERÇEVESİ

Doğrusal ekonomi, al-yap-kullan-at modeline dayanan, doğal kaynakların üretimde kullanıldıktan sonra geri dönüşümünün sorun edilmediği bir sistemdir (Steffen vd., 2015). Bir ham madde ürün haline getirildikten sonra tüketicinin kullanımına sunulmakta, bu ürün kullanıldıktan sonra atık haline gelmekte ve doğaya salınmaktadır. Bu modelin en önemli eksiği, doğadaki ham maddelerin ve üretimde kullanılan enerji kaynaklarının sınırlı olduğunun hesaba katılmamış olmasıdır. Bu modeli işlemez kılan etkenler; dünya nüfusunun, kaynaklara olan talebin, sosyal ve ekonomik eşitsizliğin artması, buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişiklikleri ve dünyanın ekolojisinin bozulmasıdır (Veral, 2021:8). Doğrusal ekonomi modelinin temel prensibi, en düşük maliyetle ucuza mal üretmek, bu malı en iyi fiyata satıp karı maksimize etmektir (Önder, 2018:198).

Ekonomilerin doğrusal ekonomi temelli büyümesinin getirisi olarak dünya üzerindeki kaynakların hızla azalması, iklim değişiklikleri ve küresel ısınma etkilerinin yoğun bir şekilde hissedilmesinden sonra bu etkileri azaltmasının ve geriletilmesinin gerekliliği anlaşılmıştır. Döngüsel ekonomi kavramı ilk olarak Turner ve Pierce'in çevre ve ekonomi arasında ilişki kuran 'Sürdürülebilir Ekonomik Kalkınma' isimli

çalışmasında ortaya atılmış olup, fayda-maliyet prensibine dayanan geleneksel ekonomi paradigması, kuşaklar arası fayda prensibini oluşturacak biçimde değiştirilmiştir (Mathre vd., 2021:187).

Döngüsel ekonomi, kullanım ömrünün sonu kavramını yenileme ile değiştiren, tekrar kullanımı bozan kimyasalları ortadan kaldırmayı amaçlayan onarıcı ve yenileyici endüstriyel bir sistemdir (Ekins vd., 2019:3). Bu modelde doğrusal ekonomi modeline karşıt olarak, atık haline gelen ürünlerin, doğayı kirletmesini ve dengeyi bozmasını önlemek için geri dönüşüm yoluyla yeniden kullanımının amaçlandığı söylenebilir.

Şekil 1. Doğrusal Ekonomi ve Döngüsel Ekonomi Yalın Gösterimi



Kaynak: <https://www.envirocon.co.nz/blogs/news-blogs-envirocon/the-circular-economy-is-better-than-the-linear-economy>

Doğrusal ekonomi ve döngüsel ekonomi arasındaki en önemli ayırım şudur: Doğrusal ekonomi, son aşamaya gelindiğinde tekrar başa dönülmemesi ve işlemler tamamlandıktan sonra kullanılan hammadde ve doğal kaynakların yerine yenisinin koyulmaması, döngüsel ekonomi ise ürün atığa dönüştüğü aşamadan sonra geri dönüşüm yoluyla atığın yeniden kullanımının sağlanması yoluyla doğadan elde edilen hammadde ve kaynakların israfının önlenmesidir. Şekil 1’de yer alan “take-make-dispose” kavramı, “al-yap-at” ve “make-use-recycle” kavramı “yap-kullan-geri dönüştür” anlamlarına gelmektedir.

Döngüsel ekonomiyi açıklayabilmek adına her biri diğerinden genişletilerek 3R, 6R ve 9R kavramları türetilmiştir. 3R kavramı, reduce (azalt), reuse (yeniden kullan) ve recycle (geri dönüştür) kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuştur. Döngüsel ekonominin en temel işleyişini açıklamak adına

oluşturulan bu kavram, modeli şu şekilde ifade eder (Heshmati, 2017:256):

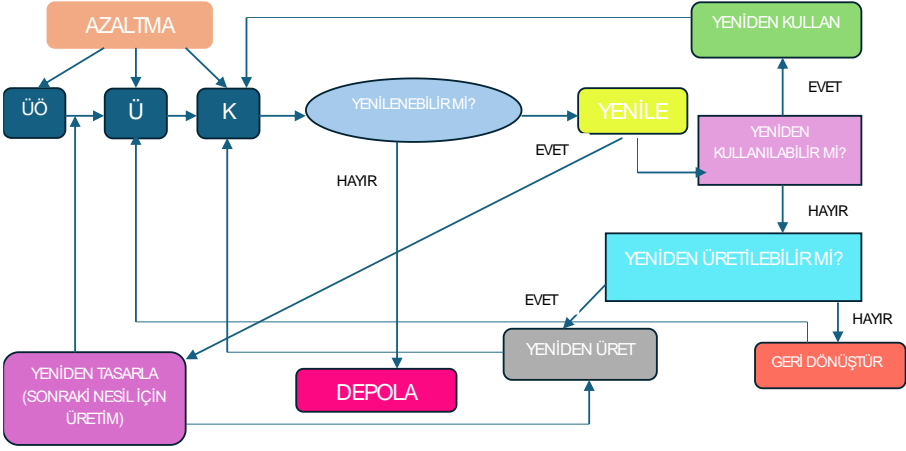
- Azaltma; üretim verimliliğindeki iyileştirmelere bağlı olarak sağlanabilecek hammadde ve birincil enerji girdilerinin en düşük düzeye indirilmesi,
- Yeniden kullanım; üretim bir aşamasında oluşan atıkların ya da yan ürünlerin başka aşamada kullanılması,
- Geri dönüşüm; kullanılmış malzemeleri geri dönüştürüp işlenmemiş malzemelerin kullanılmasını önlemektir.

3R kavramı döngüsel ekonominin önem kazanmasıyla 6R (reduce, reuse, recycle, recover, remanufacture, redesign) olarak genişletilmiş ve döngüsel ekonominin işleyişi 3R'ye eklenen 3 yeni adımla daha ayrıntılı bir şekilde şu şekilde açıklanmıştır (Jawahir & Bradley, 2016:105):

- Kurtarma (Recover); ürünün kullanım sonunda sökme, ayırma ve temizlenmesi işlemleridir,
- Yeniden tasarlama (Redesign); ürünün sonraki kullanımı için şekil olarak düzenlenmesidir,
- Yeniden üretme (Remanufacture); ürünün bir kısmını ya da parçalarını orijinal durumunu ve işlevselliğini bozmadan yenilemektir.

Şekil 2'de yer alan döngü, 6R modelinin işleyişini genel hatlarıyla açıklamaktadır. Azaltma aşamasında üretime katılan yenilenemez enerji kaynakları ve ham madde miktarı azaltılmaya çalışılır. Bu kısmı üretim öncesi (ÜÖ), üretim (Ü) ve kullanım aşamalarında gerçekleştirmek hedeflenmektedir. Eğer bir ürün kullanıldıktan sonra yenilemez durumdaysa depolanır, yenilenebilirse yenilenir. Yenilenen ürün yeniden kullanılacak durumda ise kullanılır, yeniden kullanılamayacak durumdaysa yeniden üretilip üretilmeyeceği değerlendirilir. Yeniden üretilen ürün kullanılır, yeniden üretilmeyecek durumda ise geri dönüştürülür. Geri dönüştürülen ürün, üretim aşamasına geri döner. Böylece model döngüyü tamamlayacaktır. Bunlara ek olarak, yenilenmiş bir ürün yeniden tasarlanarak, üretim öncesi aşamasına dönebilir ve üretime katılabilir.

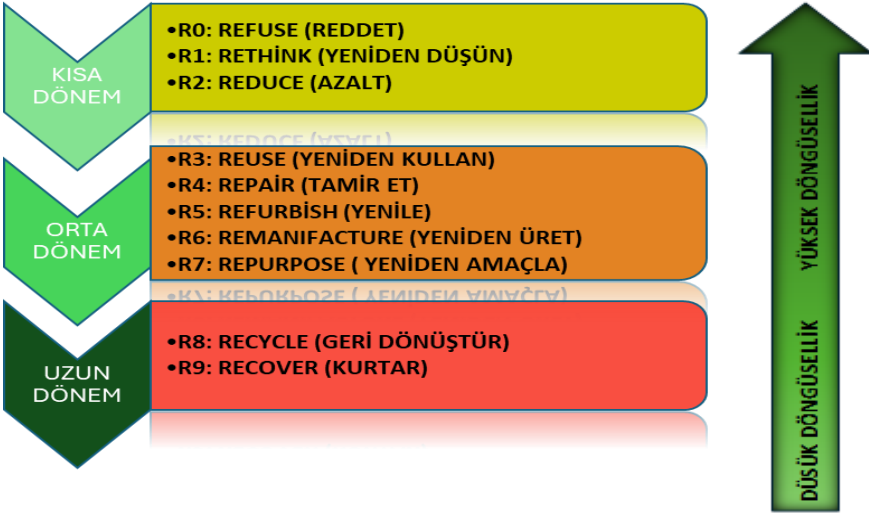
Şekil 2. 6R Modelinin İşleyişinin Genişletilmiş Gösterimi



Kaynak: Zhang X, Badurdeen F, Rouch KE, Jawahir IS. (2013).

Döngüsel ekonominin önemi arttıkça, bu konuda yapılan çalışmalar da artmaya devam etmiş ve döngüsel ekonomi modeli de geliştirilmiştir. 6R modeli, 9R modeli olarak genişletilmiş ve döngüsel ekonominin işleyişi daha da ayrıntılı bir şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.

Şekil 3. 9R Modelinin Basamakları



Kaynak: Ang, L.K, Saw, E.T, He, W, Dong, X, Ramakrishna, S. (2021).

9R modeli, 6R modelinden daha farklı tasarlanmasının yanı sıra, iki modelde de benzer aşamalar yer almaktadır. 9R modelinde yer alan yeni kavramlar; reddet (refuse), yeniden düşün (rethink), tamir et (repair), yenile (refurbish), yeniden amaçla (repurpose) basamaklarıdır. Bu basamakları şöyle ifade edebiliriz (Potting,2017:15):

- Reddet (refuse); ürünü, işlevsizleştirerek ya da aynı işlevi çok farklı bir ürünle aynı işlevi önererek gereksiz hale getirmektir,
- Yeniden düşün (rethink);ürünün kullanımını yoğunlaştırabilmek adına çok işlevli bir hale nasıl getirilebileceğini düşünmektir,
- Tamir et (repair); ürünün onarılması ya da bakımının yapılması böylece orijinal haliyle kullanılmasını sağlamaktır,
- Yenile (refurbish); ürünü güncel hale getirebilmek adına elden geçirilmesidir,
- Yeniden amaçla (repurpose); Atılan bir ürünü ya da parçalarını yeni bir üründe kullanarak yeni bir işlev kazandırmaktır.

9R modelinde yer alan döngüsellik kavramının son basamakta düşük olup, ilk basamaklarda yüksek olması; bir ürünün döngüye girdiği basamak ne kadar erkense, o ürünün döngüde değerlendirilme durumunun o kadar fazla olmasıyla alakalıdır (Türkmen & Kılıç, 2020:2547). Bir başka deyişle, bir ürün döngüye ne kadar erken girerse o kadar çok döngüde kalır ve üründen daha çok fayda sağlanır. Ürünün ilk basamaktan son basamağa kadar döngüdeki adımlardan çok geçmesi döngüsellikliğini arttırırken, ürünün daha az basamaktan geçmesi döngüsellikliğini azaltır. Döngüyü dönemsel olarak incelersek: kısa dönem, ürünün kullanıcının elinden yeni çıktığı ve işlevini büyük oranda koruduğu; orta dönem, ürünün yükseltme ya da değiştirme yoluyla tekrar tüketiciye döndüğü; uzun dönem, ürünün orijinal işlevini yitirdiği dönem olarak adlandırılabilir (Reike, vd., 2018:255).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Döngüsel ekonominin gerekliliğinin ve öneminin anlaşılması üzerine AB, 2015 yılında bu konudaki çalışmalara

resmi olarak başlanmıştır. Buna istinaden döngüsel ekonomi hakkında yapılan çalışmaların geçmişi de aynı yıllara tekabül etmektedir. Avrupa ve dünyada yapılan çalışmaların yanı sıra Türkiye’de de bu konuda çalışmalar mevcuttur. Mevcut literatür geniş olmakla birlikte, özet olarak sunulmaya çalışılmıştır.

Yong (2007), çalışmasında Çin’de döngüsel ekonomiye verilen öneme ve döngüsel ekonomiye geçiş için adanan çabaya, döngüsel ekonominin ne olduğuna ve Çin’de döngüsel ekonominin nasıl uygulanacağına ilişkin sorulara yanıt vermeye çalışmıştır. Çin’de döngüsel ekonomiye ilişkin yasaların çıkarılmasının, belirlenen politikaların sıkı bir şekilde uygulanmasının, döngüsel ekonominin geleceği açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmanın 2007 yılında yapılması ve Çin’in döngüsel ekonomiye dair adımları Avrupa’dan çok önce atmış olmasına, döngüsel ekonominin gerekliliğinin daha önce fark edildiğine işaret etmektedir.

Skrinjaric (2020), çalışmasında seçilmiş AB ülkelerinin 2010-2016 dönemine ait verilerini kullanarak döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşmanın sonuçlarına ilişkin değerlendirme yapmıştır. Gri İlişkileri Analizi ile ülkelerin performanslarının ölçümünde dikkat çeken nokta ise bölgesel farklılıklardır. Almanya, Hollanda ve Danimarka en iyi performans gösteren ülkeler olarak sıralanırken, Romanya, Yunanistan ve Kıbrıs en kötü performans gösteren ülkeler olmuştur.

Webster (2021), çalışmasında döngüsel ekonominin gelecekteki atık yönetimi ve geri dönüşüm üzerine yoğunlaşmasının ötesindeki kapsamını ve potansiyelini açıklamıştır. Üç temel unsurun çok önemli olduğunu savunarak, bunları tasarım yoluyla döngüsellik, malzeme döngüsüyle para ve finans sistemleri arasındaki ilişki ve ekonomiyi bir makine olmaktan çok iç içe geçmiş bir yaşam sistemi olarak sıralamıştır.

Yılmaz (2022), çalışmasında 28 AB üyesi ülkenin döngüsel ekonomi performansını karşılaştırabilmek adına, 2016 ve 2018 yıllarına ait verileri kullanmıştır. Veri Zarflama Analiz yöntemiyle 5 değişken kullanarak, çalışmaya dahil olan ülkelerin döngüsel ekonomide kaç tanesinin başarılı olduğunun araştırmıştır. CRR girdi yönelimli modele göre başarılı ülke sayısı 2016’da 12 iken, 2018’de 13’e çıkmıştır. BCC modeline

göre, 2016'da 14 olan başarılı ülke sayısı, 2018'de 16'ya çıkmıştır.

Corvellec vd. (2022), çalışmalarında döngüsel ekonomi ve döngüsel iş modellerine yöneltilen eleştirilere ilişkin bir açıklama yapmaya çalışmıştır. Döngüsel ekonominin teorik temellerinin belirsiz olması, sınırlarının çizilememesi ve uygulamalarındaki yapısal engeller hakkında iddialar öne sürülmüştür.

Sürmen & Çokmutlu (2022), çalışmalarında BIST'te (Borsa İstanbul) faaliyet gösteren üretim işletmelerinin 2019, 2020, 2021 yılları için döngüsel ekonomi performanslarını ölçmüşlerdir. Döngüsel ekonomi göstergeleri, işletmelerin sürdürülebilirlik raporlarından İçerik Analizi Yöntemiyle elde edilmiştir. Performans ölçümü yapılan kriterler, ENTROPI yöntemiyle ağırlıklandırılmış, ardından TOPSIS yöntemiyle sıralanmıştır.

Açıcı vd. (2023), çalışmalarında 24 AB üyesi ülkeye ait 2004-2018 yıllarına ait verileri kullanarak, döngüsel ekonomi ve yeşil büyüme göstergelerinin ekonomik büyümeye etkisi analiz edilmiştir. Analize dahil edilen değişkenlerden çevresel vergi gelirleri GSYH üzerinde olumsuz etki gösterirken, diğer değişkenler olumlu etki göstermiştir.

Seyhan (2023), çalışmasında MEREK temelli MARCOS yöntemiyle 2020 verilerini alarak 27 AB ülkesinin döngüsel ekonomi performansını üretim ve tüketim göstergeleri açısından değerlendirmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, Hollanda, Almanya ve Fransa en iyi performans gösteren ilk üç ülke olurken, Lüksemburg, Finlandiya ve Malta en kötü performans gösteren 3 ülke olmuştur.

Bu çalışmalara ek olarak, Geisendorf ve Pietrulla (2018) çalışmalarında döngüsel ekonomi hakkında literatür analizi yapmış, döngüsel ekonominin literatürde hangi başlıklarda incelediğine dikkat çekmek istemiştir. Zink ve Geyer (2017) çalışmalarında, döngüsel ekonominin mevcut sisteme entegrasyonundan doğabilecek sorunları ele almıştır. George vd. (2015), Eiroa vd. (2019), Mhatre vd. (2021) çalışmalarında döngüsel ekonomiyi teorik açıdan incelemiştir.

4. VERİ SETİ ve YÖNTEM

Çalışmada kullanılan veriler EUROSTAT'tan alınmıştır. 23 AB üyesi ülkeye ait veriler 2022 yılı verileridir. Veriler, döngüsel ekonomi başlığı altında ayrı ayrı olarak ele alınmış olup, kategorize edilmiştir.

4.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan verileri tablolarda gösterirken kullanılacak kısaltmalar Tablo 1'de gösterilmiştir. Kostatis ve Tsagarakis (2021) çalışmalarında kişi başı GSYH, eğitim, doğurganlık oranı ve çevre vergilerini bağımsız değişken, döngüsel malzeme kullanım oranını bağımlı değişken olarak analize dahil etmiştir. Sosyal belirleyicilerin döngüsellik üzerindeki etkisini araştırmak istemiştir. Seyhan (2023) çalışmasında malzeme ayak izi, tüketim ayak izi, geri dönüştürülebilir ham madde ticaretini kullanmış, 27 AB ülkesinin 2020 yılı verilerinden faydalanmıştır. MERIC ve MARCOS yöntemleri ile ülkelerin döngüsel ekonomi performanslarını ölçmek istemiştir. Bu çalışmalar dışında bu verileri ele alan çalışmalar da mevcuttur. Çalışmada bu verilerin seçilme sebebi, döngüsel ekonomiyi ticari, çevresel ve sosyal boyutuyla ele almasıdır. Döngüsel ekonomideki başarı, yalnızca ülkelerin devletler düzeyinde çalışmalar yapması ile değil toplumların da bilinçlenmesi ile sağlanabilecektir.

Tablo 1. Ükelere Ait Verilerin Kısaltılması

VERİ ADI	KISA ADI	VERİ ADI	KISA ADI
Malzeme İthalat Bağımlılığı (%)	V1	Döngüsel Malzeme Kullanım Oranı (%)	V5
Tüketim Ayak İzi Endeksi (2010=100)	V2	Kaynak Verimliliği	V6
Sera Gazı Emisyonu (Kişi başı kg)	V3	Malzeme Ayak İzi (Kişi başı Ton)	V7
"Geri Dönüştürülebilir Hammadde Ticareti (TON)	V4		

Ülkelerin döngüsel ekonomi performansını ölçerken kullanılan verileri kısaca şu şekilde açıklayabiliriz (EC, 2024):

•Malzeme ithalat bağımlılığı; ithalatın doğrudan malzeme girdilerine oranını yüzdesel olarak gösteren bu veri, bir

ekonominin malzeme gereksinimini karşılamak için ithalata olan bağımlılığıdır.

- Tüketim ayak izi; gıda, barınma, ev eşyaları, ev aletleri ve hareketliliğe ilişkin ürünlerin tüketim yoğunluğu ve çevresel etkilerini gösteren veridir.
- Sera gazı emisyonu; hanehalklarının dışında tutulduğu bu gösterge, tüm üretim etkinliklerine ilişkin sera gazlarının yayılımını gösterir.
- Geri dönüştürülebilir hammadde ticareti; AB içinde ve dışında ticareti yapılan karton, değerli metal, plastik ve kağıt vb atıkların ticaretini gösterir.
- Döngüsel malzeme kullanım oranı; geri dönüştürülen malzemenin genel malzeme toplamına oranını ifade eder.
- Kaynak verimliliği; GSYH'nin yurtiçi malzeme tüketimine bölünmesiyle elde edilir.
- Malzeme ayak izi; hanehalkları, işletmeler ya da hükümetler tarafından yatırım ve tüketimin tetiklediği malzeme ekstraksiyonlarına (biyokütle, metal cevheri, metal olmayan mineraller, fosil enerji) ilişkin dünya üzerindeki talebin ölçüsüdür.

Çalışmada performans değerlendirilmesi yapılacak olan ülkelere ait kısaltmalar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. AB Ülkelerinin İsimlerinin Kısaltılması

ÜLKE ADI	KISALTILMIŞ	ÜLKE ADI	KISALTILMIŞ
ALMANYA	DEU	PORTEKİZ	PRT
FRANSA	FRA	ÇEK CUMH.	CZE
İTALYA	ITA	SLOVAKYA	SVK
İSPANYA	ESP	SLOVENYA	SVN
DANİMARKA	DNK	HIRVATİSTAN	HRV
BELÇİKA	BEL	ROMANYA	ROU
HOLLANDA	NLD	BULGARİSTAN	BGR
LÜKSEMBURG	LUX	YUNANİSTAN	GRC
MACARİSTAN	HUN	ESTONYA	EST
İRLANDA	IRL	LETONYA	LVA
AVUSTURYA	AUT	LİTVANYA	LTU
POLONYA	POL		

4.2. Yöntem

Seçilmiş AB üyesi ülkelerin döngüsel ekonomi performanslarını ölçebilmek adına önce çok kriterli karar verme tekniklerinden kriter ağırlıklandırma kullanılan ENTROPI ve CRITIC yöntemleri ile kriterlerin ağırlıklandırması ayrı ayrı yapıldıktan sonra, MAIRCA yöntemi ile performans sıralaması yapılmıştır. İki ayrı performans sıralaması elde edilip bunların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu yöntemlerin seçilme sebebi, belirli sayıda alternatife ait birden çok değişkenin bir yılda ya da dönemdeki değerlerinin nesnel olarak incelenip, performans ölçümüne olanak sağlamasıdır.

4.2.1. ENTROPI Yöntemi

Cluade Elwood Shannon (1948) tarafından enformasyon teorisine uyarlanan ENTROPI yöntemi, ilk olarak Rudolf Clausius'un (1865) bir sistemdeki belirsizlik ve düzensizlik ölçüsü olarak tanımladığı, ilk olarak termodinamikte ortaya çıkan bir yöntemdir (Zhi-hong vd., 2006:1020). ENTROPI yöntemi, ham verileri kullanarak kriter ağırlıklandırması yapması sebebiyle uzman görüşlerine dayalı ağırlıklandırma yapan yöntemlere nazaran nesnellik açısından daha avantajlıdır (Demir & Kartal, 2020:11).

ENTROPI yöntemi ile kriter ağırlıklandırma yapılırken izlenmesi gereken yolu şu şekilde sıralayabiliriz (Xiaofei, 2022:995-996; Andreica vd., 2010:254):

Aşama 1: Kriter ağırlıklandırma işlemi yapılabilmesi adına, alternatifleri gösteren satırlar ve bu alternatiflerin kriter değerlerini gösteren sütunlardan oluşan karar matrisi eşitlik (1) ile elde edilir.

$$\mathbf{X} = (X_{ij})_{m \times n} \begin{vmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & X_{2n} \\ X_{m1} & X_{m2} & X_{mn} \end{vmatrix} \quad (1)$$

X_{ij} değerleri matriste yer alan i . Alternatifin j . Kriterinin aldığı değeri gösterir. Karar matrisinde n adet kriter, m adet alternatif vardır.

Aşama 2: Farklı ölçülerde gösterilen kriterler standardize edilerek ölçüm yaparken ortaya çıkacak hatalar önlenmiş olur. Kriterlerin fayda-maliyet ayrımı yapılır. Fayda olarak seçilen

kriter, değeri yükseldikçe, maliyet olarak seçilen kriter, değeri düştükçe daha iyi bir seçenek haline gelendir. Fayda kriteri eşitlik (2), maliyet kriteri eşitlik (3) ile standardize edilir.

$$rij = xij / maxij \quad (i = 1, \dots, m; J = 1, \dots, n) \quad (2)$$

$$rij = minij / xij \quad (i = 1, \dots, m; J = 1, \dots, n) \quad (3)$$

r: dönüştürülmüş kriter değeri, i: alternatifler, j: kriterler,

Standardize edilen değerler eşitlik (4) ile normalize edilerek normalize karar matrisi oluşturulur. Değerlerin normalize edilmesi, her değer kendi sütunundaki değerlerin toplamına bölünmesi ile sağlanır.

$$pij = \frac{rij}{\sum rij}; \quad pij: \text{normalize edilmiş kriterler} \quad (4)$$

Aşama 3: ENTROPI değerleri eşitlik (5) yardımı ile hesaplanır. ENTROPI değerleri elde edilirken kullanılan k sayısı, alternatiflerin sayısının doğal logaritmasının alınması ve bu değer 1'e bölünmesi ile elde edilir ($k = 1/\ln(m)$). Tüm değerler ile doğal logaritmaları çarpıldıktan sonra, yeni bir matris elde edilir. Elde edilen matristeki her bir sütundaki sayıların toplamı ile k sayısı çarpılarak ENTROPI değerleri elde edilir.

$$E_j = -k \cdot \sum_{i=1}^m pij \cdot \ln(pij) \quad (5)$$

Aşama 4: E_j ENTROPI değerleri 1'den çıkarılarak D_j belirsizlik değerleri eşitlik (6) ile hesaplanır.

$$D_j = 1 - E_j \quad (6)$$

Aşama 5: Son adımda kriter ağırlık değerleri olan W_j değerleri, her bir sütuna ait D_j değeri toplam D_j değerine bölünerek eşitlik (7) ile elde edilir.

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j} \quad (7)$$

4.2.2. CRITIC Yöntemi

Kriterlerin nesnel olarak ağırlıklandırılmasına imkân tanıyan, kriterlerin korelasyon katsayılarını ve standart sapmalarını kullanan CRITIC yöntemi, D. Diakoulaki vd. tarafından 1995 yılından yapılan bir çalışma ile literatüre kazandırılmıştır (Madic & Radovanovic, 2015:8).

CRITIC yöntemi ile kriter ağırlıklandırma aşamaları şu şekildedir (Krishnan vd., 2021:5-6):

Aşama 1: CRITIC yönteminde karar matrisi, ENTROPI yönteminde olduğu gibi aynı şekilde eşitlik (1) ile elde edilir.

Aşama 2: Karar matrisi normalize edilir. Kriterler fayda-maliyet özelliklerine göre sınıflandırıldıktan sonra eşitlik (8) ile fayda kriterleri, eşitlik (9) ile maliyet kriterleri normalize edilir.

$$\frac{X_{ij} - (\min)X_j}{(\max)X_j - (\min)X_j} \quad (i = 1, \dots, m; J = 1, \dots, n) \quad (8)$$

$$\frac{(\max)X_j - X_{ij}}{(\max)X_j - (\min)X_j} \quad (i = 1, \dots, m; J = 1, \dots, n) \quad (9)$$

Aşama 3: Korelasyon matrisi ve korelasyon matrisinden türetilen 1-P_{jk} matrisi elde edilir. Korelasyon matrisi kriterlerin arasındaki ilişkileri gösteren eşitlik (10) ile hesaplanan P_{jk} değerlerinden oluşur. Bu değerler 1'den çıkarılarak 1- P_{jk} matrisi elde edilir. Elde edilen bu değerler C_j zıtlık yoğunluğu değerlerinin hesaplanmasında kullanılır. Eşitlik (11) ile C_j değerleri hesaplanır. C_j değerlerinin hesaplanmasında kullanılan standart sapma değeri normalize karar matrisindeki her bir sütuna ait standart sapma değerini gösterir.

$$P_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j) - (r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 - \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (10)$$

$$C_j = \delta_j \cdot \sum_{k=1}^n (1 - P_{jk}) \quad (11)$$

(j = 1, 2, ... , n); δ: Kriterlerin standart sapması

Aşama 4: Her bir kriter için ağırlığının hesaplanabilmesi adına, kritere ait C_j değeri, toplam C_j değerine bölünerek eşitlik (12) ile hesaplanır.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n (C_k)} \quad (12)$$

4.2.3. MAIRCA Yöntemi

Alternatiflerin sıralanmasında kullanılan MAIRCA yöntemi, basit matematiksel aparat ve doğrusal normalizasyon tekniği kullanması açısından birçok farklı yöntemle göre daha karardır (Chatterjee vd., 2016:102). MAIRCA yöntemi ile alternatiflerin sıralanması şu aşamalar izlenerek yapılır (Gigovic vd., 2016:11-12):

Aşama 1: Karar matrisi eşitlik (1) ile ENTROPI ve CRITIC yöntemlerinde olduğu gibidir.

Aşama 2: Bu aşamada karar matrisi normalize edilir ve her bir kriterin seçilme olasılığı hesaplanır. Normalize karar matrisi oluşturulurken fayda-maliyet ayrımı yapılırken fayda kriterleri için eşitlik (8), maliyet kriterleri için eşitlik (9) kullanılır. Her alternatif için aynı olan seçilme olasılığı $P=1/m$ ile hesaplanır. m karar matrisinde yer alan alternatiflerin sayıdır.

Aşama 3: Teorik değerlendirme matrisi hesaplanır. Bu matrisi elde edebilmek adına kriter ağırlıkları ile alternatiflerin seçilme olasılığı çarpılır. Kriter ağırlık değerleri daha önceden nesnel ya da öznel bir yöntemle hesaplanmış kriter ağırlıklandırma değerleridir. Her alternatifin seçilme olasılığının aynı olması ve kriter ağırlıklarının her sütun için aynı olması nedeniyle her bir sütun için aynı değerler elde edilir.

Aşama 4: Bu aşamada reel değerlendirme matrisi elde edilir. Reel değerlendirme matrisini elde edebilmek adına normalize karar matrisinin her bir elemanı teorik değerlendirme matrisinin her bir sütun için hesaplanan değeri ile çarpılır.

Aşama 5: Teorik değerlendirme matrisinden reel değerlendirme matrisi değerleri çıkarılarak toplam fark ya da toplam boşluk matrisi denen matris oluşturulur. Her bir alternatif için kriter değerleri toplanarak alternatiflerin performans değeri eşitlik (13) ile elde edilir. Elde edilen en düşük değer en iyi alternatif değeridir.

$$Z_i = \sum_{j=1}^n f_{ij} \quad (13)$$

5. UYGULAMA ve BULGULAR

Her iki ağırlıklandırma yönteminde ve performans ölçümünün yapılacağı yöntemde kullanılacak olan karar

matrisi Tablo 3'te verilmiştir. Karar matrisindeki değerler ülkelerin ilgili kriterlerine ait ham verilerden oluşmaktadır.

Tablo 3. Seçilmiş AB Ülkelerine Ait Karar Matrisi

ÜLKE	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
DEU	36,5	104	7.392	4.099.411	13	2,83	14,53
FRA	36,1	107	4.860	3.394.356	19,30	3,12	12,89
ITA	46,8	103	5.432	3.184.733	18,70	3,26	12,58
ESP	42,8	116	4.925	5.676.294	7,10	2,79	9,27
DNK	36,6	117	12.372	1.748.220	7,40	2,06	30,39
BEL	74,7	108	6.821	1.518.231	22,20	3,06	16,35
NLD	82,9	105	8.228	6.967.660	27,50	4,58	6,77
LUX	89,7	134	12.091	14.674	5,20	4,32	23,67
HUN	28,80	110	5.102	379.716	7,90	1,07	14,51
IRL	33,1	90	12.040	2.220.474	1,80	3,9	15,15
AUT	40,1	107	6.064	325.513	13,80	2,4	23,5
POL	19,70	123	9.587	3.631.087	8,40	0,8	18,12
PRT	30,80	118	4.882	723.346	2,60	1,26	16,94
CZE	33	115	8.901	55.807	11,90	1,14	18,7
SVK	45,20	119	5.659	24.482	9,10	1,49	12,1
SVN	46,30	103	5.858	1.276.110	9,40	1,48	16,63
HRV	36,30	118	4.607	650.675	5,80	1,19	15,03
ROU	10,60	114	4.776	817.602	1,40	0,39	29,99
BGR	17,20	117	8.466	273.591	4,80	0,34	23,3
GRC	39,2	97	7.487	1.400.662	3,1	1,54	13,05
EST	24,50	107	10.227	26.544	16	0,69	27,39
LVA	31,5	105	4.943	572.195	5,4	0,93	19,54
LTU	35,4	108	6.966	469.386	4,1	0,79	23,21

5.1. ENTROPI Yöntemi ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

ENTROPI yöntemi ile kriter ağırlıklandırma işlemi yaparken karar matrisindeki kriterlerin fayda-maliyet dönüşümü eşitlik (2) ve eşitlik (3) ile sağlanır. V1, V2, V3 ve V7 kriterleri maliyet, V4, V5, V6 kriterleri fayda kriteri olarak belirlenmiştir. Fayda-maliyet dönüşümü sağlanan kriterler eşitlik (4) ile normalize edilir. Kriterlerin dönüşümünün sağlanması ve normalize edilmesi, farklı ölçütlere sahip olan ve karşılaştırılması yapılan değerlerin arasındaki ölçüt farklılıklarını kaldırmaktır. Normalize karar matrisi Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. ENTROPI Yöntemine Göre Normalize Karar Matrisi

ÜLKE	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
DEU	0.0382	0.0459	0.0387	0.1039	0.0575	0.0622	0.0472
FRA	0.0386	0.0446	0.0588	0.0860	0.0854	0.0686	0.0532
ITA	0.0297	0.0463	0.0526	0.0807	0.0827	0.0717	0.0546
ESP	0.0325	0.0411	0.0581	0.1438	0.0314	0.0614	0.0740
DNK	0.0380	0.0408	0.0231	0.0443	0.0327	0.0453	0.0226
BEL	0.0186	0.0442	0.0419	0.0384	0.0982	0.0673	0.0420
NLD	0.0168	0.0455	0.0347	0.1766	0.1217	0.1008	0.1014

LUX	0,0155	0,0356	0,0236	0,0003	0,0230	0,0950	0,0290
HUN	0,0484	0,0434	0,0560	0,0096	0,0349	0,0235	0,0473
IRL	0,0421	0,0530	0,0237	0,0562	0,0079	0,0858	0,0453
AUT	0,0347	0,0446	0,0471	0,0082	0,0610	0,0528	0,0292
POL	0,0707	0,0388	0,0298	0,0920	0,0371	0,0176	0,0379
PRT	0,0452	0,0404	0,0586	0,0183	0,0115	0,0277	0,0405
CZE	0,0422	0,0415	0,0321	0,0014	0,0526	0,0250	0,0367
SVK	0,0308	0,0401	0,0505	0,0006	0,0402	0,0328	0,0567
SVN	0,0301	0,0463	0,0488	0,0323	0,0416	0,0325	0,0413
HRV	0,0384	0,0404	0,0621	0,0164	0,0256	0,0261	0,0457
ROU	0,1315	0,0419	0,0599	0,0207	0,0062	0,0085	0,0229
BGR	0,0810	0,0408	0,0338	0,0069	0,0212	0,0074	0,0294
GRC	0,0355	0,0492	0,0382	0,0355	0,0137	0,0339	0,0526
EST	0,0569	0,0446	0,0279	0,0006	0,0708	0,0151	0,0250
LVA	0,0442	0,0455	0,0578	0,0145	0,0239	0,0204	0,0351
LTU	0,0393	0,0442	0,0410	0,0119	0,0181	0,0173	0,0295

Elde edilen normalize karar matrisi değerlerinin her biri kendisinin doğal logaritması ile çarpılarak, yeni bir matris oluşturulur. Bu matrisin her bir sütunundaki toplam değerler ile alternatif sayısının doğal logaritmasının 1'e bölümünden elde edilen k ($1/\ln(m)=0,31893$) değeri ile çarpılarak, ENTROPI değerleri eşitlik (5) ile hesaplanır. ENTROPI değerlerini hesaplamakta kullandığımız matris ve ENTROPI değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Doğal Logaritması ile Çarpılan Değerler ve ENTROPI Değerleri

ÜLKELER	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
DEU	-0,1247	-0,1415	-0,1259	-0,2353	-0,1643	-0,1729	-0,1443
FRA	-0,1257	-0,1388	-0,1668	-0,2111	-0,2102	-0,1839	-0,1562
ITA	-0,1047	-0,1425	-0,1551	-0,2032	-0,2063	-0,1890	-0,1588
ESP	-0,1115	-0,1314	-0,1653	-0,2790	-0,1087	-0,1714	-0,1928
DNK	-0,1245	-0,1306	-0,0871	-0,1381	-0,1120	-0,1403	-0,0857
BEL	-0,0743	-0,1380	-0,1330	-0,1254	-0,2280	-0,1817	-0,1332
NLD	-0,0687	-0,1406	-0,1168	-0,3062	-0,2564	-0,2313	-0,2321
LUX	-0,0647	-0,1189	-0,0886	-0,0029	-0,0868	-0,2237	-0,1027
HUN	-0,1466	-0,1362	-0,1616	-0,0447	-0,1173	-0,0883	-0,1444
IRL	-0,1334	-0,1559	-0,0889	-0,1619	-0,0385	-0,2108	-0,1403
AUT	-0,1168	-0,1388	-0,1441	-0,0396	-0,1708	-0,1554	-0,1032
POL	-0,1874	-0,1262	-0,1048	-0,2196	-0,1224	-0,0711	-0,1241
PRT	-0,1401	-0,1299	-0,1663	-0,0733	-0,0514	-0,0994	-0,1300
CZE	-0,1337	-0,1322	-0,1105	-0,0093	-0,1551	-0,0925	-0,1214
SVK	-0,1073	-0,1291	-0,1509	-0,0046	-0,1294	-0,1121	-0,1628
SVN	-0,1055	-0,1425	-0,1475	-0,1110	-0,1323	-0,1115	-0,1316
HRV	-0,1252	-0,1299	-0,1726	-0,0677	-0,0940	-0,0954	-0,1410
ROU	-0,2668	-0,1330	-0,1687	-0,0803	-0,0315	-0,0408	-0,0865
BGR	-0,2037	-0,1306	-0,1145	-0,0345	-0,0818	-0,0366	-0,1039
GRC	-0,1187	-0,1483	-0,1248	-0,1185	-0,0589	-0,1147	-0,1550
EST	-0,1631	-0,1388	-0,1001	-0,0049	-0,1875	-0,0636	-0,0924
LVA	-0,1380	-0,1406	-0,1649	-0,0614	-0,0893	-0,0796	-0,1177
LTU	-0,1274	-0,1380	-0,1311	-0,0527	-0,0728	-0,0705	-0,1042
Ej	-0,1247	-0,1415	-0,1259	-0,2353	-0,1643	-0,1729	-0,1443

Hesaplanan ENTROPI değerleri 1'den çıkarılarak D_j belirsizlik değerleri bulunur. Her bir sütun için hesaplanan D_j değeri toplam D_j değerine bölünerek W_j kriter ağırlık değerleri elde edilmiş olur. D_j ve W_j değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Kriter ağırlık değerleri hesaplamaları sonuçlarına göre, ağırlığı en yüksek kriter, V4 (Geri dönüştürülebilir hammadde ticareti), en düşük kriter ise V2 (Tüketim ayak izidir).

Tablo 6. D_j (Belirsizlik) Değerleri ve W_j (Kriter Ağırlık) Değerleri

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
D_j	0,03923	0,00109	0,01455	0,17554	0,07336	0,06342	0,02276
W_j	0,10060	0,00279	0,03732	0,45015	0,18813	0,16263	0,05836

5.2. CRITIC Yöntemi ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

ENTROPI gibi nesnel bir kriter ağırlıklandırma yöntemi olan CRITIC yöntemi, kriterlere ait standart sapma ve korelasyon değerlerini hesaplamalarda kullanması ile ENTROPI yönteminden farklılaşır. Tablo 3'te yer alan karar matrisi, fayda kriterleri eşitlik (8) ve maliyet kriterleri eşitlik (9) ile normalize edilir. CRITIC yöntemine göre hesaplanan normalize karar matrisi Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. CRITIC Yöntemine Göre Normalize Karar Matrisi

ÜLKE	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
DEU	0.6725	0.6818	0.6413	0.5874	0.4444	0.5872	0.6714
FRA	0.6776	0.6136	0.9674	0.4860	0.6858	0.6556	0.7409
ITA	0.5423	0.7045	0.8937	0.4559	0.6628	0.6886	0.7540
ESP	0.5929	0.4090	0.9590	0.8142	0.2183	0.5778	0.8941
DNK	0.6713	0.3863	0.0000	0.2493	0.2298	0.4056	0.0000
BEL	0.1896	0.5909	0.7148	0.2162	0.7969	0.6415	0.5944
NLD	0.0859	0.6590	0.5336	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
LUX	0.0000	0.0000	0.0361	0.0000	0.1455	0.9386	0.2845
HUN	0.7699	0.5454	0.9362	0.0525	0.2490	0.1721	0.6723
IRL	0.7155	1.0000	0.0427	0.3172	0.0153	0.8396	0.6452
AUT	0.6270	0.6136	0.8123	0.0447	0.4751	0.4858	0.2917
POL	0.8849	0.2500	0.3586	0.5201	0.2682	0.1084	0.5194
PRT	0.7446	0.3636	0.9645	0.1019	0.0459	0.2169	0.5694
CZE	0.7168	0.4318	0.4470	0.0059	0.4023	0.1886	0.4949
SVK	0.5625	0.3409	0.8645	0.0014	0.2950	0.2712	0.7743
SVN	0.5486	0.7045	0.8388	0.1814	0.3065	0.2688	0.5825
HRV	0.6750	0.3636	1.0000	0.0914	0.1685	0.2004	0.6503
ROU	1.0000	0.4545	0.9782	0.1154	0.0000	0.0117	0.0169
BGR	0.9165	0.3863	0.5030	0.0372	0.1302	0.0000	0.3001
GRC	0.6384	0.8409	0.6291	0.1993	0.0651	0.2830	0.7341
EST	0.8242	0.6136	0.2762	0.0017	0.5593	0.0825	0.1270
LVA	0.7357	0.6590	0.9567	0.0801	0.1532	0.1391	0.4593
LTU	0.6864	0.5909	0.6962	0.0654	0.1034	0.1061	0.3039

Bu aşamada, kriterlere ait korelasyon değerleri hesaplanır. Her kriterin diğer kriterle olan ilişkisini gösteren korelasyon matrisi değerleri (P_{jk}) eşitlik (10) ile hesaplanır. Daha sonra korelasyon matrisi değerleri 1'den çıkarılarak 1- P_{jk} matrisi elde edilir. 1- P_{jk} matrisi Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Korelasyon Matrisinden Elde Edilen 1- P_{jk} Matrisi

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
V1	0,00000	0,88362	0,80750	1,27928	1,49961	1,77593	1,35627
V2	0,88362	0,00000	0,89806	0,77996	0,79944	0,83224	0,70720
V3	0,80750	0,89806	0,00000	0,97289	0,94627	1,27491	0,62511
V4	1,27928	0,77996	0,97289	0,00000	0,51713	0,43124	0,40223
V5	1,49961	0,79944	0,94627	0,51713	0,00000	0,50940	0,63235
V6	1,77593	0,83224	1,27491	0,43124	0,50940	0,00000	0,55172
V7	1,35627	0,70720	0,62511	0,40223	0,63235	0,55172	0,00000

Kriter ağırlıklandırma adımına geçmeden önce, eşitlik (11) ile C_j değerleri hesaplanır. C_j değerleri Tablo 8'de yer alan 1- P_{jk} matrisi değerlerinin sütun toplamları ile Tablo 7'de yer alan normalize karar matrisi değerlerinin standart sapmalarının (δ) çarpımı ile bulunur. Standart sapma ve C_j değerleri hesaplandıktan sonra, her bir sütuna ait C_j değeri toplam C_j değerine bölünerek kriter ağırlık değerleri (W_j) hesaplanmış olur. Standart sapma, C_j ve W_j değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Standart Sapma C_j ve W_j Değerleri

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
δ	0,00000	0,88362	0,80750	1,27928	1,49961	1,77593	1,35627
C_j	0,88362	0,00000	0,89806	0,77996	0,79944	0,83224	0,70720
W_j	0,80750	0,89806	0,00000	0,97289	0,94627	1,27491	0,62511

CRITIC yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıklandırma sonuçlarına göre, V1 ve V3 birbirine çok yakın olmakla birlikte en yüksek ağırlığa sahip kriterlerdir. En düşük ağırlık ise V2 kriterine aittir. CRITIC yöntemi ile elde edilen sonuçlarda kriter ağırlıkları birbirine daha yakındır. Bu durum tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Ülkelerin döngüsel ekonomi performansı ölçüldükten sonra çıkan sonuçlara göre yapılacak karşılaştırmada daha net bir yorum yapılabilir.

5.3. MAIRCA Yönteminin Uygulanması

MAIRCA yöntemi, kriter ağırlıklarını kullanarak, kriterler arasında sıralama yapan bir performans ölçme yöntemidir. Çalışmanın bu aşamasında, ENTROPI ve CRITIC yöntemleri ile

elde ettiğimiz kriter ağırlık değerlerini kullanarak, iki ayrı performans değerleri hesaplanacaktır.

Her bir alternatifin seçilme olasılığı $P=1/m$ ile hesaplanır. Bu çalışmada 23 alternatif olduğu için P değeri 0,04348 olacaktır. Tablo 10'da yer alan kriter ağırlık değerleriyle alternatiflerin seçilme olasılığı çarpılarak teorik değerlendirme matrisi elde edilir. Her iki yöntem için elde edilen teorik değerlendirme matrisi Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. ENTROPI ve CRITIC için Teorik Değerlendirme Matrisi

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
E	0,0043	0,0001	0,0016	0,0195	0,0081	0,0070	0,0025
C	0,0080	0,0045	0,0078	0,0052	0,0057	0,0070	0,0049

Hesaplanan teorik değerlendirme matrisi değerleri her bir sütun için hesaplanan değerdir. Kriter ağırlık değerleri, her bir sütunda yer alan değer için aynı olması ve alternatiflerin seçilme olasılığının eşit olması, her bir sütun için tek bir teorik değerlendirme matrisi değerini vermektedir. Sonraki aşamada reel değerlendirme matrisi hesaplanır. Reel değerlendirme matrisi hesaplanırken teorik değerlendirme matrisi değerleriyle normalize karar matrisi değerleri çarpılır. MAIRCA yöntemi için hesaplanan normalize karar matrisi, CRITIC yönteminde hesaplanan normalize karar matrisiyle aynı şekilde hesaplandığı için Tablo 7'de yer alan değerler, MAIRCA yöntemi normalize karar matrisi değerleri olarak kullanılabilir.

Teorik değerlendirme matrisinin her bir sütun için hesaplanan değeri reel değerlendirme matrisindeki aynı sütuna karşılık gelen değerlerden çıkarılarak toplam fark matrisi elde edilir.

Tablo 11. ENTROPI Yöntemi için Toplam Fark Değerlendirme Matrisi

ÜLKE	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
DEU	0,00294	0,00008	0,00104	0,01150	0,00364	0,00415	0,00170
FRA	0,00296	0,00007	0,00157	0,00951	0,00561	0,00464	0,00188
ITA	0,00237	0,00009	0,00145	0,00892	0,00542	0,00487	0,00191
ESP	0,00259	0,00005	0,00156	0,01594	0,00179	0,00409	0,00227
DNK	0,00294	0,00005	0,00000	0,00488	0,00188	0,00287	0,00000
BEL	0,00083	0,00007	0,00116	0,00423	0,00652	0,00454	0,00151
NLD	0,00038	0,00008	0,00087	0,01957	0,00818	0,00707	0,00254
LUX	0,00000	0,00000	0,00006	0,00000	0,00119	0,00664	0,00072
HUN	0,00337	0,00007	0,00152	0,00103	0,00204	0,00122	0,00171
IRL	0,00313	0,00012	0,00007	0,00621	0,00013	0,00594	0,00164
AUT	0,00274	0,00007	0,00132	0,00087	0,00389	0,00344	0,00074
POL	0,00387	0,00003	0,00058	0,01018	0,00219	0,00077	0,00132

PRT	0,00326	0,00004	0,00157	0,00199	0,00038	0,00153	0,00144
CZE	0,00314	0,00005	0,00073	0,00012	0,00329	0,00133	0,00126
SVK	0,00246	0,00004	0,00140	0,00003	0,00241	0,00192	0,00196
SVN	0,00240	0,00009	0,00136	0,00355	0,00251	0,00190	0,00148
HRV	0,00295	0,00004	0,00162	0,00179	0,00138	0,00142	0,00165
ROU	0,00437	0,00006	0,00159	0,00226	0,00000	0,00008	0,00004
BGR	0,00401	0,00005	0,00082	0,00073	0,00107	0,00000	0,00076
GRC	0,00279	0,00010	0,00102	0,00390	0,00053	0,00200	0,00186
EST	0,00361	0,00007	0,00045	0,00003	0,00458	0,00058	0,00032
LVA	0,00322	0,00008	0,00155	0,00157	0,00125	0,00098	0,00117
LTU	0,00300	0,00007	0,00113	0,00128	0,00085	0,00075	0,00077

Toplam fark matrisi değerleri, alternatiflerin performans değerini bulmak için kullanılacaktır. Her iki yöntem için hesaplanan toplam fark matrisi Tablo 11 ve Tablo 12’de verilmiştir. Toplam fark matrisi değerleri, teorik ve reel değerler arasındaki farktan yola çıkarak hesaplanan değerlerdir. Bu sebeple, MAIRCA yönteminde en küçük değer, en iyi performansı gösteren değerdir.

Tablo 12. CRITIC Yöntemi için Toplam Fark Değerlendirme Matrisi

ÜLKE	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
DEU	0,00542	0,00309	0,00505	0,00310	0,00254	0,00414	0,00334
FRA	0,00546	0,00278	0,00761	0,00257	0,00392	0,00462	0,00368
ITA	0,00437	0,00319	0,00703	0,00241	0,00379	0,00486	0,00375
ESP	0,00478	0,00185	0,00755	0,00430	0,00125	0,00407	0,00444
DNK	0,00541	0,00175	0,00000	0,00132	0,00131	0,00286	0,00000
BEL	0,00153	0,00267	0,00563	0,00114	0,00456	0,00452	0,00295
NLD	0,00069	0,00298	0,00420	0,00528	0,00572	0,00705	0,00497
LUX	0,00000	0,00000	0,00028	0,00000	0,00083	0,00662	0,00141
HUN	0,00621	0,00247	0,00737	0,00028	0,00142	0,00121	0,00334
IRL	0,00577	0,00453	0,00034	0,00168	0,00009	0,00592	0,00320
AUT	0,00505	0,00278	0,00639	0,00024	0,00272	0,00343	0,00145
POL	0,00713	0,00113	0,00282	0,00275	0,00153	0,00077	0,00258
PRT	0,00600	0,00165	0,00759	0,00054	0,00026	0,00153	0,00283
CZE	0,00578	0,00195	0,00352	0,00003	0,00230	0,00133	0,00246
SVK	0,00453	0,00154	0,00680	0,00001	0,00169	0,00191	0,00385
SVN	0,00442	0,00319	0,00660	0,00096	0,00175	0,00190	0,00289
HRV	0,00544	0,00165	0,00787	0,00048	0,00096	0,00141	0,00323
ROU	0,00806	0,00206	0,00770	0,00061	0,00000	0,00008	0,00008
BGR	0,00739	0,00175	0,00396	0,00020	0,00075	0,00000	0,00149
GRC	0,00515	0,00381	0,00495	0,00105	0,00037	0,00200	0,00365
EST	0,00664	0,00278	0,00217	0,00001	0,00320	0,00058	0,00063
LVA	0,00593	0,00298	0,00753	0,00042	0,00088	0,00098	0,00228
LTU	0,00553	0,00267	0,00548	0,00035	0,00059	0,00075	0,00151

Son aşamada her bir alternatife ait performans değerini bulmak için kriterlere ait toplam fark matrisi değerlerin yatay olarak toplanır. Elde edilen değerler, alternatiflerin performans değeridir. Her iki yöntem için hesaplanan performans değerleri, aradaki farkları görebilmek ve karşılaştırma yapabilmek adına Tablo 13’te bir arada verilmiştir.

Tablo 13. İki Ayrı Yönteme Göre Hesaplanmış Performans Değerleri

ÜLKELER	ENTROPI		CRITIC	
	PERFORMANS	SIRALAMA	PERFORMANS	SIRALAMA
ALMANYA	0,01842	4	0,01680	5
FRANSA	0,01723	3	0,01283	2
İTALYA	0,01844	5	0,01408	3
İSPANYA	0,01520	2	0,01523	4
DANİMARKA	0,03087	11	0,03083	22
BELÇİKA	0,02462	7	0,02047	6
HOLLANDA	0,00480	1	0,01258	1
LÜKSEMBURG	0,03487	20	0,03433	23
MACARİSTAN	0,03254	13	0,02118	7
İRLANDA	0,02625	8	0,02196	10
AVUSTURYA	0,03041	10	0,02142	8
POLONYA	0,02454	6	0,02476	16
PORTEKİZ	0,03326	16	0,02308	14
ÇEK CUMH.	0,03357	17	0,02611	18
SLOVAKYA	0,03325	15	0,02314	15
SLOVENYA	0,03019	9	0,02176	9
HIRVATİSTAN	0,03262	14	0,02243	11
ROMANYA	0,03508	21	0,02488	17
BULGARİSTAN	0,03605	23	0,02795	21
YUNANİSTAN	0,03126	12	0,02251	13
ESTONYA	0,03384	19	0,02746	20
LETONYA	0,03365	18	0,02247	12
LİTVANYA	0,03563	22	0,02660	19

Çalışmada ENTROPI ve CRITIC yöntemleriyle ayrı ayrı ağırlıklandırılan verilere dayanarak, seçilmiş AB ülkelerinin MAIRCA yöntemiyle döngüsel ekonomi performansları hesaplanmış ve sıralanmıştır. Ülkelerin döngüsel ekonomi performanslarına ilişkin sonuçlarda bazı ortak özellikler mevcuttur. Hollanda her iki sonuca göre en başarılı ülke olurken, AB'nin önde gelen büyük ekonomileri olan Almanya, Fransa, İtalya ve İspanya, Hollanda'yı takip etmiştir. İlk 5 sırayı Hollanda'nın ardından bu ülkeler paylaşırken, iki listede sadece yerleri değişmiştir. AB üyesi olan gelişmiş ekonomiler, döngüsel ekonomiye önem vermektedir.

AB'nin kurucu ülkelerinden olan Belçika iki listede 7. ve 6. sırada yer alırken, diğer bir kurucu ülke Lüksemburg, en kötü performanslardan birini göstermiş olup 20. ve 23. Sırada yer almıştır. İrlanda ve Avusturya, üst sıradaki ülkelere nispeten daha küçük ekonomiler olmasına rağmen iyi performans göstermişlerdir. 2004'te AB'ye katılan ülkeler arasında en iyi performansı Slovenya ve Polonya göstermiştir.

AB'nin eski üyelerinden sayılabilecek olan Yunanistan vasat bir performans sergilerken, Slovakya, Portekiz ve Hırvatistan ortalama performans gösteren diğer ülkelerdir. AB'ye 2004'te katılan Çek Cumhuriyeti, Estonya ve Litvanya kötü performans gösteren ülkelerdendir. AB'ye 2007 yılında katılan Bulgaristan ve Romanya, kötü performans göstererek son sıralarda yer alan diğer ülkelerdir.

Danimarka, Macaristan, Polonya ve Letonya, iki listedeki sıralaması birbirinden çok farklı olan ülkelerdir. Danimarka, her iki listede ilk 10'a giremeyen gelişmiş ülkelerdendir. Polonya ve Macaristan ise, bir listede çok iyi performans gösterip diğer bir listede oldukça aşağılarda kalan ülkelerdir. Letonya, bir listede kötü performans gösterip, diğer listede vasat performans göstermiştir. Bu durum ülkelerin yöntemlere göre aldığı performans puanlarının bazılarının birbirine çok yakın olması ve aradaki makasın çok dar olmasıyla ilgilidir. Örneğin; Hırvatistan CRITIC yöntemiyle yapılan sıralamada 0,02243 puan ile 11. sırada yer alırken, Romanya aynı listede 0,02488 ile 17. olmuştur. Aradaki fark yalnızca 0,00245'tir. Bu durum sıralamayı çok fazla etkilerken, performans değerlerinin olabilecek değişikliklere olan hassasiyetini de gösterebilir.

6. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Son yüzyılda, teknoloji, sanayi ve birçok alanda büyük ilerlemeler kaydedilmiş, bu durum ekonomiye de yansımıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak üretimin hızlanması kısa süreçte daha fazla hammadde ve kaynak tüketimine yol açmıştır. Bu durum başlarda büyük bir sorun oluşturmasa da, Dünya nüfusunun son yüzyılda 4 katına çıkması ve kitlesel üretime bağlı olarak tüketimin nüfusa bağlı hızlı bir şekilde artması, geline noktada kaynakların hızla tükenmesine, doğanın kirlenmesine ve canlı çeşitliliğinin tehlikeye girmesine sebep olmuştur.

Çalışmada incelenen 23 ülkenin, bir kısmı çok iyi performanslar gösterirken, bir kısmı diğerlerinin gerisinde kalmıştır. AB'nin büyük ekonomileri bu konuda oldukça başarılı sonuçlar almıştır. AB'nin küçük ama refah düzeyi yüksek bazı ülkeleri ise beklenen düzeyin çok altında kalmıştır. Döngüsel ekonomi performanslarına bölgesel açıdan

baktığımızda ise Balkan ülkeleri ve AB'ye 2000'li yıllardan sonra dahil olan küçük hacimli Baltık ülkeleri vasat ve kötü performanslar göstermiştir. AB'ye sonradan katıldığı halde en iyi 10 performans içinde yer alan tek ülke Slovenya olmuştur. Danimarka ve Lüksemburg'un kötü performansına karşın, Slovenya'nın iyi performansı, döngüsel ekonomideki başarısının refaha ve gelişmişliğe bağlı olmadığını göstermektedir.

Literatürde yer alan ve farklı yöntemlerle yapılan çalışmalarda, Almanya, Hollanda ve Fransa'nın başarılı olduğunu bu çalışmamızda da görmekteyiz. Lüksemburg ve Romanya literatüre benzer olarak bu çalışmada da başarısız ülkeler arasındadır. Danimarka, önceki çalışmalarda başarılı sonuçlar elde etmiş olarak karşımıza çıksa da bu çalışmada vasat ve altı bir performans göstermiştir. Yunanistan, başarısız sonuçlarına karşın bu çalışmada vasat bir performans göstermiştir. Geçmiş yıllardaki verilerle yapılan çalışmalara istinaden son verilerle yapılan bu çalışmada, ülkelerin başarı sıralamasındaki farklılıklar, döngüsel ekonomideki başarısının süreklilik ile sağlanacağını bir göstergesidir.

Döngüsel ekonomi çalışmaları etkin olarak yürütülse de birçok ülkede uygulama alanı oldukça sınırlı kalmıştır. Bunun sebebi, uzun yıllardır sürdürülen üretim yapısını aniden değiştirememektir. Bu nedenle AB ülkeleri kademeli olarak dönüşüm sağlamaya çalışırken, dünya üzerinde sınırlı sayıda ülke bu konuda çalışma yapmaktadır. İleriki yıllarda Türkiye'nin sağlıklı veriler yayınlaması durumu, Türkiye ve AB'nin performanslarını karşılaştıran bir çalışmaya zemin hazırlayabilir.

Etik Beyanı: *Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara uyulduğunu yazarlar beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde Akademik İzdüşüm Dergisinin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk çalışmanın yazarlarına aittir.*

Destek ve Teşekkür: *Bu araştırmanın hazırlanmasında herhangi bir kurumdan destek alınmamıştır.*

Katkı Oranı Beyanı: *Araştırmanın kavramsal kısımlarının ve analiz kısımlarının hazırlanmasında birinci ve ikinci yazar eşit oranda katkı sağlamıştır.*

Çatışma Beyanı: Araştırmanın yazarları olarak herhangi bir çıkar çatışma beyanımız bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Açcı, Y., Akarsu, G. & Cafrı, R. (2023). Döngüsel Ekonomi ve Yeşil Büyüme Çerçevesinde Sürdürülebilir Kalkınma Göstergelerinin Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi: Seçilmiş AB Ülkelerinden Ampirik Kanıtlar. *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, 53-67.
- Andreica, M. D., Ion, D., Andreica, M. I. & Resteanu C. (2010). A New Portfolio Selection Method Based On İnterval Data. *Studies In Infomatics And Contol*, 19(3), 253-262.
- Ang, L.K., Saw, E.T., He, W., Dong, X. & Ramakrishna, S. (2021). Sustainability Framework For Pharmaceutical Manufacturing (PM): A Review Of Research Landscape And İmplementation Barriers For Circular Economy Transition. *Journal Of Cleaner Production*, 280, 124264, 1-16.
- Chatterjee, K., Pamucar, D., & Zavadskas, E. K. (2018). Evaluating The Performance Of Suppliers Based On Using The R'AMATEL-MAIRCA Method For Green Supply Chain İmplementation In Electronics Industry. *Journal Of Cleaner Production*, 184, 101-129.
- Corvellec, H., Stowell, A.F. & Johansson, N. (2022), Critiques of The Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*, 26(2), 421-432.
- Demir G. & Kartal, M. (2020). *Güncel Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri*. Ankara: Akademisyen Kitabevi
- Eiroa, B. S., Fernandez, E., Mendez-Martinez, G. & Soto-Onate, D. (2019). Operational Principles Of Circular Economy For Sustainable Development: Linking Theory And Practice. *Journal of Cleaner Production*, 214(2019), 952-961
- Ekins, P., Domenech Aparisi, T., Drummond, P., Bleischwitz, R., Hughes, N. & Lotti, L. (2019). The Circular Economy: What, Why, How and Where. *The OECD Centre for Entrepreneurship*: Paris, 1-82.

- Europe Commission, (2019). Circular Economy Action Plan, Erişim tarihi:12.06.2024
https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en
- Europe Commission, (2023). Circular Economy Action Plan Timeline Erişim tarihi:14.06.2024
https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en#timeline
- Eurostat (2024). All Data. Erişim tarihi: 02.06.2024. Circular Economy Indicator.
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/all_themes
- Geisendurf, S. & Pietrulla, F. (2018). The Circular Economy And Circular Economic Concepts—A Literature Analysis And Redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 60(5), 771-782.
- George, D. A. R., Chi-ang Lin, B. & Chen, Y. (2015). A Circular Economy Model Of Economic Growth. *Environmental Modelling & Software*, 73(2015), 60-63.
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z. & Milićević, M. (2016). The Combination of Expert Judgement and GIS-MAIRCA Analysis for the Selection of Sites for Ammunition Depots. *Sustainability*, 8(4), 372.
- Hartley, K., Santen, R.V., & Kirchherr, J. (2020). Policies For Transitioning Towards A Circular Economy: Expectations From The European Union (EU), *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 1-10.
- Heshmati, A. (2017). A Review of the Circular Economy and its Implementation. *International Journal of Green Economics*, 11(3-4), 251-288
- Jawahir, I.S. & Bradley, R. (2016). Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing, *13th Global Conference on Sustainable Manufacturing Decoupling Growth from Resource Use*, 103-108

- Kostakis, I. & Tsagarakis, K. P. (2021). Social and Economic Determinants of Materials Recycling and Circularity in Europe: An Empirical Investigation. *The Annals of Regional Science*. 68, 263-281
- Krishnan, A. R., Kasim, M. M., Hamid, R., & Ghazali, M. F. (2021). A Modified CRITIC Method to Estimate The Objective Weights of Decision Criteria. *Symmetry*, 13(6), 973.
- Madić, M., & Radovanović, M. (2015). Ranking Of Some Most Commonly Used Non-Traditional Machining Processes Using Rov And Critic Methods. *The Scientific Bulletin*, 77(2), 193-204.
- Mhatre, P., Panchal, R., Singh, A., & Bibyan, S. (2021). A Systematic Literature Review On The Circular Economy Initiatives In The European Union. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 187-202.
- Mhatre P., Gedam, V., Unnikrishnan, S. & Verma, S. (2021). Circular Economy İn Built Environment–Literature Review And Theory Development. *Journal of Building Engineering*, 35(2021), 1-15.
- Önder, H. (2018). Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışında Yeni Bir Kavram: Döngüsel Ekonomi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 57, 196-204.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular Economy: Measuring Innovation In The Product Chain, PBL *Netherlands Environmental Assessment Agency*, 2544, 1-46.
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., Witjes, S. (2020). The Circular Economy: New Or Refurbished As CE 3.0? Exploring Controversies In The Conceptualization Of The Circular Economy Through A Focus On History And Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246-264.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M. & Folke, C. (2015). Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855UN.

- Seyhan, N. (2023). AB’de Döngüsel Ekonomi Üretim ve Tüketim Göstergelerinin Değerlendirilmesi: MEREC temelli MARCOS uygulaması. *Academic Review*, 4(3), 364-391.
- Skrinjaric, T. (2020). Empirical Assessment Of The Circular Economy Of Selected European Countries. *Journal of Cleaner Production*, 255, 1-17.
- Sürmen, M. & Çokmutlu, M.E. (2022). Döngüsel Ekonomi Performans Ölçümü Üzerine Bir Araştırma. *Ekonomi, İşletme ve Yönetim Dergisi*, 6(2), 209-234.
- Türkmen, M.A & Kılıç, F. (2020). Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışına Yönelik Döngüsel Ekonomi Modeli. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 55(4), 2538-2556.
- Veral, E.S. (2021). Döngüsel Ekonomi: Engeller, Stratejiler ve İş Modelleri. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 8(1), 7-18.
- Völker, T., Kovacic, Z., & Strand, R. (2020). Indicator Development As A Site Of Collective Imagination? The Case Of European Commission Policies On The Circular Economy. *Culture And Organization*, 26(2), 103-120.
- Webster, K. (2021). A Circular economy is about the economy. *Circular Economy and Sustainability*, 1, 115-126.
- Xiaofei, Y. (2022), "Research On The Action Mechanism Of Circular Economy Development and Green Finance Based On Entropy Method And Big Data". *Journal of Enterprise Information Management*, 35(4/5), 988-1010.
- Yılmaz, V. (2022). Avrupa Birliği Ülkelerinin Döngüsel Ekonomi Performansı. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1), 94-114.
- Yong, R. (2007). The Circular Economy In China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 9, 121-129.
- Zhang X., Badurdeen F., Rouch KE. & Jawahir IS. (2013). On Improving The Product Sustainability Of Metallic Automotive Components By Using The Total Lifecycle Approach And 6R Methodology. G. Seliger, Editor. *Proc. of the 11th Global Conf. on Sustainable Manufacturing*, (ss. 194-199). Berlin, Germany.

- Zhi-hong, Z., Yi, Y. & Jing-nan, S. (2006). Entropy Method For Determination Of Weight Of Evaluating In Fuzzy Synthetic Evaluation For Water Quality Assessment Indicators. *Journal of Enviromental Sciences*, 18(5), 1020-1023.
- Zink, T & Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound, *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 593-602

CIRCULAR ECONOMY: EMPIRICAL FINDINGS WITH ENTROPY AND CRITIC METHODS

Extended Summary

Aim:

In this study, European Union's transition to circular economy practices and their performance were investigated based on the results of their studies on this subject. The aim of this performance research is to measure the success of the European Union countries, which have actually implemented the circular economy since 2015. The results reached with this measurement are to get an idea about what Turkey and other countries can do about the circular economy.

Method(s):

ENTROPY AND CRITIC are methods used in criterion weighting using raw data. The MAIRCA method is the method that measures the performance of the weighted criteria. The ENTROPY method makes use of logarithms of values, while the CRITIC method makes use of their standard deviations and correlation coefficients. The obtained weight values were used separately while measuring performance with the MAIRCA method. Two different performance measurements were obtained and these performances were compared. This comparison is important in terms of seeing the change arising from the differences between the methods and the similarity of the results obtained according to the two methods.

Findings:

According to the results of the research, the Netherlands is the most successful of the 23 countries where performance was measured according to two different methods using 7 different data, and ranked first in both rankings. The Netherlands has come a remarkable way in a short period of time following the introduction of circular economy practices. Apart from the Netherlands, Germany, France, Italy and Spain, which make up the top five places, have been the most successful countries. These countries were followed by Belgium. According to this result, we can say that the founder countries of the EU have

achieved a great deal of success. The only exception to this situation is Luxembourg, which has one of the worst performances, and is at the bottom of both rankings.

Conclusion and Discussion:

When we classify the countries whose circular economy performance is examined as developed and developing, large and small economies, the founding countries of the EU and the countries that joined the EU later, we see that their circular economy performance does not depend on these criteria. Success in the circular economy depends entirely on the success of the work in the implementation phase. Although the idea of a circular economy is older for the European Union, its implementation has only recently begun. Although circular economy practices have increased in recent years, their place in the economic structure is still limited. The reason for this is that the operation of the linear economy model that has been going on since the Industrial Revolution cannot be changed all at once. Although the integration of the circular economy into the economic structure will take time, the prolongation of the transition period will lead to environmental pollution, raw material and resource problems, the decrease in biodiversity becoming a bigger problem day by day. The acceleration of the transition to the circular economy and its integration into the economic structure is possible with the handling of the EU's institutions with high sanctioning power and legally binding actions.