

Dairesel Ekonominin çevresel faydalarının ölçülmesi – Kamu raporu



Yazarlar:

An Vercalsteren, Maarten Christis, Karolien Peeters (VITO), Philip Nuss, Jens Günther (UBA), Renato Marra Campanale (ISPRA)



Yayın Tarihi: Şubat 2025

AÇA faaliyeti: Dairesel Ekonomi ve Kaynak Kullanımı

Yasal uyarı

Bu raporun hazırlanması Avrupa Çevre Ajansı tarafından Avrupa Dairesel Ekonomi ve Kaynak Kullanımı Konu Merkezi (ETC CE) ile yapılan bir hibe kapsamında ortak finanse edilmiştir ve yazarların görüşlerini ifade etmektedir. Bu yayının içeriği Avrupa Komisyonu'nun veya Avrupa Birliği'nin diğer kurumlarının pozisyonunu veya görüşünü yansıtmamaktadır. Ne Avrupa Çevre Ajansı ne de Dairesel Ekonomi ve Kaynak Kullanımı Konu Merkezi, bu yayında yer alan bilgilerin yeniden kullanımından kaynaklanan herhangi bir sonuçtan sorumlu değildir.

ETC CE koordinatörü: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO)

ETC CE ortakları: Banson Editorial and Communications Ltd, česká informační Agentura životního prostředí (CENIA), Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim İşbirliği Merkezi (CSCP), Istituto Di Ricerca Sulla la Crescita Economica Sostenibile, Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale, IVL İsveç Çevre Araştırma Enstitüsü, PlanMiljø, Università Degli Studi Di Ferrara (SEEDS), Alman Çevre Ajansı (UBA), Teknologian Tutkimuskeskus VTT oy, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Dünya Kaynakları Forumu Derneği.

Telif hakkı bildirimi

© Avrupa Konu Merkezi Dairesel ekonomi ve kaynak kullanımı, 2024

Kaynak belirtilmesi koşuluyla çoğaltılmasına izin verilmektedir. [Creative Commons Atıf 4.0 (Uluslararası)]

Avrupa Birliği hakkında daha fazla bilgi internette mevcuttur (<http://europa.eu>).

İçindekiler

Teşekkürler	1
Özet / Açıklama.....	1
1 Ana mesajlar.....	2
2 Giriş.....	4
3 Arka Plan.....	5
3.1 AB'nin dairesel malzeme kullanım oranını ikiye katlama politikası hedefi	5
3.2 CMUR göstergesinin tanımı	5
3.3 AB'de CMUR eğilimleri	8
3.4 CMUR ile çevresel etkiler arasındaki ilişki	9
4 Metodolojik yaklaşım ve senaryolar	13
4.1 Giriş	13
4.2 Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması.....	14
Senaryo tanımı	14
Senaryo modellemesi	14
4.3 Gelişmiş geri dönüşüm	15
Senaryo tanımı	15
Senaryo modellemesi	17
4.4 Azaltılmış malzeme tüketimi.....	19
Senaryo tanımı	19
Senaryo modellemesi	21
4.5 Metodolojinin sınırlamaları	33
5 Sonuçlar: Çevresel azaltma potansiyeli	35
5.1 Giriş	35
5.2 Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması.....	36
5.3 Gelişmiş geri dönüşüm (önceki senaryoya ek olarak)	36
5.4 Azaltılmış malzeme tüketimi (önceki senaryolara ek olarak).....	41
6 Sonuçlar.....	45
7 Kısaltmalar listesi	47
8 Referanslar	48
Ek 1: Çevresel etki kategorileri	52
İklim değişikliği ve hava kirliliği	52
Biyolojik çeşitliliğin kaybı	53
Seçilen metodolojik yaklaşımın sınırlamaları.....	54
Ek 2: Çevresel azaltma potansiyeli – Azaltılmış malzeme tüketimi senaryosu için literatür inceleme yaklaşımını izleyen sonuçlar	56

Teşekkürler

AEA uzmanlarının girdisi:

- Tobias Nielsen
- Almut Reichel
- İoannis Bakas

Bu rapor, ETC Biyoçeşitlilik ve Ekosistemler ile yapılan istişareden yararlanmıştır:

- Frank Wugt Larsen (AEA)
- Rowan Dunn-Capper (ETC BE)
- Henrique Miguel Pereira (ETC BE).

Özet / Açıklama

Bu rapor, dairesel ekonominin çevresel potansiyeli hakkındaki bilgiye katkıda bulunmayı amaçlayan Avrupa Dairesel Ekonomi ve Kaynak Kullanımı Konu Merkezi'ndeki (ETC CE) devam eden bir görevin ilk çıktısıdır. Bunu, CE'nin çevresel etkileri (yani iklim değişikliği, hava kirliliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı) azaltma potansiyelinin nicel analizine izin veren bir metodolojik çerçeve geliştirerek yapar. Bu rapor, 2020 Dairesel Ekonomi Eylem Planı'nda (CEAP) belirtilen CMUR hedefine ulaşmak için farklı senaryoların çevresel potansiyelini değerlendirmek için bir vaka çalışması olarak Dairesel Malzeme Kullanım Oranı'nı (CMUR) kullanır, yani CMUR'u on yıl içinde ikiye katlamak. Kullanılan metodolojiyi, bu ikiye katlama hedefine ulaşmak için tanımlanan senaryoları, sonuçları ve içgörülerini, değerlendirmeden sonraki temel mesajlarla birlikte açıklar.

1 Temel mesajlar

Önümüzdeki on yılda CMUR'u iki katına çıkarma hedefine ulaşmak için farklı senaryoların çevresel faydalarının değerlendirilmesi bazı ilginç içgörülere ve çıkarımlara yol açar. Bu vaka çalışmasından çıkan temel mesajlar burada özetlenmiştir:

- AB'de gözlemlendiği gibi tarihi malzeme verimliliği kazanımlarının yolunu sürdürmek, AB'nin CMUR iki katına çıkarma hedefine ulaşmak için yeterli değildir. CMUR'un 2020 seviyesine kıyasla neredeyse hiç iyileşmemesi nedeniyle, 2030'da CMUR hedefine ulaşmak için şu anda 'yoldan çıkmış durumdayız'.
- Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması önlemleri, toplam malzeme kullanımında fosil yakıtların nispeten küçük bir payı olması nedeniyle CMUR'u artırmaya yalnızca küçük bir ölçüde katkıda bulunabilir. Bu önlemler her durumda 2020-2030 arasında CMUR'un iki katına çıkarılmasına ulaşmak için yeterli değildir. Ancak, iklim değişikliği ve hava kirliliği olmak üzere üçlü gezegen krizinin belirli yönleriyle mücadelede önemli ölçüde katkıda bulunabilirler.
- Geliştirilmiş geri dönüşümün CMUR üzerinde önemli bir etkisi vardır ancak CMUR'u iki katına çıkarmak için yeterli değildir. Ancak, çevresel etkiler üzerindeki potansiyel etki nispeten küçüktür. Geri dönüşüm oranları (yani, toplam atık işleme oranı olarak geri dönüşüme gönderilen atık) metal atıklar için zaten yüksektir (%84)¹ ve biyokütle atıkları için önemli (53%)¹, fosil bazlı atık (%41)¹, ve metalik olmayan mineral atık (%34)¹. Ton başına en yüksek çevresel etkiye sahip malzemeler (metaller ve biyokütle) zaten yüksek geri dönüşüm oranlarına sahiptir. Bu geri dönüşüm oranları geçmişte çevresel etkilerin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur, ancak geri dönüştürülmüş miktarları artırmanın en yüksek potansiyelinin metalik olmayan mineraller kategorisinde olması göz önüne alındığında ek faydalar için sınırlı bir kapsam vardır²ton başına en düşük potansiyel çevresel faydaya sahip olan geri dönüştürülmüş malzeme. Ancak, metodoloji halihazırda geri dönüştürülmüş atıkların daha yüksek kalitede geri dönüştürülmesine yönelik iyileştirmeleri kapsamaz (metodolojinin sınırlamalarına bakın, bölüm 4.5).
- Geliştirilmiş odun ve organik atık yönetimi sayesinde gelişmiş geri dönüşüm için arazi kullanımına bağlı biyolojik çeşitlilik kaybını iyileştirmeye yönelik küçük bir potansiyel bulunmuştur. Bu değerlendirmede gelişmiş geri dönüşümle bağlantılı iklim değişikliği ve hava kirliliği etkileri büyük ölçüde değişmeden kalmıştır.
- CMUR'u 2020 ile 2030 arasında ikiye katlama hedefi, yalnızca fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılmasına ve gelişmiş geri dönüşüme odaklanan önlemlerle elde edilemez. Toplamda, tüketilen malzemelerin genel hacminin 2020 seviyesinin %26 altına veya 1,6 Gton'a (örneğin, malzeme verimliliği ve talep tarafı önlemleri yoluyla) düşmesi gerekir.
- Birincil metalik olmayan minerallerin kullanımını azaltmak (örneğin, kaynak açısından verimli inşaatı hedefleyen önlemler, binaların dayanıklılığını artırma, dairesel inşaat malzemeleri vb. yoluyla) CMUR'u artırmak için kritik öneme sahiptir (büyük hacimler ve mevcut orta düzey geri dönüşüm oranları nedeniyle). Ancak, nispeten düşük çevresel ayak izi yoğunlukları (diğer malzemelerle karşılaştırıldığında) çevresel etki azaltma potansiyellerini sınırlar.
- Daha yüksek bir CMUR, çevresel etkilerin eşdeğer bir şekilde azaltılması için mutlaka bir garanti değildir. CMUR'u artırmak ve çevresel faydaları en üst düzeye çıkarmak istendiğinde hangi malzeme gruplarına odaklanılacağı konusunda dikkatli değerlendirmeler yapılması gerekir.
- Çevresel etkiler, hem üretim hem de malzemelerin kullanımıyla ilgili olarak ham maddeye göre farklılık gösterir. Fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması iklim değişikliğiyle mücadele için elzemdir, metallerin daha sürdürülebilir kullanımı insan sağlığı üzerindeki etkileri azaltmaya ve kaynak güvenliğini artırmaya yardımcı olabilir ve biyokütlenin daha sürdürülebilir kaynaklanması ve kullanımı biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri azaltmaya yardımcı olur.
- Üretim tarafındaki değişikliklere ek olarak, CMUR'u artırırken aynı zamanda çevresel etkileri azaltmak için talep tarafındaki değişiklikler de gereklidir. Sonuca odaklanan politika önlemleri

¹Pay, geri dönüştürülecek atık miktarının işlenen atık miktarına bölünmesiyle elde edilir (2020 verileri, AB27). Atık kodlarını malzeme kategorilerine bağlamak için [yazışma matrisi](#) Dört malzeme akışına ait atık kodlarının kullanılması.

²Genel olarak, çevresel ayak izi yoğunluğu diğer malzeme kategorilerine kıyasla düşüktür. Ancak, metalik olmayan mineraller içinde bazı daha küçük kategoriler (örneğin, çimento) daha yüksek bir çevresel ayak izi yoğunluğuna sahiptir.

CMUR'un iki katına çıkarma hedefine ulaşmak ve ayrıca çevresel baskıları/etkileri azaltmak için tüketim gereklidir.

- Yaklaşımın sınırlamaları vardır (bkz. bölüm 4.5). Bu değerlendirmenin özel bağlamında, ayrıntı düzeyinden ziyade kapsamlılık daha önemliydi. Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması ve gelişmiş geri dönüşümün senaryo modellemesinden elde edilen sonuçlar, bir dizi sınırlama göz önünde bulundurularak bu özel bağlamda yorumlanmalıdır.

2 Giriş

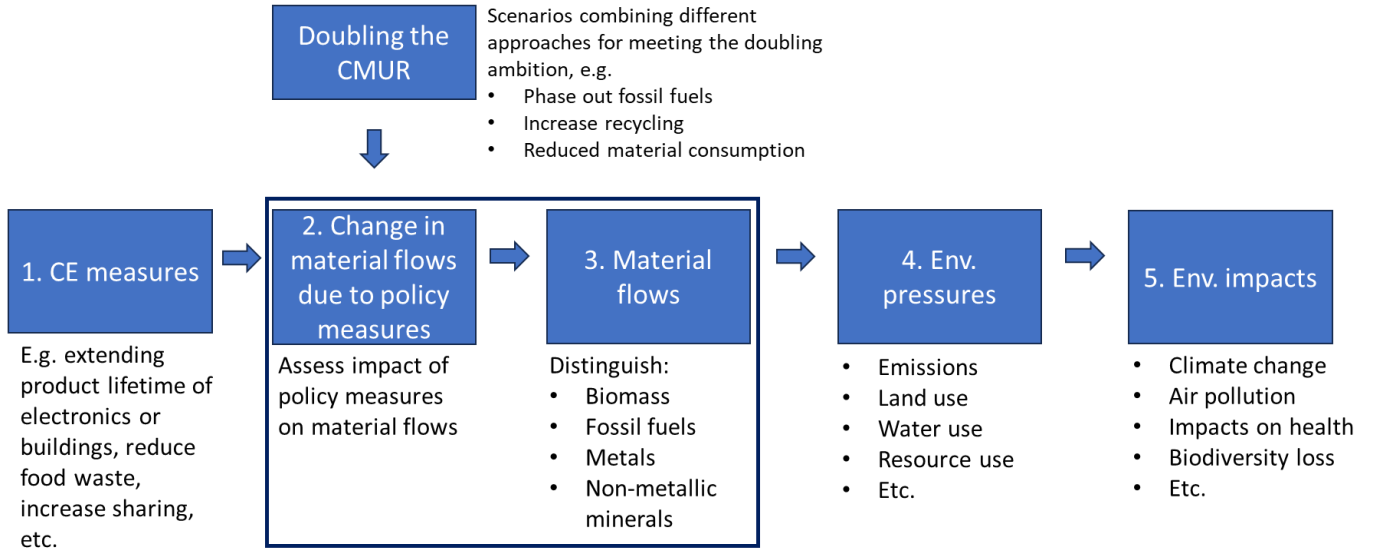
Bu rapor, CE'nin çevresel faydalarını ölçme konusunda bilgi oluşturma genel amacına sahip çok yıllık bir faaliyetin ilk sonucudur. Faaliyetin her bir bölümü, bu çevresel faydaları modellemek için gereken metodolojik adımlar hakkında bilgiyi artırmaya odaklanmaktadır. Odak noktası, iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı ve hava kirliliğidir (üçlü gezegen krizi). Bu çalışma, CE'nin çevresel baskıları ve etkileri azaltmadaki gelecekteki rolü hakkındaki tartışmayı bilgilendirmeyi, CE'nin olumlu çevresel sonuçlarını geliştirmeyi ve politika yapıcılarını CE'nin birden fazla çevre politikası alanıyla bütünleştirilmesi konusunda bilgilendirmeyi amaçlamaktadır.

İlk adım olarak, biyolojik çeşitlilik kaybı, kirlilik ve iklim değişikliğine yönelik dairesel ekonominin çevresel faydalarını değerlendirmek için kullanılabilecek bir metodolojik çerçeve geliştirilir. Böyle bir metodolojik çerçeve, Şekil 2-1'de gösterildiği gibi, kabaca aşağıdaki adımları içerir:

- CE önlemlerinin kapsamını belirleyin ve tanımlayın;
- Bu CE önlemlerini malzeme akışlarındaki değişikliklere dönüştürün;
- Çevresel baskıları nicelleştirin;
- Çevresel baskılardaki değişikliklerin iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı ve kirlilik üzerindeki nihai etkilerini hesaplayın.

Daha sonra, bu metodolojik çerçevedeki farklı adımları daha da geliştirmek için bir vaka çalışması kullanılır. 2020 Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'nda (CEAP) Döngüsel Malzeme Kullanım Oranı (CMUR) için belirlenen hedef, bir vaka çalışması olarak seçilir. CEAP'de belirtilen amaç, CMUR'u on yıl içinde ikiye katlamaktır. Bu vaka çalışmasının amacı, metodolojiyi somutlaştırmak ve AB'nin CMUR'unu ikiye katlamanın potansiyel çevresel faydalarını keşfetmektir. Analiz ayrıca CMUR'u artırma ve bunun çevre için en büyük potansiyel fayda ile nasıl başarılabileceği konusunda fikirler sunar.

Şekil 2-1: Metodolojik çerçevenin görselleştirilmesi



3 Arka Plan

3.1 AB'nin dairesel malzeme kullanım oranını ikiye katlama politikası hedefi

2020 yılında yayınlanan Döngüsel Ekonomi Eylem Planı (CEAP), önümüzdeki on yılda malzemelerin döngüsel kullanımını iki katına çıkarmayı amaçlayan, hukuken bağlayıcı olmayan bir hedef içeriyor³. Hem malzeme kullanımının azaltılması hem de ikincil ham maddeye olan talebin ve arzın artırılması, birincil ham maddelerin çıkarılmasına olan talebi azaltabilir. Bu da AB'nin üretim ve tüketimiyle ilişkili çevresel etkileri azaltır. Bu raporda sunulan vaka çalışması **CEAP ve Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın (EGD) önümüzdeki on yılda Dairesel Malzeme Kullanım Oranını (CMUR) iki katına çıkarma hedefini karşılamının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi**.

ESTAT verileri, CMUR göstergesi aracılığıyla ifade edilen ve dairesellik oranı olarak da adlandırılan malzemelerin dairesel kullanımının AB'de %11,6 seviyesinde olduğunu göstermektedir.^{4;5} 2020'de. Hacim açısından bu, toplam 6,9 milyar tonluk malzeme kullanımından yaklaşık 0,8 milyar ton dairesel malzeme anlamına geliyor. Bu değer 2010'dan bu yana %10,7'den 0,9 puan ve 2004'ten bu yana %8,4'ten 3,2 puan artmış olsa da, mevcut eğilim AB'nin CMUR'yi ikiye katlama hedefinin ulaşılması çok zor olacağını gösteriyor (ETC CE, 2023).

Bu raporun amacı doğrultusunda, bu yasal olarak bağlayıcı olmayan hedefe ulaşmanın şu anlama geleceği varsayılmaktadır: **AB27 için 2020 değeri olan %11,6'dan 2030'da %23,2'ye çıkmak**, CEAP ne bir referans yılı ne de bir hedef değer tanımlamadığından. Ayrıca, hedef, hiçbir bireysel ülke düzeyinde hedef belirlenmeden AB'nin tamamına atıfta bulunur. Bu nedenle, CMUR'un bu analizi de AB'nin tamamına odaklanır.

3.2 CMUR göstergesinin tanımı

CMUR, gösterge, AB'nin Döngüsel Ekonomi İzleme Çerçevesi'nin bir parçasıdır. 'İkincil ham maddeler' tematik alanında döngüsel ekonomiye doğru ilerlemeyi izlemek için kullanılır. Bu gösterge aynı zamanda EEA'nın kaynak verimliliği ve atık (EEA, 2022) göstergelerinden biridir. CMUR, genel malzeme kullanımında geri kazanılan ve ekonomiye geri verilen malzemenin payını ölçer:

$$\text{daireysel malzeme kullanım oranı (CMUR)} = \frac{\text{malzemelerin dairesel kullanımı}}{\text{malzemelerin genel kullanımı}}$$

Malzemelerin dairesel kullanımı (payda), ithalat ve ihracatla düzeltilmiş, yerel geri kazanım tesislerinde geri dönüştürülen atık miktarına göre yaklaşık olarak hesaplanır. Malzemenin genel kullanımı (payda), yerel malzeme tüketimine (DMC) göre yaklaşık olarak hesaplanır ve ayrıca malzemelerin dairesel kullanımı, oranın 0 ile 1 arasında olmasını sağlamak için dahil edilir. DMC, ekonomi genelindeki malzeme akışı hesaplarında tanımlandığı gibi, bir ekonomide doğrudan kullanılan toplam malzeme miktarıdır⁷. DMC yerine, ham madde tüketimi (RMC) genel malzeme kullanımının bir göstergesi olarak kullanılabilir. Ancak RMC şu anda yalnızca Üye Devlet başına bir modelleme tahmini olarak mevcuttur⁸. Bu rapor Eurostat tarafından yapılan metodolojik tercihlere sadık kalmaktadır.

³ Dairesel Ekonomi Eylem Planı (CEAP) (EC, 2020) şunu belirtmektedir: "[...]AB'nin, gezegene aldığından fazlasını geri veren, kaynak tüketimini gezegen sınırları içinde tutmaya doğru ilerleyen ve dolayısıyla tüketim ayak izini azaltmaya ve önümüzdeki on yılda dairesel malzeme kullanım oranını ikiye katlamaya çalışan yenileyici bir büyüme modeline geçişi hızlandırması gerekiyor".

Kaynak: Eurostat veri tabanları Malzeme türüne göre dairesel malzeme kullanım oranı: [env_ac_curm](#) (Son güncelleme: 14/11/2023).

⁵ 2020 verileri COVID-19 nedeniyle yaşanan ekonomik yavaşlamadan

⁶ etkileniyor. CMUR'un Eurostat meta verileri: [env_ac_cur](#).

⁷ DMC'nin türetilmiş bir göstergesi olduğu ekonomi genelindeki malzeme akışı hesaplarının Eurostat meta verileri: [env_ac_mfa](#).

⁸ Eurostat, DMC'yi bir vekil gösterge olarak kullanır. RMC yalnızca bir tahmin olarak mevcuttur ve CMUR'un potansiyel olarak aşırı tahmin edilmesi anlamına gelir.

Daha yüksek bir dairesellik oranı değeri, daha fazla birincil hammaddenin ikincil olanlarla ikame edilmesi anlamına gelir ve böylece birincil malzemenin çıkarılmasının çevresel etkileri, ikame etkisi bakir malzeme kullanımındaki artışla telafi edilmediği sürece azalır.

CMUR'un hem payını hem de paydasını tanımlayan veri kaynakları, Avrupa İstatistik Sistemi'nin resmi istatistikleri arasında en iyi vekiller olarak tanımlanmaktadır. Veriler tüm AB ekonomisi ve malzeme kategorisine göre mevcuttur - biyokütle⁹, metal cevherleri¹⁰, metalik olmayan mineraller¹¹ ve fosil enerji taşıyıcıları/ malzemeleri¹² (Eurostat, 2018).

CMUR bileşenleri DMC, atık geri dönüşümü, özellikle geri dönüşüm, RCV_R'dir ⁽¹³⁾, ve uluslararası ticaret geri kazanıma bağlı atık (IMP)¹³ ve DENEYİM¹³. Oran, dairesel kullanım ile malzemeler (U) ve genel malzeme kullanımı (DMC + U).

CMUR formülü şu şekildedir:

$$CMU = \frac{Sen}{DMC + Sen} = \frac{(RCV_R - IMP_w + Eski P_w)}{DMC + (RCV_R - IMP_w + DENEYİM_w)}$$

CMUR, hepsi Eurostat tarafından sağlanan farklı Avrupa istatistiklerinden yararlanılarak geliştirilmiştir. CMUR'un malzeme kategorisine göre bileşenleri aşağıdakilere dayanmaktadır.

- The **DMC** bileşen doğrudan kullanılabilir ve ekonomi genelindeki malzeme akışı hesaplarından (Eurostat, 2022) malzeme akışı kategorilerinde sağlanır.
- The **Sen** bileşen, malzemelerin dairesel kullanımı, atık istatistiklerinden türetilen evsel geri kazanım tesislerinde geri dönüştürülen atık miktarına (RCV_R) dayanarak hesaplanır¹⁴, geri kazanılmak üzere ithal edilen atıklar hariç (IMP)_B ve ayrıca yurtdışında geri kazanılmak üzere ihraç edilen atıklar (EXP)_B ¹⁵.

O Geri dönüşüm bileşeni, **RCV_R**, Atıkların Atık İşleminden elde edilir

kategori, tehlikelilik ve atık işlemleri veri seti¹⁶ (Eurostat, 2023c). İstatistik, bir atık kategorisi sınıflandırması aracılığıyla sağlanır ve bir malzeme kategorisi düzeyinde RCV_R'yi türetmek için malzeme kategorilerine bir dönüşüm gerektirir. Dönüşüm faktörleri

⁹ Biyokütle, ekili ve ekili olmayan biyokütlenin insan eliyle sahiplenilmesiyle ilgili olarak çevreden ekonomiye doğru olan maddi akışları kaydeder. Örneğin, yabani balık avı, avcılık ve toplayıcılık, doğal ormanlardan ağaç kesimi gibi ikincisi, çevre ve ekonomi arasındaki sınırda doğrudan ölçülebilirken, birincisi ölçülemez ve geleneksel olarak sözde hasat yaklaşımı tanıtılır. Ekili biyolojik kaynaklardan hasat edilen miktarlar tarım ve ormancılık hasat istatistiklerinden elde edilebilir.

¹⁰ Metal cevherleri, yeraltı veya açık ocak çıkarma, deniz tabanı madenciliği vb. yoluyla gerçekleştirilen metalik minerallerin çıkarılmasıyla ilgili olarak çevreden ekonomiye olan maddi akışları kaydeder.

¹¹ Metalik olmayan mineraller, metaller dışındaki mineral maddelerin ve taş, kum, kil, tuz vb. fosil enerji taşıyıcılarının madenciliği ve taş ocağı işletmeciliği ile ilgili olarak çevreden ekonomiye doğru olan maddi akışları kaydeder. Sadece bir madenden veya taş ocağından çıkarmayı değil, aynı zamanda alüvyonlu yatakların taranmasını, kaya kırma ve tuz bataklıklarının kullanımını da ifade eder.

¹² Fosil enerji malzemeleri/taşıyıcıları çıkarma kayıtları, yer altı veya açık ocak madenciliği ile katı, sıvı ve gaz halindeki fosil mineral yakıtların çıkarılması ve ham petrol ve doğal gaz sahalarının işletilmesiyle ilgili olarak çevreden ekonomiye olan malzeme akışlarını kaydeder. Petrol şistin ve kumların çıkarılması dahildir. RCV_R: evsel geri kazanım tesislerinde geri dönüştürülen atık miktarı. Evsel geri kazanım tesislerinde geri dönüştürülen atık, Atık Çerçeve Direktifi 2008/98/EC'de tanımlandığı gibi R2 ila R11 geri kazanım işlemlerini içerir; IMP_w: geri dönüşüme gönderilmek üzere ithal edilen atık miktarı; EXP_w: geri dönüşüm amacıyla yurtdışına ihraç edilen atık miktarı.

¹⁴ Eurostat'ın atık üretimi ve arıtımı ile ilgili meta verileri: [çevre_wasqt](#).

¹⁵ Eurostat kılavuzuna bakın: [Dairesel malzeme kullanım oranı — Hesaplama yöntemi — 2018 baskısı](#)

¹⁶ Bu istatistik, Atık İstatistikleri Yönetmeliği (EC) No 2150/2002 esas alınarak toplanmaktadır.

Atık kategorileri ile malzeme kategorileri Eurostat tarafından sağlanmaktadır¹⁷Veriler yalnızca her çift yıl için mevcuttur¹⁸.

- O Bileşenler¹⁹VeDENEYİM²⁰uluslararası mal ticareti istatistiklerinden (Eurostat, 2023b) yaklaşık olarak hesaplanmıştır¹⁹Geri dönüşüme yönelik atıkların ithalat ve ihracatını yaklaşık olarak belirlemek için kullanılan birleşik isimlendirme (CN) kodlarının bir listesi Eurostat tarafından sağlanmaktadır²⁰, dört maddi kategoriye tahsisleriyle birlikte.

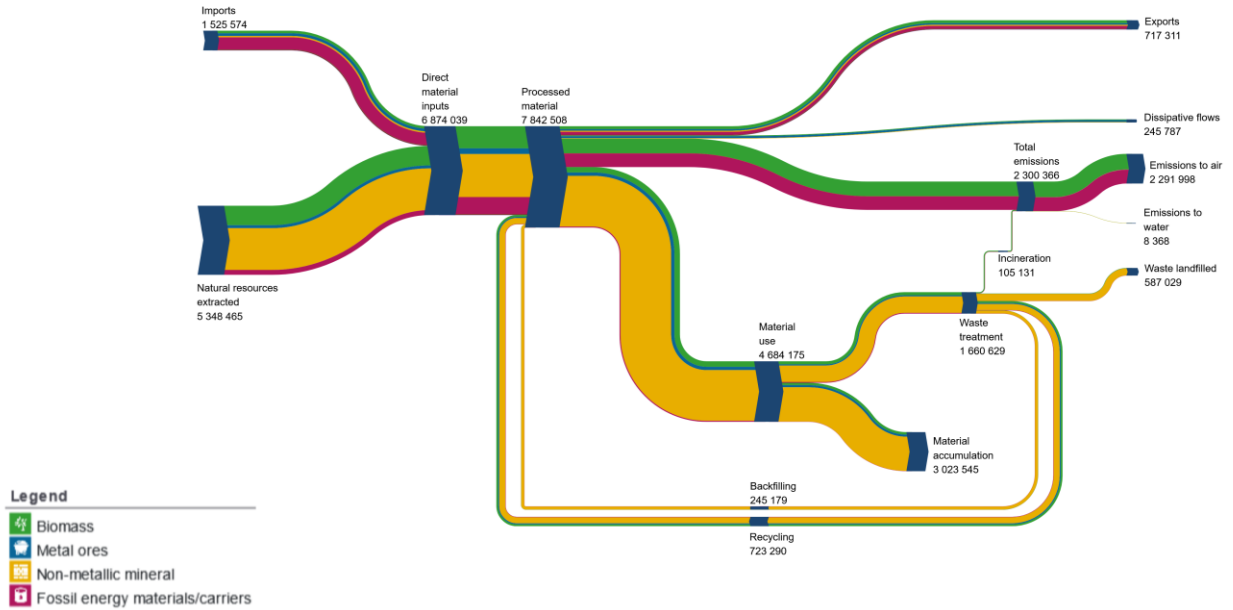
Ekonomi genelindeki malzeme akış diyagramı (Şekil 3-1; ayrıca 2020 Hammadde Puan Tablosu tarafından sunulan verilerin değerlendirilmesine bakın) ile üretim miktarı arasında yakın bir bağlantı vardır.²¹) ve CMUR. Diyagram, CMUR göstergesinin bileşenleri tarafından yakalanan malzeme akışlarını görselleştirir. Okun genişliğinin akışın büyüklüğüne orantılı olduğu bir Sankey diyagramı, (yıllık) akışları sunar:

- (1) ürün üretmek veya enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere çıkarılan kaynaklar;
- (2) topluma giren ve çıkan malzemeler ve ürünler (ithalat ve ihracat); ve
- (3) çöp sahası atıkları veya havaya salınan emisyonlar gibi kalıntılar olarak çevreye atılan veya geri kazanılarak ekonomiye geri kazandırılan malzemeler ve ürünler.

Bina, yol, makine gibi daha uzun ömürlü ve altyapılı ürünler, toplumlarda uzun süreler boyunca birikerek stokları artırır ve sonunda sökülüp kullanımdan kaldırılırlar.

Şekil 3-1 AB, 2020, bin ton için malzeme akış diyagramı.

Material flow diagrams
European Union - year 2020
Thousand tonnes



Source: Eurostat (env_ac_mfa; env_ac_sd; env_wassd)

Kaynak: Eurostat (2021) - ([env_ac_sd](#)) Ocak 2024'te erişildi.

¹⁷ [Dışişleri Bakanlığı'nda WStatR \(europa.eu\)](#)

¹⁸ Eurostat, CMUR'un yıllık tahminine olanak sağlamak amacıyla bir boşluk doldurma (enterpolasyon) ve şimdiki zamanı tahmin etme metodolojisi geliştirmiştir.

¹⁹ Eurostat meta verileri [uluslararası mal ticareti cei_srm030_esmsip_CN-](#)

²⁰ [kodları.pdf \(europa.eu\)](#) <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/scoreboard2021/indicators/ind12.pdf>

²¹ [scoreboard2021/indicators/ind12.pdf](#)

CMUR, ekonomiye giren toplam malzeme miktarına göre kapanış döngüsünün büyüklüğünü sezgisel olarak temsil eder, ancak atık ithalat ve ihracatının tanımları, sınıflandırmaları, kapsamı ve işlenmesi CMUR ve Sankey için farklılık gösterir (Eurostat, 2023a).

3.3 AB'de CMUR eğilimleri

CMUR şu şekilde artabilir: (1) *geri dönüştürülen ve dolayısıyla döngüde tutulan atık miktarının artırılması (RCV_R)* (2) *AB ekonomisine giren birincil hammadde girdilerinin miktarının azaltılması (DMC)*. Bu, geri dönüşüm, ürün tasarımı ve malzeme verimliliğine odaklanan politikalar gibi doğrudan ve dolaylı olarak bu hedefe ulaşılmasına yardımcı olan çeşitli politikalarla desteklenebilir.

Gelişmiş geri dönüşümörneğin daha iyi toplama, ayırma ve geri dönüşüm için teknolojik iyileştirmeler ve geri dönüşüm için ürün tasarımı (CMUR denklemindeki pay) yoluyla elde edilebilir. Geri dönüşüm rakamları (RCV_R) AB üye ülkeleri arasında örneğin İrlanda'da kişi başına 0,26 tondan Lüksemburg'da kişi başına 6,41 tona kadar değişir²²(Tüm rakamlar 2020 yılına aittir).

Ayrıca, ürün dayanıklılığının, yeniden kullanılabilirliğinin ve tamir edilebilirliğinin iyileştirilmesini, malzeme/teknolojik ikameyi (örneğin, metal bazlı yenilenebilir enerji sistemleri ile fosil enerji taşıyıcıları) ve talep tarafındaki değişiklikleri (örneğin, kişi başına düşen taban alanının azaltılması, ürün paylaşımı, daha az et tüketimi) hedefleyen politika önlemleri, **geliştirilmiş malzeme verimliliği** ve **azaltılmış malzeme tüketimi** (CMUR denklemindeki payda) (ETC CE, 2023). DMC rakamları AB üye ülkelerinde İtalya'da kişi başına yaklaşık 7,7 tondan Finlandiya'da kişi başına 45,0 tona kadar büyük ölçüde değişmektedir²³(Tüm rakamlar 2020 yılına aittir).

2030 yılına kadar AB'nin yaklaşık %23,4'lük iki katına çıkarma hedefine denk gelen CMUR, bugün iki AB ülkesi, yani Hollanda ve Belçika tarafından başarılmış (veya aşılmıştır).

Hollanda (NL), yarı mamul ve mamul malların büyük ihracatı sonucunda yüksek atık geri dönüşümü ve düşük DMC nedeniyle zaman içinde sürekli olarak %25 ila %29 civarında bir CMUR elde etti (DMC, hammaddelerin görünür tüketiminin bir ölçüsüdür, yani ihracatın yerel çıkarma ve ithalattan çıkarıldığı anlamına gelir) (Şekil 3-2). NL'de en yüksek CMUR'a sahip yıl 2016'ydı. Hollanda, en büyük atık akışlarından bazıları için (örneğin, inşaat ve yıkım atıkları, diğer mineral atıklar, topraklar, atık arıtma ve yanma atıklarından kaynaklanan mineral atıklar) özellikle yüksek geri dönüşüm oranlarına sahiptir ve ülkenin malzeme stoklarındaki birikimi kişi başına 2,6 tondur (2022'de)²⁴en küçüğü. Belçika'da 2020 ve 2021 yıllarında %23 veya daha yüksek bir CMUR ölçüldü. Yine, bu nispeten yüksek atık geri dönüşümü ve geri doldurma ve düşük yerel malzeme tüketiminin sonucudur (Şekil 3-2). Ancak, her iki örnek de dairesellik düzeyini artırmak için önemli bir kısıtlamayı vurgular, yani (1) kullanımda olan malzeme stoklarında biriken malzemelerin büyük kısmı²⁵; (2) enerji amaçlı kullanılan büyük miktardaki malzemeler²⁶(fosil enerji taşıyıcıları, biyoenerji ve biyokütlenin yem ve gıda amaçlı kullanımı).

²² https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wassd_custom_10964815/default/table?lang=tr

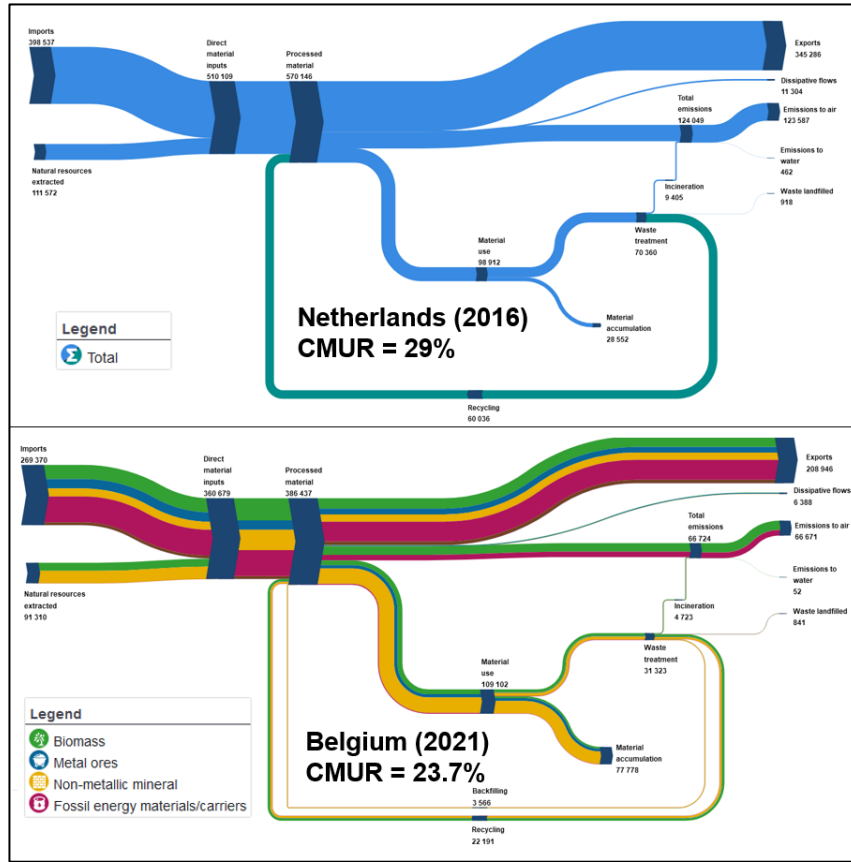
²³ https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_mfa_custom_10964843/default/table?lang=tr

²⁴ https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_sd_custom_11907011/default/table?lang=tr

²⁵ Malzeme birikimi, CE Sankey diyagramında stoklara net eklemeler (NAS) için bir vekildir. Genişleyen malzeme stokları, uzun ömürlü ürünler/mallar ve altyapı biçiminde stoklara eklenen yeni malzemeler geri dönüşüm için hemen mevcut olmadığından malzeme döngüsünün kapanmasını sınırlandırabilir (**mevcut olduğunda CML malzeme stok büyüme göstergesine bağlantı ekleyin: <https://www.eea.europa.eu/en/circularity/thematicmetrics/materialsandwaste>).

²⁶ Malzemelerin dağıtıcı bir şekilde kullanılması, örneğin enerji üretimi için yanma veya doğası gereği dağıtıcı özelliklere sahip ürünlerde (örneğin boyalardaki pigmentler veya lastik aşınması ve yıpranması sonucu oluşan malzeme kayıpları) bunların genellikle geri kazanım ve geri dönüşüm için erişilemez olmasına neden olur.

Şekil 3-2 Hollanda'daki* (2016) ve Belçika'daki (2021) malzeme akışları, AB'nin iki katına çıkarma hedefinin üzerinde bir CMUR'a yol açıyor.



* Hollanda'da mevcut veri yetersizliği nedeniyle hammadde kategorilerine göre ayrıştırma yapmanın mümkün olmadığını belirtmek isteriz.

Az sayıda çalışma, basit "ya şöyle olsaydı" tahminlerine (ETC CE, 2023) ve daha ayrıntılı senaryo çalışmalarına veya dinamik stok ve akış modellerine (Haas vd., 2016; Dittrich vd., 2021) dayalı olarak olası gelecekteki CMUR rakamlarını tahmin etmiştir. Örneğin, (Haas vd., 2016) küresel ekonominin dairesellik düzeyinin, stok büyümesinin durdurulması (metalik olmayan mineraller), eko-tasarım ve yerel malzeme akışı yönetimi, fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması (fosil enerji taşıyıcılarına/malzemesine olan talebin azaltılması), gıda israfının önlenmesi ve biyokütle/odun kullanımının (biyokütle) artırılması gibi bir dizi strateji yoluyla 2025'te yaklaşık %7'den %21-34'e çıkabileceğini tahmin etmiştir. Almanya'da (Dittrich vd., 2021), gelişmiş geri dönüşümün CMUR'u şu anda yaklaşık %11,7'den %21,8'e çıkarabileceğini bulmuştur. Ek olarak, sera gazı nötr ve kaynak verimli bir Almanya'ya doğru senaryolarda geri dönüşümü artırmak için çeşitli teknik seçenekler mevcuttur. Son olarak, ETC CE tarafından yapılan bir çalışma, DMC ve atık geri dönüşümündeki değişikliklerin AB düzeyinde CMUR üzerindeki etkisini incelemiş ve yalnızca hem geri dönüşümün hem de girdi azaltımlarının bir kombinasyonunun AB'nin 2030'a kadar iki katına çıkarma hedefine ulaşmasına izin vereceğini vurgulamıştır (ETC CE, 2023).

3.4 CMUR ile çevresel etkiler arasındaki ilişki

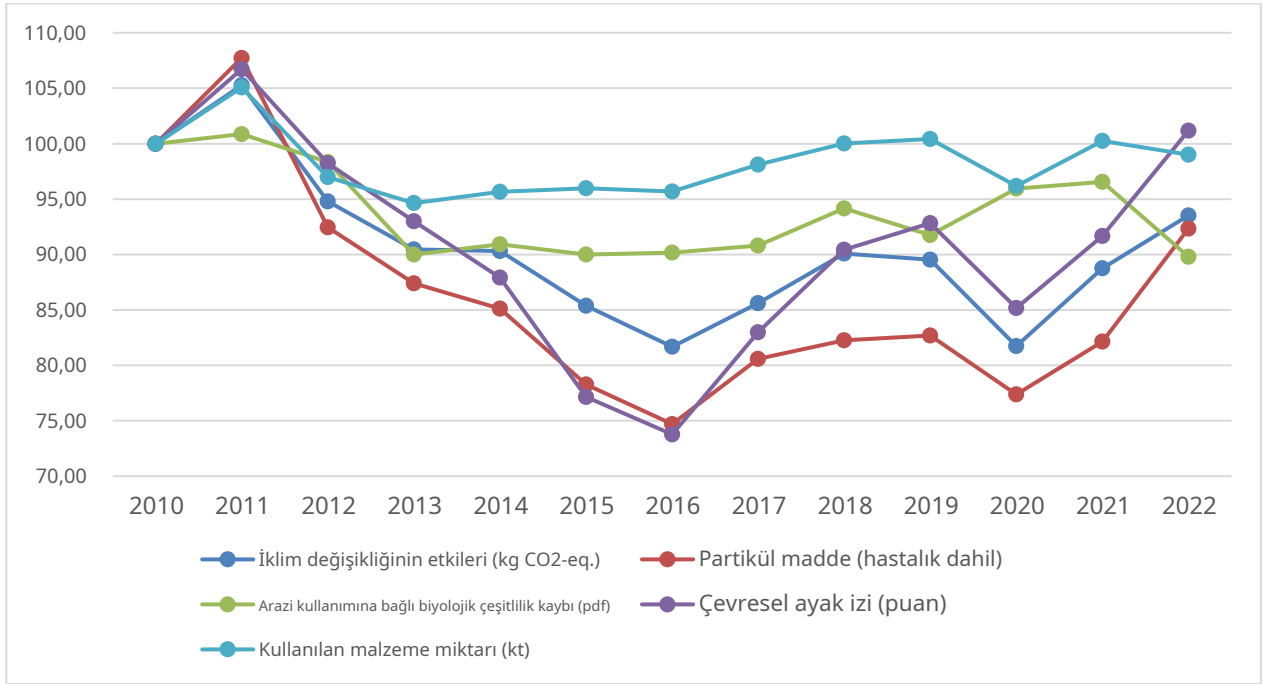
Avrupa Komisyonu (EC), CMUR'un iki katına çıkarma hedefiyle AB'deki genel çevresel etkileri de düşürmeyi umuyor. Malzeme kullanımının çevresel etkilerini değerlendirmek için bir yöntem, Cabernard ve diğerleri (2019) tarafından geliştirilen ve REX3 MRIO veritabanını kullanan IRP GRO 2024 raporunda (UNEP IRP, 2024) uygulanan yöntemdir.²⁷ve ayrıca ETC CE raporu 'CMUR ve iki katına çıkarma hedefinin analizi'nde (ETC CE, 2023) daha ayrıntılı olarak uygulanmış ve açıklanmıştır. Bu yöntem, malzeme çıkarma ve malzemelerin 'kullanıma hazır' hale gelene kadar işlenmesinin çevresel etkilerini değerlendirir

²⁷REX3 MRIO veritabanı: <https://zenodo.org/records/10354283>

imalat sanayi tarafından²⁸Değerlendirme, Avrupa Komisyonu tarafından onaylanan Çevresel Ayak İzi metodolojisinin çevresel etki kategorilerini kapsamaktadır.

Şekil 3-3, Avrupa'da DMC olarak ifade edilen malzeme kullanımının tarihsel eğilimini (2010 ile 2022 arasında) ve iklim değişikliği, partikül madde ve biyolojik çeşitlilik kaybı açısından bu 'kullanıma hazır' malzemelerle ilgili etkileri göstermektedir. Grafiğe 'Çevresel Ayak İzi' açısından ağırlıklı çevresel etki de eklenmiştir. Kullanılan malzeme miktarı 2010'dan 2011'e kadar büyüme göstermiş, bunu 2012'de keskin bir düşüş izlemiştir. Bunu 2016 boyunca hacimde sabit bir eğilim izlemiş, ardından eğilim 2020 ve 2022'de bir istisna olmak üzere artmıştır. Partikül madde de benzer bir eğilime sahiptir, ancak daha belirgindir: 2016'dan sonraki artış, malzeme kullanım hacmindeki artışa kıyasla daha büyüktür. Aynı iklim değişikliği için de geçerlidir, ancak partikül maddeye kıyasla daha az belirgindir. 2011-2016'daki bu düşüş eğilimi, 'kullanıma hazır' malzemelerin çevresel ayak izinde de mevcuttur. Ancak, 2016'dan sonra çevresel ayak izi, 2020 yılında bir istisna olmak üzere tekrar arttı. Arazi kullanımıyla ilişkili biyolojik çeşitlilik kaybı, biyokütle malzemelerinin kullanımındaki eğilime daha yakın ve genel malzeme kullanımındaki eğilime daha az ilişkili olan farklı bir örüntüyü takip eder.

Şekil 3-3 AB-27'de kullanılan hammaddelerin çevresel etkilerinin tarihsel eğilimi, 2010-2022. Tablo 3-1'deki veriler.



Tablo 3-1 AB-27'de kullanılan hammaddelerin çevresel etkilerinin tarihsel eğilimi.

	İklim değişikliğinin etkileri	Partikül madde	Arazi kullanımıyla ilgili biyolojik çeşitliliğin kaybı	Çevresel ayak izi	Malzeme miktarı
	(kg CO ₂ -eşi.)	(hastalık dahil)	(pdf)	(puan)	kullanılmış (DMC) (kiloton cinsinden)
2010	3.09E+12	5.54E+05	7.32E-03	6.39E+08	6.40E+06
2011	3.25E+12	5.97E+05	7.38E-03	6.81E+08	6.72E+06
2012	2.93E+12	5.12E+05	7.20E-03	6.27E+08	6.20E+06

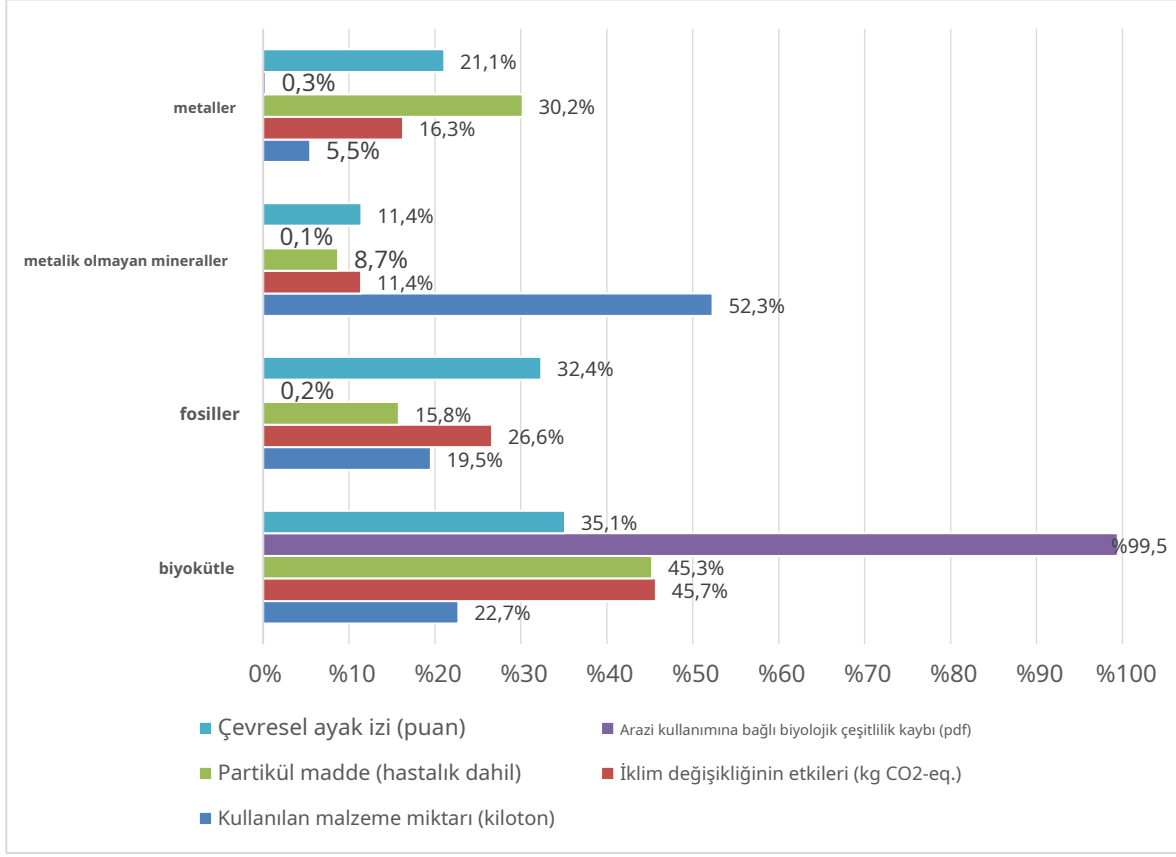
2013	2.79E+12	4.84E+05	6.59E-03	5.94E+08	6.05E+06
2014	2.79E+12	4.71E+05	6.65E-03	5.61E+08	6.12E+06
2015	2.64E+12	4.33E+05	6.59E-03	4.93E+08	6.14E+06
2016	2,52E+12	4.14E+05	6.60E-03	4.71E+08	6.12E+06
2017	2.65E+12	4.46E+05	6.65E-03	5.30E+08	6.28E+06
2018	2.78E+12	4.55E+05	6.89E-03	5.77E+08	6.40E+06
2019	2.77E+12	4.58E+05	6.72E-03	5.93E+08	6.42E+06
2020	2.53E+12	4.28E+05	7.02E-03	5.44E+08	6.15E+06
2021	2.74E+12	4.55E+05	7.07E-03	5.85E+08	6.41E+06
2022	2.89E+12	5.11E+05	6.57E-03	6.46E+08	6.33E+06

Veri kaynağı: ESTAT FIGARO veritabanına (2024 sürümü), ESTAT Hava Emisyon Hesaplarına (son güncelleme: 13/12/2024), ESTAT Malzeme Akış Hesaplarına (son güncelleme: 07/08/2024) ve EXIOBASE v3.8.2'ye dayalı kendi hesaplamamız. AB-27'nin arazi kullanımına ilişkin biyolojik çeşitlilik kaybı ayak izi verileri IRP GRO 2024'ten alınmıştır.

Şekil 3-4'te AB'de kullanılan malzeme miktarları dört farklı malzeme türü arasında bölünmüştür. Benzer şekilde, iklim değişikliği, partikül madde, biyolojik çeşitlilik ve çevresel ayak izi açısından bu malzeme türleriyle ('kullanıma hazır') ilgili çevresel etki aynı malzeme kategorilerine bölünmüştür.

Bakıldığında **kullanılan hammadde miktarları** AB'de, metalik olmayan minerallerin (örneğin, inşaat ve altyapı için kullanılan) kullanılan tüm malzemelerin yaklaşık yarısını oluşturduğunu, ardından biyokütle ve fosil yakıtların ve çok daha düşük bir katkıya sahip metal cevherlerinin geldiğini göstermektedir. Ancak, beşikten kapıya bakıldığında **çevresel ayak izi** (yani, "kullanıma hazır malzemelerin" sonraki ürünler için mevcut olduğu fabrika kapısına kadar) bu sıralama önemli ölçüde farklıdır. Biyokütle, toplam çevresel etkilerin en büyük payından %35 ile sorumludur, bunu fosiller (%32), metal cevherleri (%21) ve metal olmayan mineraller (%11) takip eder. Aynı sonuçlar, özellikle iklim değişikliği ve partikül maddeye bakıldığında da geçerlidir: kullanıma hazır metal olmayan minerallerin iklim değişikliği ve partikül madde üzerindeki etkisi, diğer malzeme türlerinden önemli ölçüde daha düşüktür. Kullanıma hazır malzemeler, toplam çevresel etkilerin yaklaşık %80'ini oluşturur (ayak izi perspektifinden) ve geri kalanı ekonominin geri kalanından ve hanelerin doğrudan etkilerinden kaynaklanır. Biyoçeşitlilik etkisi için resim biraz farklıdır. Yine metalik olmayan minerallerin etkisi hacimsel katkılarına kıyasla çok düşük (neredeyse ihmal edilebilir) olmakla birlikte, arazi kullanımına bağlı biyolojik çeşitlilik kaybına esas olarak biyokütle üretimi (%99) katkıda bulunmakta, bunu metaller (%0,3) ve fosiller (%0,2) takip etmektedir.

Şekil 3-4 AB-27'de kullanılan hammaddelerin miktarları ve çevresel etkileri, 4 malzeme kategorisini ayırarak (2022)



Kaynak: EEA Briefing'e (2023) dayanmaktadır <https://www.eea.europa.eu/publications/how-far-is-europe-fr> ve ETC CE raporu (ETC CE, 2023). 2022 güncellemesi ESTAT FIGARO veritabanına (2024 sürümü), ESTAT Hava Emisyon Hesaplarına (son güncelleme: 13/12/2024), ESTAT Malzeme Akış Hesaplarına (son güncelleme: 07/08/2024) ve EXIOBASE v3.8.2'ye dayanmaktadır. AB-27'nin arazi kullanımına ilişkin biyolojik çeşitlilik kaybı ayak izi verileri IRP GRO 2024'ten alınmıştır.

Şekil 3-4'ten elde edilen içgörüler, CMUR göstergesiyle ölçülen dairesellik düzeyini artırmanın mutlaka daha düşük çevresel etkilere yol açmadığını göstermektedir. Bu, Tüketim Ayak İzi Göstergesi ile karşılaştırıldığında ülkeye özgü CMUR düzeylerine bakılarak doğrulanmaktadır²⁹ Çevresel etkilerin düzeyi, örneğin ülkelerin kullandığı bireysel malzeme karışımına (örneğin, üretilen/ kullanılan enerji türüne ve üretilen/tüketilen ürünlere bağlı olarak) ve malzeme ve enerji talebinin genel büyüklüğüne bağlıdır.

²⁹Ülke düzeyindeki CMUR, ESTAT Dairesel Malzeme Kullanım Oranı veritabanı [cei_srm030] aracılığıyla edinilebilir. Ülke düzeyindeki çevresel ayak izi, EEA'nın [Avrupa Tüketim Ayak İzi](#) gösterge.

4 Metodolojik yaklaşım ve senaryolar

4.1 Giriş

Bu çalışmanın amacı, CMUR hedefini bir vaka çalışması olarak kullanarak metodolojik yaklaşımı geliştirmek ve bu şekilde 2020 ile 2030 yılları arasında AB CMUR iki katına çıkarma hedefine ulaşmanın çevresel etkilerini incelemektir.

Kullanılan yöntem, ETC CE tarafından 2023 yılında CMUR denkleminin payında (malzemelerin dairesel kullanımı) ve paydasında (malzemelerin genel kullanımı) meydana gelen değişikliklerin AB'deki genel dairesellik düzeyini nasıl etkileyebileceğini araştırmak için gerçekleştirilen bir analize dayanmaktadır (ETC CE, 2023).

Bu vaka çalışması için, 2030 yılında CMUR hedefine ulaşmak için üç senaryo tanımlanmıştır ve önlemler aşağıdakilere odaklanmaktadır:

1. Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması
2. Gelişmiş geri dönüşüm
3. Azaltılmış malzeme tüketimi

BOX: Çok Bölgeli Girdi-Çıktı modelleme yaklaşımı

Senaryoları modellemek için Çok Bölgeli Girdi-Çıktı modellemesi kullanılır. Bu yukarıdan aşağıya bir yaklaşımdır, makro bir perspektiften başlar, Avrupa'yı küresel bir bağlama oturtur ve bu yaklaşım AB'nin toplu makro ekonomik düzeyde kapsamlı bir resmini verir. Yaklaşım, ürün düzeyinde sonuç çıkarma imkansızlığı gibi bazı sınırlamalarla birlikte gelir. Bu değerlendirmenin özel bağlamında, kapsamlılık ayrıntı düzeyinden daha önemliydi. Çevresel olarak genişletilmiş çok bölgeli girdi-çıktı (EE-MRIO) modeli EXIOBASE kullanıldı (Stadler ve diğerleri, 2021).

Çalışmada tanımlanan senaryolara göre, fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması arka planında fosil enerji taşıyıcılarının kullanımına, geri dönüşümdeki değişikliklere ve dairesel ekonomi önlemlerinin bir sonucu olarak malzeme gereksinimlerindeki (DMC) genel azalmalara değişiklikler uygulanır. Her senaryo için, CMUR denkleminin parametreleri, CMUR iki katına çıkarma hedefine ulaşılmasını sağlayacak bir dizi farklı kombinasyon kullanılarak değiştirilir. Bu analizde dinamik stok ve akış modeli kullanılmaz. Değişiklikler, (Donati vd., 2020) tarafından geliştirilen metodolojik yaklaşım kullanılarak EXIOBASE'in Çok Bölgeli Girdi-Çıktı (MRIO) tablolarında yapılan ayarlamalar yoluyla modellenir. Çevresel baskılardaki ve etkilerdeki değişiklikler, değiştirilmiş MRIO tabloları kullanılarak bir girdi-çıktı analizi uygulanarak (yani, AB-27 nihai talep ayak izinin hesaplanması) iklim değişikliği, hava kirliliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı için tahmin edilir.

Açık dışsal teknolojik ve talep değişikliğini dahil ederek, bir ne-olursa senaryosunda talebin doğrudan ve dolaylı etkilerini modellemek mümkündür, ancak makroekonomik fiyat değişiklikleri veya sistemik geri tepme etkileri gibi bir ekonominin dinamik tepkisini modellemek mümkün değildir (Wiebe vd., 2018). Dışsal varsayımlar biçiminde uzman bilgisinin kullanılması, şeffaflığı nedeniyle (Donati vd., 2020) teknolojik değişikliği içsel kılan davranışları temsil etmek için resmi yöntemlere güvenmekten daha üstün kabul edilir (Wiebe vd., 2018). Bu yaklaşım, modelleyiciye maksimum derecede özgürlük verir, ancak aynı zamanda uygulanan değişikliklerin hem matematiksel hem de bağlamsal bir şekilde tutarlı olmasını sağlama sorumluluğunu da verir. Ek 1, çevresel etkileri hesaplamak için kullanılan metodolojiyi daha ayrıntılı olarak tartışmaktadır.

Aşağıdaki bölümlerde üç senaryonun metodolojik çerçevede nasıl tanımlandığı ve uygulandığı açıklanmaktadır.

Senaryo tanımı

'Fit for 55' paketi, 2030 yılına kadar AB'nin net sera gazı emisyonlarının 1990 seviyelerinin %55 altına düşürülmesini ve AB'nin 2050 yılına kadar iklim açısından nötr hale getirilmesini hedefliyor³⁰ Temel, mutabık kalınan iklim ve enerji hedeflerinin yanı sıra bunları uygulamaya yönelik temel politika araçlarından (Emisyon Ticaret Sistemi (ETS), Çaba Paylaşımı Yönetmeliği (ESR), Yenilenebilir Enerji Direktifi, Enerji Verimliliği Direktifi, CO) oluşan mevcut 2030 iklim ve enerji mevzuat çerçevesidir.² Otomobiller ve Kamyonetler için Emisyon Performans Standartları ve LULUCF Yönetmeliği³¹ Bu, fosil enerji taşıyıcı girdilerinin kademeli olarak azaltılması, yani DMC'deki fosil enerji taşıyıcılarının/malzemelerinin azaltılması ihtiyacına dönüşür. ALLBNK senaryosunun bir kombinasyonunu izledik³⁰ (en iddialı olanı) ve Küresel Enerji ve İklim Görünümü (GECO)³² modelleme sonuçları (2022-baskısı). ALLBNK senaryosu sera gazı (GHG) hedef hırsını değerlendirmek için kapsam 3 yaklaşımını benimser. ETS kapsamı şu sektörleri kapsar: enerji, endüstri, tüm havacılık ve navigasyon ve karayolu taşımacılığı ve binalar. Orta yoğunluk politikaları enerji verimliliği politikalarına ve yenilenebilir enerji sektörü politikalarına uygulanır. Ulaştırma önlemleri CO₂'yi kapsayan orta yoğunluk politikalarını içerir² karayolu taşımacılığında standartlar ve taşıma sistemi verimliliğini iyileştiren önlemler ve havacılık ve denizcilik yakıt zorunlulukları için yenilenebilir kaynakların yüksek yoğunlukta kullanılması. CO dışı yüksek yoğunluklu politikalar dikkate alınır. GECO modellemesi, dünya çapında enerji ve iklim politikalarının etkilerine ilişkin güncellenmiş bir görüş sunar. Mevcut iklim politikası taahhütleri ve hedefleri, sera gazı emisyonlarında hızlı bir düşüş anlamına gelir, ancak ülkelerin orta vadeli Ulusal Belirlenmiş Katkıları ve Uzun Vadeli Stratejileri ile uyumlu politikaları benimsemede bir uygulama boşluğu ve küresel ısınmayı 2 °C'nin oldukça altına sınırlama ve 1,5 °C'ye kadar çabaları sürdürme Paris Anlaşması hedeflerine ulaşmak için emisyonları azaltmada kolektif bir hırs boşluğu kalır.

Bu çalışmada fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması senaryosu için, **fosil enerji taşıyıcı girdileri 2030 yılına kadar %34 oranında azaltılacak** (ETC CE, 2023). Bu değeri kullanmak **CMUR'u 2030 yılına kadar %12,2'ye çıkarmak** (2020 yılında %11,6 idi).

Senaryo modelleme

EXIOBASE'de bu senaryonun çevresel etkilerini hesaplamak için, yenilenebilir enerji kapasitesine yapılan yatırımlar ve AB Fit-for-55 politika senaryolarına dayalı olarak diğer enerji taşıyıcılarına (örneğin rüzgar, biyokütle, hidro ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları) olan taleplerdeki kaymalar üzerine varsayımlar yapılmıştır.³³ Bu senaryo aynı zamanda enerji verimliliği kazanımlarını da kapsamaktadır.

Senaryo, AB Referans Senaryosu (EC, 2020) tarafından sunulan fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılmasını takip ediyor. Enerji, taşıma ve iklim eylemi alanlarında Avrupa Komisyonu'nun temel analiz araçlarından biridir. Politika yapıcılarının 2020'de yürürlükte olan politika çerçevesine dayanarak uzun vadeli ekonomik, enerji, iklim ve taşıma görünümünü analiz etmelerine olanak tanır. Bu senaryo, politika yapıcılara yeni politika önerilerini değerlendirebilecekleri kapsamlı bir analitik temel sağlayabilir. AB Referans Senaryosu 2020, Avrupa Komisyonu tarafından Temmuz 2021'de kabul edilen Avrupa Yeşil Mutabakat paketindeki politika girişimlerini bilgilendiren seçenekleri değerlendirmek için kullanılan belirli politika senaryolarının ve varyantlarının geliştirildiği temel senaryodur. Bu değerlendirmede, modelleme etki değerlendirme raporunda (EC, 2020) açıklandığı gibi ALLBNK senaryosuyla uyumludur.

³⁰ Senaryo SWD(2020) 176 final ile uyumludur.

³¹ Avrupa İklim Değişikliği Bilimsel Danışma Grubu'nun 2030 ve 2050 iklim hedeflerine ulaşmak için karşılaştığı zorluklar ve önerilere ilişkin genel bakışa şu adresten ulaşılabilir: <https://climate-advisoryboard.europa.eu/reports-and-publications/towards-eu-climate-neutrality-progress-policy-gaps-and-opportunities>

³² https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/geco_en en https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-europeangreen-deal_en

³³

Modelleme, 2020 durumuyla karşılaştırıldığında üç ana değişikliğin olacağını varsayıyor:

- **Yenilenebilir enerjiye yönelik ilave kapasite yatırımları.**2030 yılında yenilenebilir enerji üretmek için ek kapasiteye ihtiyaç duyulmaktadır. 2020 yılında AB27'de rüzgar (kara ve açık deniz), güneş, biyoenerji ve diğer yenilenebilir kaynaklar, nükleer ve fosil yakıtlara dayalı net kurulu kapasite 896 GW'a ulaşmaktadır. ALLBNK senaryosunda kapasite, rüzgar, güneş ve biyoenerji için büyük kapasite artışlarıyla 2030 yılına kadar 1.369 GW'a çıkarılmaktadır (Şekil 29, (EC, 2020)). Nükleer ve fosil yakıtlar için kapasite düşmektedir. Ek kapasitenin 2020-2030 döneminde eşit olarak kurulacağını varsayıyoruz. Yenilenebilir enerji teknolojilerine yapılan yatırımlar yalnızca teknolojinin kendisine yatırım yapmayı içermez, aynı zamanda projelerin planlanması (diğer iş faaliyetleri), sigortalanması, temellerin ve diğer altyapıların inşa edilmesi (inşaat) ve yeni teknolojinin şebekeye bağlanması (inşaat ve elektrikli makine ve cihazlar) gerekir. Dolayısıyla toplam yatırım maliyetleri, brüt sabit sermaye oluşumu vektöründe birden fazla ürün/endüstriye yayılmış durumdadır.

EXIOBASE modeline dört yenilenebilir enerji sektörü eklemeyi seçiyoruz: rüzgar, güneş, hidro ve biyoenerji. Bu sektörlerin girdi yapısı (yani, bu yenilenebilir enerji sektörlerine malzeme ve hizmet girdisi) GEME3 modelinden alınmıştır. Bu sektörlerin çok sermaye yoğun olduğunu ve fosil bazlı sektörlerle kıyasla yalnızca az miktarda ara girdi gerektirdiğini unutmayın. Bu yenilenebilir enerji sektörlerinin sınırlı malzeme girdisi gerektiren sermaye yoğun olduğu varsayılmaktadır. Yalnızca biyoenerji sektörü tarımsal girdiler gerektirir (çıktı başına yaklaşık 0,25 avro). Bakım ve onarım gibi hizmet girdileri de modellenmiştir.

- **Sanayi ve hanelerin enerji ve elektrik talebinde yenilenebilir enerjiye doğru kayma.**Fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjilere olan enerji ürünlerine olan talebin kayması, GECO'dan (2022 sürümü) SAM GEME3 Enerji Tablolarına dayanmaktadır. 2020-2030 değişimi, kömür, ham petrol, petrol ürünleri ve gaz kullanımından elektriğe doğru bir kaymayı gösteren EXIOBASE'e modellenmiştir. Buna karşılık, elektrik üretimi daha fazla yenilenebilir enerjiye doğru değişir. Kaymalar sektör grubu başına mevcuttur ve sektör grubu başına değişken ve ayrıntılı bir modellemeye olanak tanır.
- **Sanayi ve hanelere göre enerji verimliliği.**SAM GEME3 Enerji tablolarından elde edilen değişikliklerden yararlanılarak, bu yalnızca yenilenebilir enerji kullanımına doğru bir geçişi değil, aynı zamanda 2030 yılında birçok sektör ve hanenin daha düşük enerji talebiyle ortaya çıkacak enerji verimliliği kazanımlarını da içermektedir.

Yenilenebilir enerjiye geçiş ve enerji verimliliği kazanımları sonucunda, modeldeki her sektörün doğrudan emisyonları da değiştirilir. Hem yakıt yanmasından kaynaklanan emisyonlar hem de proses emisyonları, GECO modelleme sonuçlarından elde edilen emisyon verilerine göre değiştirilir. Değişimin 2020 ve 2030 tabloları arasındaki farka eşit olduğunu varsaydık.

4.3 Gelişmiş geri dönüşüm

Senaryo tanımı

2020 yılında AB27'de toplam 2,0 Gt atık malzeme işlendi ve bunların %14'ü biyokütle, %5'i metaller, %76'sı metal olmayan mineraller ve %4'ü fosil enerji taşıyıcılarından oluşuyordu. Mevcut teknolojiler ve piyasa koşulları göz önüne alındığında bu atık akışlarının tamamı tamamen geri dönüştürülemez.**2020 yılında arıtılan tüm atıkların yaklaşık %40'ı geri dönüşüme gönderiliyor ve (potansiyel olarak) AB ekonomisine geri kazandırılıyor.**Geri dönüşüme gönderilen atık hacmi ile geri dönüştürülen atık hacmi arasında, ön işlem adımlarındaki (sökme, ayırma, vb.) ve geri dönüşüm sürecindeki kayıplar nedeniyle bir boşluk olduğunu belirtmek önemlidir. Tablo 4-1'de belirtilen 2020 geri dönüşüm oranları, verilerin doğruluğu nedeniyle gerçek geri dönüşüm oranlarını abartıyor olabilir (örneğin: %100'lük bir geri dönüşüm oranı abartı olabilir).

Atık üretimine ilişkin bilgiler, çeşitli nedenlerden dolayı atıkların işlenmesine ilişkin bilgilerle doğrudan ilişkilendirilemez. Atık üretimi, ülkede üretilen atıkla ilgilidir,

Atıkların işlenmesi, ülkede işlenen atık miktarı, bu nedenle atıkların ithalatı ve ihracatı nedeniyle farklılıklar oluşabilir. Ayrıca, atık üretimi atık işleme faaliyetleri (ayırma, kompostlama, yakma) tarafından üretilen atıkları içerirken, işleme tablosu yalnızca son işlemi içerir. Atık işleme zaman alan bir işlemdir ve bu arada ağırlığın bir kısmı kaybolabilir (kurutma). Ayrıca, atıklar üretim ve (son) işleme arasında sökülme ve ayırma işlemine tabi tutulur. Atık işleme verilerinde atılan bir araç bu şekilde gösterilmeyebilir, bunun yerine metal, cam, tekstil vb. gibi olduğu malzemeler gösterilebilir. Kısacası, atık üretim rakamları genellikle atık işleme rakamlarından daha yüksektir.

Ancak, çeşitli atık akışlarının geri dönüşümünün artırılmasına yönelik potansiyeller birkaç çalışmada incelenmiş (örneğin, Trinomics, 2020; EEA, 2020) ve farklı AB ülkeleri arasında yapılan karşılaştırmalar, geri dönüşüm potansiyellerinin ülkeler arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, Tablo 4-1'de vurgulandığı gibi, literatür tahminleri, ülke karşılaştırmaları ve AÇA tarafından yapılan uzman görüşlerinin bir karışımına dayanarak geri dönüşüme yönlendirilebilecek toplam atık miktarını temel alıyoruz.

Tablo 4-1 Eurostat atık kategorileri, maddi kategorilere bölünmüş ve varsayılan maksimum geri dönüşüm oranları

Kod	ATIK (Etiketler)	2020 Geri dönüşüm oranı (RCV_R/çevre_wasttrt)	Varsayım Açık geri dönüştürülebilirlik*	Varsayımın gerekçesi
Toplam	Toplam atık	%40	%69	
W011	Kullanılmış çözücüler	%42	%90	5 ülke %90'dan fazla RR bildiriyor
W012	Asit, alkali veya tuzlu atıklar	%82	%90	10 ülke %90'dan fazla RR bildiriyor
W013	Kullanılmış yağlar	%82	%90	11 ülke %90'dan fazla RR bildiriyor
W02A	Kimyasal atıklar	%42	%90	4 ülke RR'nin %90'dan fazla olduğunu bildiriyor
W032	Endüstriyel atık çamurları	%35	%90	4 ülke RR'nin %90'dan fazla olduğunu bildiriyor
W033	Çamur ve sıvı atıklar atık arıtma	%45	%90	7 ülke RR'nin %90'dan fazla olduğunu bildiriyor
W05	Sağlık hizmetleri ve biyolojik atıklar	%1	%34	LV, %34'lük en yüksek RR'yi bildiriyor
W061	Metal atıkları, demirli	%100	%100	2020 geri dönüşüm oranı
W062	Metal atıklar, demir dışı	%100	%100	2020 geri dönüşüm oranı
W063	Metal atıkları, karışık demir ve demir dışı	%100	%100	2020 geri dönüşüm oranı
W071	Cam atıkları	%98	%98	2020 geri dönüşüm oranı
W072	Kağıt ve karton atıkları	%98	%98	2020 geri dönüşüm oranı
W073	Kauçuk atıkları	%68	%90	6 ülke RR'nin %90'dan fazla olduğunu bildiriyor
W074	Plastik atıklar	%71	%90	7 ülke RR'nin %90'dan fazla olduğunu bildiriyor
W075	Ahşap atıkları	%46	%90	4 ülke RR'nin %90'dan fazla olduğunu bildiriyor
W076	Tekstil atıkları	%72	%90	7 ülke RR'nin %90'dan fazla olduğunu bildiriyor
W077	PCB içeren atık	%50	%70	6 ülke RR'nin %70'ten fazla olduğunu bildiriyor
W081	Atılan araçlar	%100	%100	tüm MS raporları %100
W0841	Pil ve akümülatör atıkları	%97	%100	14 MS raporu %100
W091	Hayvansal ve karışık gıda atıkları	%72	%95	11 MS raporu RR>%95
W092	Bitkisel atıklar	%94	%95	12 MS raporu RR>%95
W093	Hayvan dışkısı, idrarı ve gübresi	%87	%100	13 MS raporu %100
W101	Evsel ve benzeri atıklar	%15	%70	Daha iyi ayırma ve sıralama
W102	Karışık ve farklılaştırılmamış malzemeler	%51	%70	Daha iyi ayırma ve sıralama
W103	Kalıntıları ayırma	%16	%25	4 ülke RR >%25 bildiriyor
W11	Yaygın çamurlar	%60	%90	6 ülke RR'nin %90'dan fazla olduğunu bildiriyor
W121	İnşaattan kaynaklanan mineral atıkları ve yıkım	%78	%96	Trinomics çalışması
W12B	Diğer mineral atıklar (W122+W123+W125)	%9	%33	Bunlar çoğunlukla madencilik atıkları olup, çok özel durumlara bağlıdır. Sadece PL MS, RR>%30
W124	Yanma atıkları	%35	%90	5 ülke %90'dan fazla RR bildiriyor
W126	Topraklar	%36	%80	5 ülke RR'nin %80'den fazla olduğunu bildiriyor

Kod	ATIK (Etiketler)	2020 Geri dönüşüm oranı (RCV_R/çevre_wasttrt)	Varsayım Açık geri dönüştürülebilirlik*	Varsayımın gerekçesi
W127	Kazı ganimetleri	%8	%80	4 ülke RR'nin %80'den fazla olduğunu bildiriyor
W128_13	Atık arıtımından kaynaklanan mineral atıklar ve stabilize atıklar	%80	%90	6 ülke RR'nin %90'dan fazla olduğunu bildiriyor

* Bunların yalnızca gelecekte daha da iyileştirilmesi gereken ilk teorik tahminler olduğunu unutmayın. Atık işleme rakamlarını türetme yöntemleri, Üye Devletler veri toplama yöntemlerine karar vermekte özgür oldukları için ülkeye göre değişebilir. Geri dönüşüm oranları, raporlama geri dönüşüm süreçleri sırasında kayıpları düşmeyebileceği için aşırı tahminler içerebilir. RR: geri dönüşüm oranı.

Bu ilk tahmine göre, **gelecekte tüm atıkların yaklaşık %69'unun teorik olarak geri dönüştürülebileceği**, örneğin, daha iyi toplama, sıralama ve geri dönüşüm için pazar teşvikleri gibi teknolojik gelişmelerin bir karışımı yoluyla. CMUR hesaplamasında bu değeri kullanmak, **dairesellik düzeyi 2030 yılında %21,0'a kadar çıkabilir** ((2020'de %11,6'ydı) fosil yakıtların kullanımdan kaldırılması senaryosunun etkisi de dahil.

Senaryo modelleme

EXIOBASE'deki çevresel etkileri hesaplamak için, Tablo 4-1'e ve 1:1 ikameye dayalı olarak birincil ve ikincil malzemelere olan taleplerdeki kaymalar üzerine varsayımlar yapılır.³⁴ Birincil malzemeler için. Yedi vardiya modellenmiştir. İkincil malzemelere olan artan talep, ek ikincil malzemeleri tedarik etmek için belirli atık yönetimi faaliyetlerinde bir artış yoluyla modellenmiştir. Tablo 4-1'deki kategorilere dayanarak, EXIOBASE modeline ikincil odun (EXIOBASE sektörü 51), ikincil kauçuk ve plastikler (EXIOBASE sektörü 60) ve diğer atık yönetimi faaliyetlerini (EXIOBASE sektörü 94) sunan üç atık yönetimi sektörü eklenmiştir. Modelleme kalitesini iyileştirmek için üç yeni sektör oluşturulmuştur ve girdi yapısı tüm AB27 sektörlerinin (ağırlıklandırılmış) ortalaması olarak türetilmiştir.

Bu değerlendirmede, geri dönüşüme gönderilen 1 kg atığın, 1 kg birincil malzemenin yerini aldığı 1:1 ikame oranını varsayıyoruz.

Modellemeye dahil edilen yedi değişim şunlardır:

- Geri dönüşüme gönderilen kimyasal atıkların (W01-05) 12,3 milyon tondan 22,8 milyon tona çıkması kimyasallara olan talebin yerini almaktadır (EXIOBASE sektör 57, petrol rafinerisi). Artan atık yönetimi faaliyetleri EXIOBASE sektör 94 tarafından sunulmaktadır.
- Geri dönüşüme gönderilen kauçuk ve plastik atıkların (W073+074) 10,0 milyon tondan 12,7 milyon tona yükselen hacmi, birincil kauçuk ve plastiklere olan talebi karşılamaktadır (EXIOBASE sektörü 59, plastikler temel). Artan atık yönetimi faaliyetleri, ikincil kauçuk ve plastikler üzerindeki özel EXIOBASE sektörü tarafından sunulmaktadır (EXIOBASE sektörü 60, ikincil plastiğin yeni plastiğe yeniden işlenmesi).
- Geri dönüşüme gönderilen odun hacminin (W075) 18,5'ten 36,2 milyon tona çıkması, birincil odunun yerini almaktadır (EXIOBASE sektörü 50, mobilya hariç odun ve ahşap ve mantar ürünleri imalatı; hasır ve örgü malzemeleri imalatı). Artan atık yönetimi faaliyetleri, ikincil oduna ilişkin özel EXIOBASE sektörü tarafından sunulmaktadır (EXIOBASE sektörü 51, ikincil odun malzemesinin yeni odun malzemesine yeniden işlenmesi).
- Geri dönüşüme gönderilen tekstil atığının (W076) hacminde 1,0'dan 1,3 milyon tona küçük bir artış, tekstil üretiminin (EXIOBASE sektör 47, tekstil imalatı) yerini almıştır. Artan atık yönetimi faaliyetleri EXIOBASE sektör 94 tarafından sunulmaktadır.
- PCB ve piller ve akümülatörler içeren atıklarda (W077+0841) 1,4'ten küçük bir artış 1,5 milyon ton, birincil elektronik ürünleri ikame eder (EXIOBASE sektörü 88, elektrikli makine ve cihaz imalatı, nec). Artan atık yönetimi faaliyetleri EXIOBASE sektörü 94 tarafından sunulmaktadır.

- Geri dönüşüme gönderilen organik atıkların (W09+101) büyük bir hacmi, 83,0'dan 141,6 milyon tona çıkarılarak birincil biyokütlenin (EXIOBASE sektör 62, P- ve diğer gübreler) yerini almıştır. Artan atık yönetimi faaliyetleri EXIOBASE sektör 94 tarafından sunulmaktadır.
- Geri dönüşüme gönderilen mineral atıkların (W10-12, 101 hariç) hacminde 536,9'dan 1.022,4 milyon tona büyük bir artış, birincil minerallerin yerini alıyor (EXIOBASE sektör 32 ve 33, taş, kum ve kil ocağı). Artan atık yönetimi faaliyetleri EXIOBASE sektör 94 tarafından sunulmaktadır.

Hacim açısından en büyük değişim mineral atıkla bağlantılıdır, bunu gıda atığı takip eder. Diğer değişimler hacim açısından yalnızca daha küçük değişiklikler sunar. Ancak, değişiklikler parasal IO tablolarında uygulanır, yani hacimler fiyatlara dönüştürülür. Geri dönüşüme gönderilen atık miktarlarına göre, yukarıya bakın ve Eurostat'tan AB27 üretim miktarları¹³⁵, ikame etkisinden kaynaklanan (birincil) üretim azaltma potansiyelini temsil eden bir pay türetilir. Birincil üretimdeki azalma, azaltılmış (ara ve nihai) talep yoluyla modellenir. İkame, ikincil malzemeler için artan (ara ve nihai) talep yoluyla modellenir. Bu, 1:1 ikame oranını varsayar. Bu parasal ikameye dayanarak, en büyük değişimler organik atık (29 milyar avro), kauçuk ve plastik atık (19 milyar avro) ve ahşap atık (16 milyar avro) içindir.

Yukarıdaki varsayımlara dayanarak, bu senaryo gelişmiş geri dönüşümün potansiyelinin üst sınırı olarak düşünülmelidir. Birkaç faktör daha iyimser bir değere ayarlanmıştır, bazıları uygulanabilirlik aralığının bile ötesindedir (örneğin, 1:1 ikame oranı).

KUTU: Gelişmiş geri dönüşümün optimizasyonu

Metodolojik yaklaşımda belirtildiği gibi, gelişmiş geri dönüşümün modellenmesi söz konusu olduğunda bazı temel varsayımlar yapılır. Bu konuda iki husus büyük önem taşır: geri dönüşüm oranlarına ilişkin verilerin doğruluğu, ki bunlar artık büyük ihtimalle aşırı tahminlerdir ve modellemede yakalanmayan geri dönüşümün kalitesi.

Tablo 4-1'de sunulan geri dönüşüm oranları büyük ihtimalle abartılı tahminlerdir. Örneğin tekstil atıklarına bakıldığında, mevcut geri dönüşüm oranının (bildirilen işlenmiş tekstil atığının payı olarak) 2020'de %72 olduğu belirtiliyor (Eurostat'tan alınan veriler) ve 2030'a kadar tahmini maksimum geri dönüşüm oranının %90 olması bekleniyor. Bu sayı, ayrı toplanan tekstillerin geri kazanıma (geri dönüşüme) gönderilen payını temsil ediyor. Ancak, bugün büyük miktarda tekstil atığı ayrı olarak toplanmıyor ve bu nedenle geri kazanılmıyor (ETC CE, 2024)

Ayrıca, geri dönüşüme yönlendirilen bildirilen miktarların yalnızca elyaftan elyafa geri dönüşümü değil, her türlü geri kazanımı (enerji geri kazanımı hariç) içerdiğini belirtmek önemlidir. 2020'de yalnızca %1 (veya daha azı) elyaftan elyafa geri dönüşümdü. Ana pay, temizlik bezleri gibi açık devre geri dönüştürülmüş ürünler veya hatta sentez gazı oluşturmak için tekstil atıklarının termo-mekanik geri dönüşümüydü. Bu nedenle geri dönüşümün kalitesi, daha da optimize edildiğinde gelişmiş geri dönüşümün çevresel potansiyelini etkileyebilecek bir diğer önemli husustur.

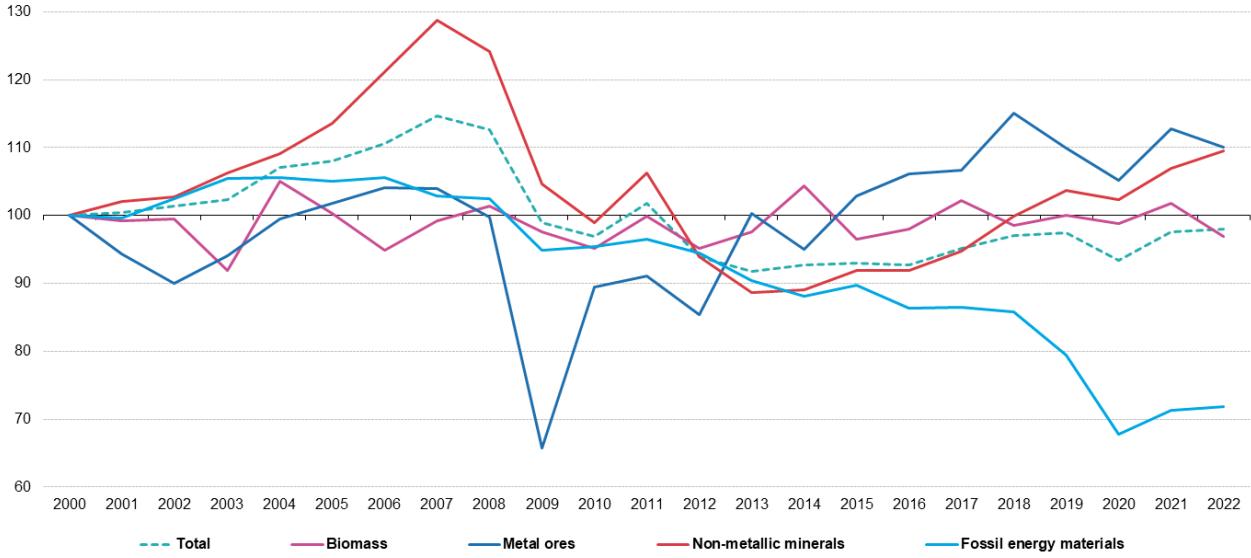
Özetle, bu değerlendirme için uygulanan yaklaşım ikincil ve birincil malzemelerin kalitesindeki farklılıkları yakalamaz. Ayrıca geri dönüştürülmüş malzemelerin kalitesini iyileştirme potansiyelini de değerlendiremez. İlk yaklaşımın çevresel faydaları abartması muhtemelken, ikinci yaklaşımın gelişmiş geri dönüşüm senaryosunun faydalarını küçümsemesi muhtemeldir.

4.4 Azaltılmış malzeme tüketimi

Senaryo tanımı

AB için Yerel Malzeme Tüketimi'nin (DMC) tarihsel eğilimine bakıldığında, bu, büyük ölçüde fosil enerji malzemelerinin yerel tüketimindeki düşüş nedeniyle 2000'den 2022'ye kadar hafifçe azaldı (Şekil 4-1). Öte yandan, metalik olmayan minerallerin ve metal cevherlerinin kullanımı arttı. Biyokütle kullanımı kabaca sabit kaldı.

Şekil 4-1 Ana malzeme kategorisine göre yerel malzeme tüketiminin gelişimi, AB, 2000-2022 (ESTAT verileri)³⁶

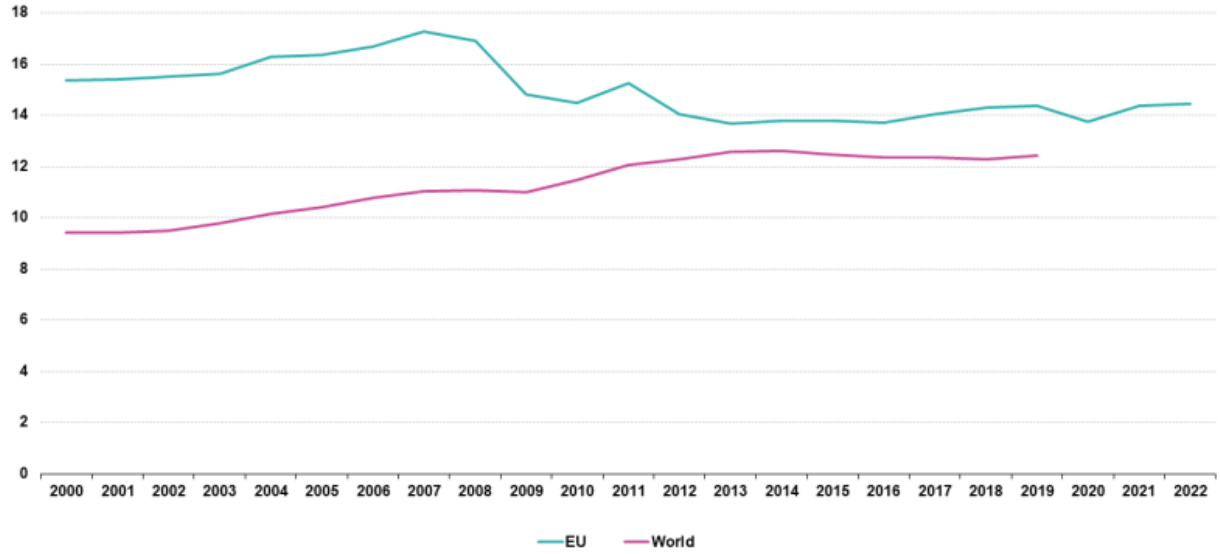


Malzemelerin ekonomik çıktıya dönüştürülme verimliliği şu şekilde ifade edilebilir: *maddi yoğunluk* (MI), kullanılan malzemenin gayri safi yurtiçi hasılaya (GSYİH) oranı olarak hesaplanmıştır. 2020 yılında AB'nin DMC'si yaklaşık 6,1 Gt iken GSYİH'si yaklaşık 12,5 trilyon Avro idi ve bunun sonucunda 0,49 kg/EUR'luk bir MI elde edildi.

Şekil 4-2, AB'nin küresel ortalamaya kıyasla malzeme tüketimini vurgulamaktadır. Genel olarak, AB'nin DMC'si 2000'de kişi başına 15 tondan fazla iken 2022'de yaklaşık 14 tona düşmüştür (22 yılda yaklaşık %6,5 düşüş). Aynı zamanda, küresel malzeme çıkarımı kişi başına 9,4 tondan kişi başına 12 tonun biraz üzerine istikrarlı bir şekilde artmıştır.

Şekil 4-2 2000-2022 yılları arasında AB'de ve küresel ölçekte malzeme tüketiminin gelişimi
(Kaynak: ESTAT³⁷ve IRP MFA³⁸(veritabanı))

Development of material consumption in EU and world, 2000-2022
(tonnes per capita)



Sources:
- Eurostat (online data code: env_ac_mfa; demo_gind);
- UN Environment - International Resource Panel: Global Material Flows Database
(<https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database>);
- World Bank (<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>).

eurostat

Ancak, AB'de DMC'nin 2000 yılında yaklaşık 6,6 Gt'den 2022 yılında yaklaşık 6,5 Gt'ye (yılıda yaklaşık %0,1'lik bir azalma) düşme eğiliminin hızı 2030 yılına kadar devam ederse, bu AB'nin CMUR'u iki katına çıkarma hedefine ulaşmak için yeterli olmayacaktır. Fosil yakıtların kullanımdan kaldırılması senaryosu DMC'yi 2020 yılında 6,2 Gt'den 2030 yılında 5,8 Gt'ye düşürecektir (2020 yılına kıyasla %6'lık DMC azalması). Geliştirilmiş geri dönüşüm senaryosunun eklenmesi DMC'yi 2030 yılında 5,2 Gt'ye daha da düşürecektir (2020 yılına kıyasla %15'lik DMC azalması). CMUR'u iki katına çıkarmak için DMC'nin 2030 yılında yaklaşık 4,6 Gt'ye düşürülmesi gerekmektedir (2020 yılına kıyasla %26'lık DMC azalması).

Bu nedenle, CMUR iki katına çıkarma hedefine ulaşmak için yeterli bir düzeye kadar malzeme tüketimini daha da azaltmak için üçüncü bir senaryonun gerekli olduğu açıktır. Döngüsel Ekonomi politikası ve ilgili önlemler bunda önemli bir rol oynayacaktır. Geçmiş eğilimlere bakıldığında gözlemlenenden daha önemli ölçüde DMC'yi düşürmek için politika yaklaşımları ve önlemleri, enerji ve kaynak verimliliğini artırmak için iyileştirilmiş ürün dayanıklılığı, yeniden kullanılabilirlik, yükseltilebilirlik ve onarılabilirlik gibi politika önlemlerini içerir. Sürdürülebilir tüketimi/yaşam tarzı değişikliklerini destekleyen politika önlemleri, örneğin, kişi başına düşen daha düşük taban alanı veya ürün paylaşımı, aynı ürünler/ihtiyaçları karşılamak için daha az malzeme gerektiren mevcut ürünlerin daha yoğun kullanımına yol açar. **BuAzaltılmış malzeme tüketimi senaryosunun DMC'yi 5,2 Gt'den 4,6 Gt'ye düşürmesi gerekiyor**2020 ile 2030 yılları arasında (yaklaşık %12,3), yani diğer iki senaryoya ek olarak DMC'de 642 milyon tonluk bir azalma**%23,2'lik bir CMUR'a ulaşmak.**

37 [https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Dosya:AB ve dünyada malzeme tüketiminin gelişimi, 2000-2022.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Dosya:AB_ve_dunyada_malzeme_tuketiminin_gelismisi_2000-2022.png)

38 <https://www.resourcepanel.org/global-malzeme-akislari-veritabanı>

Senaryo modelleme

Azaltılmış malzeme tüketimi senaryosunun etkisi, diğer iki senaryo için kullanılan modelleme yaklaşımıyla değerlendirilemez. Malzeme tüketimini azaltmaya odaklanan CE müdahalelerinin potansiyel çevresel etkilerini tahmin etmek için iki farklı yaklaşım izlenir:

- Literatür incelemesi dairesel müdahalelerin malzeme kullanımı ve çevresel etkiler üzerindeki etkisini değerlendiren çalışmalara odaklanmaktadır. Kapsam, yöntem ve varsayımlardaki farklılıklara rağmen, incelenen literatür, dairesel ekonominin iklim değişikliğinin hafifletilmesinde ve diğer çevresel etkilerin azaltılmasında önemli bir rol oynadığını tutarlı bir şekilde göstermektedir (ETC CE, 2024). İlgili literatürün kısa bir özeti ve bulguların bir özeti bu bölümde daha ayrıntılı olarak sunulmaktadır.
- (ETC CE, 2023)'te geliştirilen metodolojiye dayanarak, kullanıma hazır malzemeler için çevresel etkiler hesaplanır, 4 farklı malzeme kategorisini ayırt eder - metaller, metal olmayan mineraller, fosil yakıtlar ve biyokütle. İlk olarak, 4 malzeme kategorisine bölünmüş DMC'de ek olarak gereken azalmaya ulaşmak için farklı seçenekler tanımlanır. Hedeflenen DMC azaltımının uygulanabilir olup olmadığını kontrol etmek için bir literatür taraması yapılır. İkinci adımda, bu azaltılmış tüketimle tetiklenen çevresel etki azaltımı, her bir malzeme kategorisi için, tanımlanan seçeneklere göre hesaplanır. Bu yaklaşım, tanımlanan seçenekler ve sonuçlar bu bölümde daha ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

Kutu: Cabernard ve diğerleri tarafından geliştirilen 'Kullanıma hazır malzemeler' metodolojisi (2019)

Özünde, bu metodoloji toplam çevresel ayak izini AB27 nihai talebinden kullanıma hazır malzemeler ve yakıtlar, kalan ekonomi ve hanelerden gelen doğrudan etki için tahsis edilen bir paya ayırmaya olanak tanır. Tanımlanmış kullanıma hazır malzemeler ve yakıtlar noktasına kadar üretim ağlarının tüm çevresel etkileri kaynak gruplarından birine tahsis edilir. Diğer çevresel etkiler kalan ekonomi grubuna tahsis edilir. Hanelerden gelen etki (doğrudan etkiler, örneğin evde ısıtma için doğal gazdan kaynaklanan emisyonlar) hane kategorisine tahsis edilir.

Yöntem "hedef perspektifine" uygulanır. Bu perspektifte etkiler "hedefe" atfedilir, bu durumda bunlar (kendi kendini tanımlayan) kullanıma hazır malzemeler ve dört malzeme kategorisine, yukarı akış tedarik ağı da dahil olmak üzere (Cabernard vd., 2019) toplanan yakıtlardır. Tedarik ağlarının aşağı akışındaki çevresel etkiler malzeme kategorilerine tahsis edilmez. Bu aşağı akış emisyonları esas olarak fosil kaynaklar için kritiktir, çünkü bunların yanması küresel emisyonların büyük çoğunluğuna neden olur (küçük bir kısmı ayrışma yoluyla biyokütleyle tahsis edilir) (Cabernard vd., 2019).

Malzeme kategorileri, eşleşen sektörel çıktıya göre kaynak grupları tarafından yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

- Biyokütle, tarım, ormancılık, balıkçılık, gıda işleme endüstrileri, odun ve kağıt hamuru üretimi gibi sektörlerin çıktılarına göre tanımlanmaktadır;
- Metaller, sektörlerin çıktılarına göre tanımlanır: metal cevherlerinin madenciliği ve temel metal üretimi (yani demir-çelik, alüminyum, kurşun, çinko, kalay, bakır, diğer demir dışı metallerin üretimi ve metallerin dökümü);
- Metalik olmayan mineraller, şu sektörlerin çıktılarını oluşturur: metalik olmayan minerallerin madenciliği, gübre üretimi ve mineral ürünlerin imalatı; ve
- Fosiller; fosil yakıtların çıkarılması sonucu ortaya çıkan sanayi dallarından, petrol rafinerilerinden, kimya sanayinden ve plastik ve kauçuk üretiminden elde edilen çıktıları içerir;

Değerlendirme ve tartışma, dört malzeme kaynağı grubunun (metaller, metal olmayan mineraller, fosiller ve biyokütle) çevresel etkilere katkısına odaklanır. İlgiliyse, malzeme kategorisi başına ek ayrıntılar dahil edilir.

Literatür taramasına dayalı yaklaşım

Belirli dairesel müdahalelerle bağlantılı malzeme kullanımındaki ve çevresel etkideki azalmaların değerlendirilmesini veya tahminini içeren sınırlı sayıda yayın incelenmektedir.

Dairesellik Açığı Raporu

Küresel bir bağlamda, **Dairesellik Açığı Raporu**, dairesel müdahalelerin küresel sera gazı emisyonlarını %39 ve **bakır kaynak kullanımını %28 oranında azaltabileceğini tahmin ediyor** (Circle Economy, 2021). Bu tür müdahalelere örnek olarak, örneğin, paylaşımlı mobilite kavramları, kişi başına düşen toplam taban alanında azalmalar, binaların dayanıklılığının artırılması veya sağlıklı diyetlere geçiş verilebilir (Tablo 4-2). Tablo 4-2'de özetlenen bilgiler, müdahalenin bu çalışmada tanımlanan müdahale türlerine (senaryolara) bağlandığı son sütun hariç, doğrudan (Circle Economy, 2021)'den alınmıştır. Enerji sistemindeki değişikliklerin (çalışmamızdaki müdahale 1) dairesellik boşluğu raporundaki arka plan sisteminin bir parçası olduğunu ve Tablo 4-2'de açıkça vurgulanmadığını unutmayın. Birlikte, **Birleştirilmiş müdahalelerin küresel sirkülerlik düzeyini neredeyse iki katına çıkaracağı tahmin ediliyor**³⁹ **Bugünkü %8,6'dan 2050 yılında %17'ye.**

Tablo 4-2 ()'de incelenen müdahalelerden kaynaklanan sera gazı emisyonu tasarrufları (Dairesel Ekonomi, 2021) ((küresel düzeyde)

Araya girmek	Toplumsal ihtiyaç	GHG emisyonu tasarrufu (Gt) CO ₂ -eşdeğeri	Malzemeler indirgeme (Gt)	Araya girmek t _{ip} (bu çalışma)*
"Doğal" konut çözümleri	Konut	6.5	3.1	3
Sürdürülebilir gıda üretimi	Beslenme	3.4	0,7	3
Kaynak verimli inşaat	Konut	3.4	4	3
Zemin alanını azaltın	Konut	3.2	8.4	3
Seyahati azaltın	Hareketlilik	2.4	2	3
Sağlıklı beslenme	Beslenme	2.1	3.4	3
Konut dayanıklılığını artırın	Konut	2.1	5.3	3
Kaynak verimli konut	Konut	2	0,9	3
Araç kullanımını iyileştirin	Hareketlilik	1.8	1.6	3
Dairesel araçlar	Hareketlilik	1.5	3.3	2
Araç dayanıklılığı	Hareketlilik	1.3	2.2	3
Aşırı tüketimin azaltılması	Beslenme	1.3	0,4	3
Araç tasarımı iyileştirmeleri	Hareketlilik	1.2	1.2	3
Dairesel yapı malzemeleri	Konut	1.1	3.5	2
Kimyasal içermez	Sarf malzemeleri	1	2.5	3
Temiz pişirme ocakları	Beslenme	1	0,5	3
Tüketici ürünlerinin verimli tasarımı ve kullanımı	Sarf malzemeleri	0,3	0,8	3
Dairesel sarf malzemeleri	Sarf malzemeleri	0,3	0,5	2
BİT'lerin etkin tasarımı ve kullanımı	İletişimler	0,2	0,3	3
Dairesel sağlık sistemi	Sağlık hizmeti	0,2	0,3	2
Dayanıklı tüketim ürünleri	Sarf malzemeleri	0,2	0,3	3

* Enerji sistemindeki değişimin (müdahale 1 "fosil yakıtın aşamalı olarak kaldırılması") CGR 2021'deki tüm müdahalelerde zaten hesaba katıldığını unutmayın. Listelenen müdahaleleri çalışmamızdaki senaryo 2 veya 3 ile açıkça ilişkilendirmek her zaman mümkün değildir. Kaynak: Şekil 4 (Müdahaleler Girdabı) (Circle Economy, 2021).

Tablo 4-2'den konutla ilgili CE müdahalelerinin sera gazı azaltımı ve malzeme azaltımı açısından en büyük potansiyele sahip olduğu, ardından hareketlilik ve beslenmenin geldiği açıktır. Bu nedenle konut odaklı CE müdahaleleri iklim değişikliği etkisini azaltmayı ve aynı zamanda azaltmayı hedeflerken en etkilidir

genel malzeme kullanımımız. Hava kirliliği, arazi kullanımı değişikliği, tatlı su kullanımı ve asitlenme gibi diğer çevresel etki kategorileriyle ilgili olarak, CGR 2023 (Daire Ekonomisi, 2023) yine küresel düzeyde rakamlar sunmaktadır (Tablo 4-3). Bu, daha dairesel bir ekonomiye geçişin (yukarıda belirtilen müdahaleler yoluyla) ayrıca, özellikle iklim değişikliği, atmosferik aerosol yüklenmesi ve arazi kullanımı gibi diğer çevresel etkilerin azaltılması açısından da faydalı etkilere sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu, bu rapor için, odaklanılan "üçlü gezegen krizi" ile ilişkili oldukları için önemlidir.

Tablo 4-3 (Döngüsel Ekonomi, 2023) CGR 2023'te (küresel düzey) vurgulandığı gibi, CE önlemleri sayesinde 2050'ye kadar elde edilecek ek çevresel etki tasarrufları (araştırılan örnekler için Tablo 4-2'ye bakın).

Darbe kategori	İklim değiştirmek	Okyanus asitleşme	N döngüsü (hava)	P toprağı	Atmosferik aerosol yükleniyor	Tatlı su kullanmak	Kara sistemi değiştirmek	Malzeme ayak izi
Birim	ppm	CO ₃ ⁺	Ay/yıl	Ay/yıl	AOD	Mm ³ /yıl mavi su	Mkm ² kaybı orman kapalı alan	Büyük
Temel çizgi	1018,5	3.1	98.9	34.8	0,03	1.6	23.61	95.1
Kombine senaryo	510.7	1.6	59,8	22.6	0,02	1.5	- 6.9	63.2
Yüzde değiştirmek	- %50	- %48	- %40	- %35	- %33	- %6	- %129	- %34

Hırs düzeyi (yani, her tüketim alanında modellenen ayrıntılı değişiklikler) CGR serisinde daha ayrıntılı olarak özetlenmiştir. CGR serisinde incelenen önlemler, ülkelerin Ulusal Olarak Belirlenen Katkılarının (NDC'ler) ötesine geçen müdahaleleri içerir (yani, iklim koruması kapsamındaki mevcut taahhütler). Bunlar ayrıca farklı aktörlerin CE politikaları kapsamına girdiğini düşünebileceklerinin ötesine de geçebilir. Özetle, en büyük etkilere neden olan üç sektördeki varsayılan değişiklikler şunlardır (Kaynak: CGR metodolojik belgesi 2023'ten alınmıştır⁴⁰):

Konut:

- Enerji kullanımında %6 ile %25 arasında azalma sağlanır.
- Düşük karbonlu inşaat: Yeni konutlarda ahşap kullanımının iki katına çıkarılması ve çelik, alüminyum ve çimento kullanımının %15 azaltılması.
- Hafifletme ve azaltılmış malzeme ihtiyacı: Yeni inşaatlarda çelik kullanımında %15, beton kullanımında ise %18 azalma (ahşap kullanımıyla ikame).
- İnşaat sektörünün ulaşım ihtiyacının %50 oranında azaltılması.
- İnşaatla çimento ve mamul metal ve mineral ürünlerinin %18'inin taş, tuğla, kum ve kil ile ikame edilmesi.
- Dünyanın tüm bölgelerinde atık ve katı atıkların yakılmasının ortadan kaldırılması.

Yiyecek:

- Dünya genelinde gıda israfında %50 azalma.
- Sağlıklı beslenme: Şeker ve şekerli içecekler gibi besin değeri düşük besinlerin kalorisini ortadan kaldırın ve bunun yerine meyve, sebze ve kuruyemiş tüketin.
- Seçili gıda ürünlerinin taşınmasında %50 indirim.
- Organik tarım sistemini temsil etmek amacıyla kimyasal N ve P gübreleri elimine edildi.

Hareketlilik:

- Araçsız yaşam tarzı: Bu değişimlerin etkisi kentsel nüfusun %40'ını, kırsal nüfusun ise %10'unu etkiliyor.
- Özel araçla kat edilen yolcu kilometrelerindeki azalma, kısmen bisiklet ve yürüyüşle (toplam yolcu kilometresinde %30'luk bir azalma olarak modellenmiştir) ve kısmen de araç paylaşımıyla (toplam yolcu kilometresinde azalmanın %70'i) telafi edilmiştir.
- Dünyadaki beş bölgede binek araçların %50'si, toplu taşıma araçlarının ise %100'ü elektrikli.
- Araç tasarımı ve hafifletme: Özel otomobil ve minibüslerde kullanılan metaller %50, trenlerde kullanılan çelik, bakır ve alüminyum ise %17 oranında azaltıldı.
- Enerji dönüşümü: Fosil enerji kaynaklarıyla (kömür, kok, gaz, petrol ve petrol türevleri) üretilen elektriğin %75'inin aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması.

CGR raporundan alınan örnekler, 2050 yılına kadar küresel düzeyde DMC'yi (28%) azaltmak ve CMUR'yi (8,6'dan %17'ye) artırmak (ve çevresel etkiyi azaltmak) için yüksek bir hırs seviyesinin gerekli olduğunu göstermektedir. CMUR hedefini karşılamak için Avrupa'da DMC'yi ek olarak %12,3 oranında azaltmamız gerekiyorsa, Avrupa düzeyinde de hırslı müdahaleler gerekecektir. Sadece üretim tarafındaki önlemlere odaklanmak yeterli olmayacaktır, talep tarafındaki önlemlerden ek kazanımlar elde edilmesi gerekmektedir.

Diğer çalışmalar CMUR'yi açıkça hesaplamadı, ancak CE önlemleri nedeniyle olası çevresel etki tasarruf aralıklarını sağladı. Bulguları da içeren en alakalı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Donati ve meslektaşları

Bu tür stratejilerin küresel düzeyde potansiyelini gösteren başka bir çalışma, yani ürün yaşam süresinin uzatılması veya kaynak verimliliği, (Donati vd., 2020)'de belgelenmiştir. Ürün veya bileşenlerin kullanımını uzatmayı amaçlayan müdahaleler, bir yandan yeniden kullanımı ve yeniden üretimi, diğer yandan gecikmiş ürün değişimini birbirinden ayırır. Kaynak kullanımının azaltılmasını ve kullanım sırasında performansın iyileştirilmesini hedefleyen müdahaleler hurda yönlendirmesi, verim kaybının azaltılması, süreç iyileştirmeleri, tasarım iyileştirmeleri, kullanım yoğunlaştırılması ve paylaşımıdır. Bu nedenle hem üretim tabanlı hem de talep tabanlı önlemler dikkate alınır. Toplamda 37 uzmanlaşmış müdahale tanımlanmış ve hepsi müdahalelerin en uygun ardışık işlenmesini takiben maksimum azaltma potansiyelini değerlendirmek için birleştirilmiştir. Tüm müdahaleler (Donati vd., 2020)'nin eklerinde ayrıntılı olarak listelenmiştir.

Tüm stratejilerin birleşik etkisi bir sonuca yol açar: **İklim değişikliği için %10,1, arazi kullanımı için %4,3 ve kullanılan hammadde çıkarımları için %12,5'lik maksimum etki azaltımı.** Ancak, dairesellik düzeyindeki (CMUR) değişiklikler modellenmemiştir. Yine, bu, malzeme tüketimi ve çevresel etkiler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmak için CE önlemlerinin yüksek hırs seviyesini göstermektedir. Örneğin, gecikmiş değiştirmeyle ilgili müdahalelerin azaltma potansiyeli, malzeme çıkarma dahil tüm çevresel etkiler için en önemli olanıdır. Bu, pazarın %32'sinde ofis binalarının ortalama ömründe 1,5 kat artış ve 2,3 faktörlü tüm araçların daha uzun ömrü olduğunu varsayar ki bu oldukça zordur.

Maddi Ekonomi

(Material Economics, 2019) CE eylemlerinin ağır sanayiden kaynaklanan emisyonları %56'ya veya 296 milyon ton CO₂'ye kadar önemli ölçüde azaltılabileceğini tahmin ediyor: eşdeğer (Mt CO₂eq.) 2050 yılına kadar AB'de yılda. Çalışma, malzeme geri dönüşümünün, ürün malzeme verimliliğinin ve çelik, plastik, alüminyum ve çimento malzeme kategorileri için dairesel iş modellerinin etkilerine baktı. Malzeme geri dönüşümü için bu değerlendirmeye dahil edilen dairesel önlemler arasında örneğin iyileştirilmiş toplama sistemleri, katkı maddeleriyle kirlenmenin önlenmesi veya farklı kalitedeki malzemelerin karıştırılması ve karşılık gelen birincil malzemelerin gerçekten yerini alabilecek yeterli kalitede malzemeler üretilmesi yer alır. Daha spesifik olarak çelik için bu önlemlerin 2050 yılına kadar Avrupa birincil çelik üretimine olan ihtiyacı %80 oranında azaltacağı tahmin edilmektedir. Daha malzeme verimli ürünleri hedefleyen dairesel önlemler arasında atılan malzemelerin azaltılması yer alır.

Üretim ve inşaat süreçlerinde hurda veya atık olarak, daha gelişmiş malzemeler ve inşaat teknikleri kullanmak ve aşırı spesifikasyonu azaltarak ve bireysel ürünleri belirli kullanımlara daha iyi uyarlayarak malzemelerden tasarruf etmek. Örneğin, yüksek dayanımlı çeliğin kullanımının farklı uygulamalarda malzeme kullanımını potansiyel olarak %30-40 oranında azaltması bekleniyor ve aşırı spesifikasyonun azaltılmasının binalarda kullanılan çelikte %50'lik bir azalmaya yol açacağı tahmin ediliyor. Dairesel iş modelleriyle ilgili son tip CE önlemleri, ürünlerin artan kullanımına ve uzun ömürlü olmasına odaklanır. Değerlendirmeye dahil edilen bir önlem, kişisel araçların büyük bir kısmının filo tarafından yönetilen, paylaşımlı araçlar sistemiyle değiştirilmesidir. İkincisinin, bireysel olarak sahip olunan mevcut araba sisteminin malzeme girdilerinin yalnızca %25'ini gerektirmesi bekleniyor.

Ramboll/Fraunhofer ISI/Ekolojik

(Ramboll/Fraunhofer ISI/Ekolojik, 2020)⁴¹sekiz seçilmiş CE eyleminin uygulanmasının CO2 emisyonunu azaltabileceğini göstermektedir. Binaların inşası, bakımı ve yıkımıyla ilgili emisyonları yaklaşık %60'a kadar azaltarak 130 Mt CO2 emisyonunun önlenmesi 2015 temel senaryosuyla karşılaştırıldığında 2050 yılına kadar eşdeğer. Araştırılan CE önlemleri arasında ürün tasarımı (örneğin, aşırı özelliklerin azaltılması), üretim süreçleri sırasında alternatif malzemelerin kullanımı (örneğin, yenilikçi çimento türleri veya kereste), daha sürdürülebilir tüketim (örneğin, binada alan kullanımının optimizasyonu) ve yıkım ve atık yönetimi (örneğin, çelik ve betonun yeniden kullanımı) yer aldı.

Kennedy ve meslektaşları

(Kennedy vd., 2022) AB gıda ve tarım sektöründeki teorik emisyon azaltma potansiyelini araştırdı ve rejeneratif tarım da dahil olmak üzere CE eylemlerinin bu sektördeki mevcut emisyonları önemli ölçüde azaltabileceğini buldu (bu, CE eylemine göre değişir, ilgili rapora bakın). Araştırılan CE eylemleri arasında örneğin tasarım aşaması (gıda ürünlerinin bileşiminde değişiklikler, gıda kaybının önlenmesi vb.), alternatif üretim sistemleri (örneğin tarımsal ormancılık veya hassas hayvan besleme), gıda atığı oluşumunun önlenmesi ve yaşam sonu değişiklikleri (örneğin seralarda endüstriyel karbon yakalama, gıda atığının yem olarak kullanılması veya böcek bazlı yem) yer aldı. Şimdiye kadarki en büyük emisyon azaltma potansiyelleri rejeneratif tarım ve diyet değişikliği ile ilgiliydi.

Ellen Mc Arthur Vakfı

Küresel ölçekte, (Ellen MacArthur Vakfı ve Malzeme Ekonomisi, 2019) CE ile ilgili faaliyetlerin net sıfır hedefine ulaşmanın %45'ine katkıda bulunabileceğini, geri kalanının ise enerji ile ilgili faaliyetlerden kaynaklanabileceğini bulmuştur. Çimento, plastik, çelik, alüminyum ve gıda olmak üzere beş temel alana odaklanan CE önlemleri, küresel sera gazı emisyonlarını %40 veya 3,7 milyar ton, yani tüm ulaşım ile ilgili emisyonlara eşdeğer oranda azaltabilir. Bu değerlendirmeye dahil edilen CE önlemleri, atıkların tasarlanması ve ürün ve malzemelerin kullanımda tutulmasıyla ilgilidir (ürünlerin yeniden kullanımı ve malzemelerin yeniden dolaşımı). Yapılı çevre için daha somut önlemler arasında örneğin 'modüler bir şekilde tasarlanmış ve yeniden kullanılan ve toksik olmayan malzemelerle inşa edilmiş dayanıklı, karma kullanımlı binaların entegrasyonu' yer almaktadır. Bu tür binalar, paylaşımlı ve esnek ofis alanları ve esnek, akıllı ve modüler evler sayesinde oldukça fazla kullanılacaktır. Bu, örneğin, betonun çimento içeriğini azaltarak ve inşaat yapısında daha az beton kullanarak, mevcut inşaatla kıyasla yalnızca %50-60 çimento kullanarak binalar inşa ederek başarılabılır. İyileştirilmiş tasarım, daha az aşırı spesifikasyon ve yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımının yanı sıra, prefabrik yapı elemanları ve 3D baskı gibi inşaat süreçlerinin endüstrileşmesi de malzeme talebini ve yerinde atık oluşumunu azaltmada büyük bir potansiyele sahiptir. Sadece inşa edilmiş çevreye odaklanarak, tanımlanmış CE önlemleri küresel CO2'nin azaltılmasına yol açabiliriz-inşa ortamıyla ilgili emisyonları %38 oranında azaltır. Mobilite sistemi için CE önlemleri, küresel CO2 emisyonlarını 2050'de %70 oranında bile azaltabilir. Mobilite için tanımlanan CE önlemleri arasında hafif araçlar, kamu ve

araçların özel paylaşımı ve dayanıklılık (modüler ve bakımı ve onarımı kolay) ve yeniden kullanım ve yeniden üretim için tasarım. Gıda sistemi için bu değerlendirmede ele alınan CE önlemleri, tüm değer zinciri boyunca gıda atığının azaltılmasına odaklanır (perakendede arz ve talebi eşleştirme, gıda ürünleri için içerik olarak çirkin meyve ve sebzeler kullanma, fazla yenebilir gıdanın insan tüketimi için yeniden dağıtılmasını sağlama), yan ürünlerin ve yeşil atıkların besin döngüsü (kompostlama), yönetilen otlatma (toprak verimliliğini artırmak için bir araç olarak hayvancılık kullanımı) ve rejeneratif tarım arazisi (farklı ürün türleriyle ilişkili sera gazı emisyonlarını azaltan ve toprak karbon tutulmasını artıran ekilebilir arazideki teknikler kümesi). Tüm önlemlerin bir araya getirilmesinin 2050 yılına kadar küresel CO₂-eq. emisyonunda %49'luk bir azalmaya yol açacağı tahmin edilmektedir.

Sonuçlar

Sonuç olarak, literatür taraması (CGR 2021) çalışmasının, azaltılmış malzeme tüketimine odaklanan CE önlemlerinin küresel ölçekte ve Avrupa'da malzeme kullanımını büyük ölçüde azaltabileceği bulgularını doğrulamaktadır. Her ne kadar tüm çalışmalar malzeme tüketimindeki azalmayı ölçmese veya farklı bir zaman ufku (örneğin 2030 yerine 2050) uygulasa da, bildirilen azalmalar o kadar yüksek bir mertebededir ki, Avrupa'nın CMUR'un iki katına çıkması için 2020 ile 2030 arasında gerekli DMC azaltımı olan %12,3'e (veya mutlak terimlerle: 640 milyon tona) ulaşmak için yeterli bir malzeme tüketimi azaltımının sağlanabileceğini varsaymak güvenlidir. Ancak, bu azalmalar CE'nin geniş bir tanımını da kullanan oldukça iddialı CE önlemlerinin sonucudur. Literatürde modellenen CE eylemleri seti, AB'de şu anda benimsenen ve önerilen CE politikalarının çok ötesine geçmektedir. Ne yazık ki, AB politikalarının birleşik çevresel faydalarının bir değerlendirmesi şu anda mevcut değildir. Bu raporda uygulanan metodoloji ile bu senaryonun etkisini ölçmek mümkün değildir, ancak literatür taraması sonuçlarına göre en azından %23,2'lik CMUR hedefine ulaşılacağı varsayılmaktadır.

Azaltılmış malzeme tüketimi senaryosu için etki azaltımı (Circle Economy, 2021, 2023)'ten alınan bilgiler kullanılarak tahmin edilmiştir. Ancak bu tahminler, ulusal belirlenmiş katkılar (NDC'ler) (örneğin, fosil yakıtların kullanımdan kaldırılması) ve toplumsal ihtiyaç sektörleri (konut hareketliliği, beslenme, sarf malzemeleri, sağlık hizmetleri) genelindeki CE değişiklikleri dahil olmak üzere senaryoların bir kombinasyonunu temsil eder ve gelişmiş geri dönüşüm ve azaltılmış malzeme tüketimiyle ilgili arz ve talep tarafındaki değişikliklerin bir karışımını kapsar (çalışmamızdaki farklı senaryolar) (Tablo 4-2).

Kullanıma hazır malzeme metodolojisine dayalı yaklaşım

Azaltılmış malzeme tüketimi senaryosunda dairesel müdahalelerin çevresel azaltma potansiyelini tahmin etmek için alternatif bir yaklaşım olarak, (ETC CE, 2023)'te geliştirilen metodolojiyi uyguluyoruz; burada çevresel etkiler, kullanıma hazır malzemeler için hesaplanıyor ve 4 farklı malzeme kategorisi ayırt ediliyor: metaller, metal olmayan mineraller, fosil yakıtlar ve biyokütle. Bu metodoloji, Avrupa'da kullanılan ton başına çevresel etkiyi sırasıyla metaller, metal olmayan mineraller, fosil yakıtlar ve biyokütle olarak hesaplamaya olanak tanır.

İlk adım olarak, DMC'de ek olarak gereken azalmaya ulaşmak için farklı seçenekler tanımlanır ve 4 malzeme kategorisine bölünür. 2020'de ve fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması ve gelişmiş geri dönüşümün uygulanmasından sonra DMC tabanlı malzeme karışımı bir başlangıç noktası olarak alınır (Tablo 4-4'teki genel bakış).

Tablo 4-4: (1) fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması senaryosu ve (2) geliştirilmiş geri dönüşüm senaryosunun uygulanması dikkate alındığında 2020 ve 2030 yıllarında AB'nin malzeme karışımı (bölüm 4.2 ve 4.3'te tartışıldığı gibi).

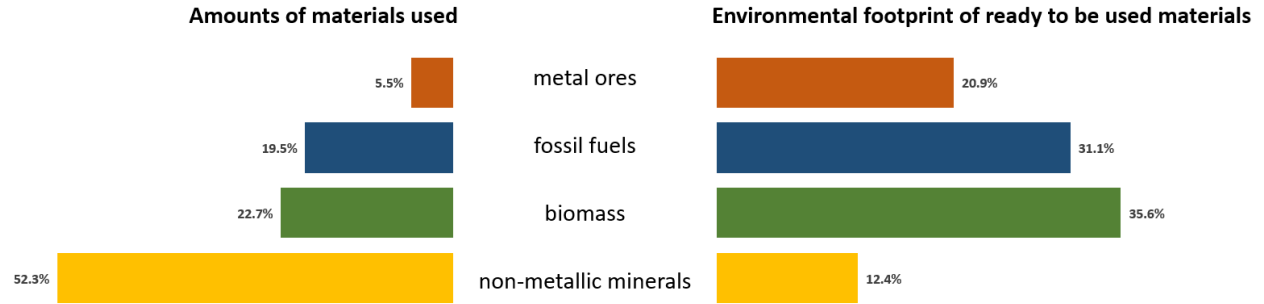
	2020			2030		
Malzeme kategorisi	DMC (Gton)	Malzeme karışım %	DMC (ton/kışı)	DMC (Gton)	Malzeme karışım %	DMC (ton/kışı)
<i>Toplam</i>	6.2	%100	13.8	5.2	%100	11.6
Biyokütle	1.5	%24	3.3	1.4	%27	3.2

	2020			2030		
Malzeme kategorisi	DMC (Gton)	Malzeme karışım %	DMC (ton/kişi)	DMC (Gton)	Malzeme karışım %	DMC (ton/kişi)
Metaller	0,3	%5	0,7	0,3	%6	0,7
Metalik olmayan mineraller	3.2	%53	7.2	3.1	%53	6.2
Fosil enerji malzemeleri/taşıyıcılar	1.1	%18	2.5	0,7	%14	1.6

* 2030 yılında AB'de 468,7 milyon nüfus olacağı varsayılarak⁴².

Bölüm 3.4'te tartışıldığı ve Şekil 3-4'te görselleştirildiği üzere, metalik olmayan mineraller AB-27'nin DMC'sinde açık ara en yüksek paya sahiptir, ancak kullanıma hazır minerallerle bağlantılı çevresel etki küçüktür (ayrıca Şekil 4-3'e bakın). CMUR için, hacim bazlı bir gösterge olarak, göstergeyi artırmak için ana kaldıraç noktası, metalik olmayan minerallerin DMC'sini azaltmaya yönelik önlemlerdir. Ancak, çevresel bir bakış açısından, odak noktası öncelikle metaller ve fosil enerji malzemeleri/taşıyıcıları ve biyokütle ürünleri üzerinde olmalıdır.

Şekil 4-3: AB-27'de tüketilen malzemelerin üretim miktarı ve çevresel ayak izi, 2022



Kaynak: AÇA brifingi Avrupa, malzemelerin döngüsel kullanımını iki katına çıkarma hedefine ne kadar uzaklıkta? ⁴³2022 güncellemesi ESTAT FIGARO veritabanına (2024 sürümü), ESTAT Hava Emisyon Hesaplarına (son güncelleme: 13/12/2024), ESTAT Malzeme Akış Hesaplarına (son güncelleme: 07/08/2024) ve EXIOBASE v3.8.2'ye dayanmaktadır.

Daha önce açıklandığı gibi, CMUR'u iki katına çıkarmak için DMC'nin 2030'da yaklaşık 4,6 Gt'ye düşürülmesi gerekiyor. Bu, fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması senaryosu ve gelişmiş geri dönüşüm senaryosunun üzerine 2020 seviyesine kıyasla 2030'a kadar DMC'de 642 milyon tonluk ek bir azalmaya eşittir. Bu azaltılmış malzeme tüketimi senaryosu için bu DMC azaltımının 4 malzeme kategorisine nasıl tahsis edileceğine dair seçenekleri tanımlamak için bir literatür taraması yapılmıştır.

KURTARMA çalışması (Almanya) (Günther ve diğerleri, 2019)

RESCUE çalışması, Almanya'nın 2050 yılına kadar kaynak verimliliği ve sera gazı nötrlüğüne ulaşması için altı olası yol özetlemektedir. Sera gazı nötrlüğüne ulaşma, malzeme ve enerji verimliliğini geliştirme ve sürdürülebilir yaşam tarzlarını teşvik etme konusunda çeşitli hırs düzeylerini araştırmaktadır. 2050 yılına kadar sera gazı emisyonları 1990 seviyelerine göre %95 ila %97 oranında azaltılabilir. Tarım ve ormancılıkta sürdürülebilir uygulamalarla net sıfır emisyon elde edilebilir. Ek olarak, birincil hammadde tüketiminin %56 ila %70 oranında azalması beklenmektedir (2010 baz yılına kıyasla), ancak belirli malzemelere olan talep artabilir. Döngüsellik 2050 yılına kadar %27-38'e çıkar.

⁴²https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/memo_05_96

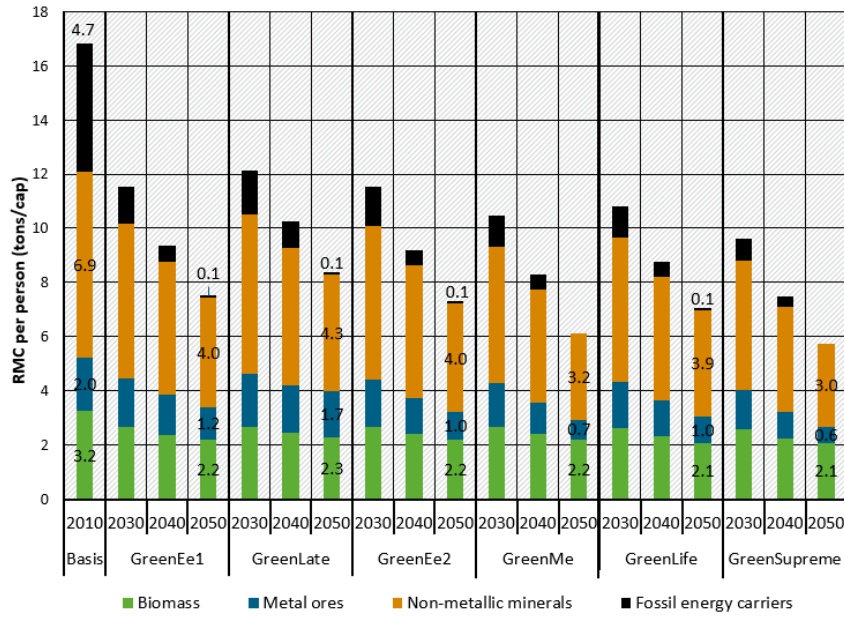
⁴³<https://www.eea.europa.eu/publications/how-far-is-europe-from>

Altı senaryoda enerji verimliliği, malzeme kullanımı ve yaşam tarzı değişiklikleri yer alıyor⁴⁴:

- **YeşilEe1:** Daha önceki "2050'de Almanya" projesine dayanarak tüm sektörlerde iddialı enerji verimliliği iyileştirmelerine odaklanıyor. Yurt içi üretim kapasiteleri ve ihracat artmaya devam ediyor.
- **YeşilEe2:** GreenEe1'e benzer ancak ithalat ve ihracatın birleştiği ve bunun sonucunda yerel üretim kapasitelerinde azalmaya yol açan dengeli bir ticaret durumunu varsayar.
- **YeşilGeç:** GHG nötrlüğüne geçiş GreenEe'den daha geç başlar ve daha az agresif enerji verimliliği iyileştirmeleri içerir. Sonuç olarak, GHG azaltımları daha kısa sürede daha hızlı gerçekleşmelidir.
- **YeşilBen:** Sektörler genelinde malzeme verimliliğinde iddialı iyileştirmelerin vurgulanması, geri dönüşüme odaklanılması, dayanıklı ürünlerin kullanımının artırılması, taşımacılıkta hafifletme yapılması ve hammadde talebinin azaltılması hedefleniyor.
- **Yeşil Hayat:** Yaşam tarzı ve davranış değişikliklerinin, GreenEe ve GreenMe'den alınan enerji ve malzeme verimliliği önlemleriyle birlikte, GHG emisyonlarını nasıl daha fazla azaltılabileceğini inceler. Buna, araç paylaşımı ve çevre dostu alışkanlıklar gibi eğilimlerin ölçeklendirilmesi de dahildir.
- **YeşilSupreme:** Tüm önceki senaryolardaki en etkili önlemleri bir araya getirerek 2050 yılına kadar en yüksek seviyede sera gazı azaltımı ve malzeme tüketim verimliliği hedefleniyor.

2010 (baz yıl) ve 2030, 2040 ve 2050 yıllarındaki maddi karışım Şekil 4-4'te vurgulanmıştır (kişi başına düşen RMC rakamlarına göre).

Şekil 4-4: KURTARMA senaryolarında kişi başına düşen maddi ayak izi (RMC) (Kaynak: (Günther ve diğerleri, 2019))



2050 yılında malzeme kullanımındaki (kişi başına düşen RMC) hesaplanan aralık Tablo 4-5'te verilmiştir.

Tablo 4-5: GHG-nötr ve kaynak açısından verimli bir Almanya 2050'de RMC aralıkları (Kaynak: (Günther ve diğerleri, 2019))

Ham madde kategorisi	2050 yılında kişi başına düşen RMC ton cinsinden	Miktar
Biyokütle	2.1 – 2.3	Beslenme değişiklikleri (daha az et ve süt ürünleri), daha az gıda israfı, biyokütle kullanımının artırılması, daha fazla ahşap bina, vb.

Hammadde kategorisi	2050 yılında kişi başına düşen RMC ton cinsinden	Miktar
Metal cevherleri	0,6 – 1,7	Gelişmiş geri dönüşüm, eko-tasarım, ikame, dayanıklı mallar, malzeme verimliliği, vb.
Metalik olmayan mineraller	3.0 – 4.3	Mekansal planlama: toprağın daha az sızdırmaz hale getirilmesi, altyapı ve binaların yeni inşaatından önce korunması, tek ailelik evler yerine çok aileli evler, daha küçük apartmanlar, malzeme ikamesi, hafif inşaat, (aşağı) geri dönüşüm, yeniden kullanım.
Fosil enerji taşıyıcıları	0,0 – 0,1	Karbonsuzlaştırma, elektrifikasyon, enerji verimliliği vb.

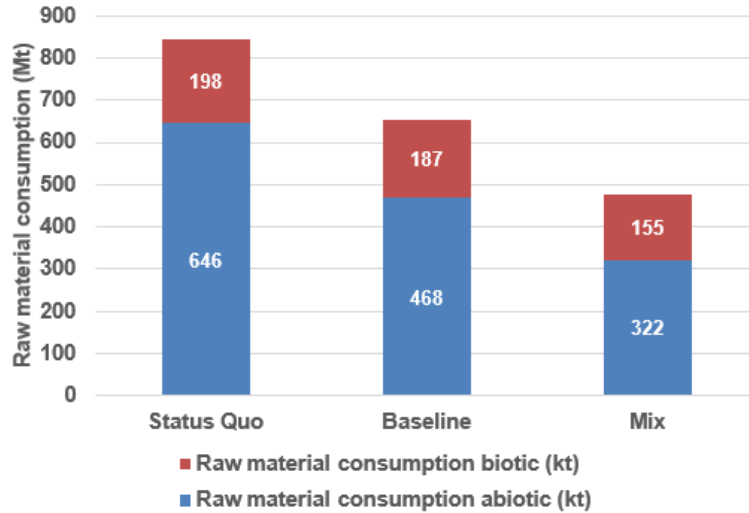
WWF çalışması: Dairesel Ekonomi Modeli Almanya (WWF, 2023)

"Modell Deutschland Döngüsel Ekonomi" çalışması⁴⁵ WWF tarafından hazırlanan çalışma, Almanya'nın sürdürülebilir kaynak kullanımına odaklanarak dairesel ekonomiye nasıl geçebileceğini araştırıyor. Atıkları azaltmanın, geri dönüşümü iyileştirmenin ve ürünleri uzun ömürlü ve yeniden kullanılabilir olacak şekilde tasarlamının önemini vurguluyor. Çalışma, inşaat, elektronik ve paketleme gibi temel sektörleri ana hatlarıyla belirtiyor ve dairesel ekonomi ilkelerini destekleyebilecek politika değişiklikleri ve endüstri uygulamaları için öneriler sunuyor. Daha kaynak verimli, atık azaltıcı bir sisteme geçişin çevresel ve ekonomik faydalarını vurguluyor.

2045'e kadar üç senaryo modellenmiştir: (1) Statüko (zaten uygulanan önlemlerin devamı), (2) Temel durum (statükoya ek olarak, CE önlemlerinin ılımlı bir şekilde uygulanması, sürdürülebilir tüketim ve teknolojik gelişme gerçekleşir) ve (3) Karışım (ürünleri daha dairesel hale getirmek, yeterliliğe doğru kaymak ve büyük teknolojik gelişmeler sağlamak için kapsamlı bir politika önlemleri karışımı uygulanır). Çalışmada temel yıl olarak 2015 yılı kullanılmıştır.

Çalışmada malzeme kategorisine göre sonuçlar sunulmamakla birlikte, biyotik ve abiyotik ham maddelere göre bir ayırım yapılmaktadır (Şekil 4-5).

Şekil 4-5: WWF Dairesel Ekonomi Modeli Almanya çalışmasında 2045'e kadar RMC gelişmeleri (Kaynak: (WWF, 2023)⁴⁵)



Almanya'da yaklaşık 80 milyonluk bir nüfus varsayıldığında, biyokütle kullanımı 2045 yılında 155 Mt'a düşürülebilir; bu da yaklaşık olarak **Kişi başına 1,9 ton biyokütle** "Karma senaryoda" (yaklaşık olarak RESCUE çalışmasıyla uyumlu). Abiyotik hammadde kullanımı 322 Mt'a eşit olacak ve kişi başına yaklaşık 4,0 ton olacak ve kişi başına toplam RMC 2045'te kişi başına yaklaşık 6 tona eşit olacak.

UNEP IRP Küresel Kaynak Görünümü (GRO2024) (küresel çalışma) (UNEP IRP, 2024)

⁴⁵<https://www.wwf.de/nachhaltiges-wirtschaften/circular-economy/modell-deutschland-circular-economy>

UNEP Uluslararası Kaynak Paneli (IRP) tarafından hazırlanan Küresel Kaynak Görünümü (GRO) 2024, küresel kaynak kullanımını azaltmak için kaynak verimliliği de dahil olmak üzere bir dizi politika önlemini inceler. Buna aşağıdaki politika modülleri dahildir (UNEP IRP, 2024):

- Kaynak verimliliği
 - Kaynak vergisi, gelir açısından nötr ekolojik vergi reformu Kaynak
 - verimliliği inovasyonuna yatırım, talep kayması Verimli ve sürdürülebilir
 - yerleşimler, barınak ve yapı malzemeleri Daha kompakt ve
 - sürdürülebilir kentsel form ve ulaşım modları
- İklim ve enerji O
 - Karbon fiyatlandırması, karbon giderme teknolojilerinin erken devreye alınması
 - Yenilenebilir enerji, elektrikleştirme, enerji verimliliği
 - Biyoenerji BECCS ile sınırlıdır⁴⁶Gıda fiyatlarındaki baskıyı önlemek için
- Yiyecek ve arazi
 - Doğanın korunması ve restorasyonu, su stresinin azaltılması Daha
 - az ortalama et ve süt ürünlerine yakın sağlıklı diyetler Daha az
 - gıda israfı
- Adil geçiş
 - Küresel kaynak ve karbon temettüsü (kişi başına eşit ödeme) Sürdürülebilirlik
 - geçişlerinden kaynaklanan net ekonomik kayıp yok

GRO Sürdürülebilirlik Geçiş senaryosunda küresel ham madde çıkarımının 2030'dan sonra yavaşlaması, 2045 civarında zirveye ulaşması ve 2060 yılına kadar 2020 seviyelerinin yaklaşık %20 üzerinde sabitlenmesi öngörülmüyor (UNEP IRP, 2024). Kaynak kullanımının bileşiminin yenilenebilir enerjiye doğru kayması, gıda ve lif biyokütle çıkarımının 2060 yılına kadar %40 artması bekleniyor. Ancak küresel eğilim, kaynak kullanımında küresel bir yakınsama nedeniyle ham madde kullanımının evrimi için AB için iyi bir vekil değil (küresel kuzey kaynak taleplerini azaltırken küresel güney kaynak kullanımlarında artış gösteriyor).

Kişi başına düşen maddi ayak izi, farklı gelir gruplarında (düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelir) 2020, 2040 ve 2060 yılları için ve küresel ortalama da değişiklik göstermektedir:

- Düşük gelir grubu: Kişi başına düşen maddi ayak izi düşük bir başlangıç seviyesinden başlıyor ve 2060 yılına kadar %44'lük önemli bir artış gösteriyor.
- Alt-orta gelir grubu: Maddi tüketim 2060 yılına kadar %41 oranında artacak ve bu da bu ekonomilerin büyümesi ve sanayileşmesiyle birlikte kaynak kullanımının da artacağı yönünde benzer bir eğilimin göstergesi.
- Üst-orta gelir grubu: Kişi başına düşen maddi ayak izi nispeten sabit kalıyor ve 2060 yılına kadar %1'lik bir düşüş gösteriyor. Bu, bu ekonomilerdeki maddi tüketimin, verimlilik arttıkça talepteki büyümenin yavaşladığı bir doygunluk noktasına yaklaştığını gösteriyor.
- Yüksek gelir grubu: Yüksek gelirli ülkeler, 2060 yılına kadar kişi başına düşen maddi ayak izinde kayda değer bir %19 düşüş yaşayacaktır. Bu düşüş, kaynak verimliliğindeki ilerlemeleri, dairesel ekonomi uygulamalarını ve gelişmiş ekonomilerdeki değişen tüketim modellerini yansıtmaktadır.
- Küresel eğilim: Küresel düzeyde, kişi başına düşen maddi ayak izi 2060 yılına kadar %3 azalacak.

Avusturya için kaynak senaryoları (Haas ve diğerleri, 2024a, 2024b; Meyer ve diğerleri, 2024)

BOKU ve WIFO, Avusturya için 2024'te dairesel ekonomi senaryoları yayınladı. Çalışma, üç temel politika hedefine ulaşmak için Avusturya'nın binalar, ulaşım ve elektrik sektörlerindeki karbon giderme ve CE stratejileri arasındaki etkileşimi inceliyor: 2040 yılına kadar karbon nötrlüğü, malzeme tüketimini azaltma ve yıllık arazi kullanımını sınırlama. Çalışma, 2018'den (baz yıl) 2040'a kadar olan bir zaman aralığında farklı yaklaşımların sonuçlarını değerlendirmek için senaryolar kullanıyor. Yalnızca karbon giderme senaryosu, malzeme kullanımını yalnızca %7 azaltır ancak yüksek yeşil elektrik talebi, kritik malzemelere bağımlılık ve izin zorlukları gibi önemli riskler sunar. Zayıf bir CE senaryosu, bu riskleri önemli ölçüde azaltmada veya CE ve arazi kullanım hedeflerine ulaşmada başarısız olur. Bunun aksine, daha fazla genişlemeyi önleyen güçlü bir CE senaryosu,

⁴⁶Karbon yakalama ve depolama ile biyoenerji

inşa edilmemiş arazideki binalar ve yollar, işlenmiş malzemeleri 102'den 26 Mt/a'ya düşürerek üç hedefle de uyumludur. Bu yaklaşım yeşil elektrik talebini azaltır, karbonsuzlaştırmayı destekler ve ek sağlık ve çevresel faydalar üretir.

Çalışmaya göre, DMC üç sektörde; binalar, ulaştırma ve elektrik⁴⁷senaryoya bağlı olarak düşürülebilir. En yüksek DMC sayıları senaryo (A) karbonsuzlaştırma için ve en düşük değerler senaryo (C) karbonsuzlaştırma ve 'güçlü CE' için bulunur. Senaryo (B) karbonsuzlaştırma ve 'zayıf CE' için DMC sayıları yüksek değerlere daha yakın, arada bir aralıktadır:

- Fosil enerji taşıyıcıları: Kişi başına 0,08 – 0,30 ton
- Biyokütle: Kişi başına 1,06 – 1,13 ton
- Metaller: Kişi başına 0,003 – 0,23 ton
- Metalik olmayan mineraller: Kişi başına 0,49 – 6,71 ton

Karşılaştırma yapmak gerekirse, 2018 baz yılı için kişi başına DMC rakamları şöyledir: fosil enerji taşıyıcıları: 1,25 ton/kişi, biyokütle 1,04 ton/kişi, metaller: 0,18 ton/kişi ve metalik olmayan mineraller: 6,38 ton/kişi. Binalar için 2040'a kadar olan değişiklikler, örneğin ısıtma sistemlerinin karbondan arındırılması, iyileştirilmiş termal yenileme oranları, artırılmış bina yalıtımı, binaların kullanım ömrünün uzatılması, artırılmış ahşap konstrüksiyon ve azaltılmış ısıtılmış zemin alanını içerir. Ulaşım için değişiklikler, örneğin araç filosunun elektrifikasyonu, mod değişimleri, sürülen kişi kilometresinin azaltılması, araç paylaşımı ve sınırlı yol ağı geliştirmelerini içerir. Elektrik sektöründeki değişiklikler, iklim koruması nedeniyle beklenen fosil yakıtların kullanımdan kaldırılmasını kapsamaktadır.

Mevcut en iyi uygulamaların küresel taraması (Dittrich ve diğerleri, 2012)

(Dittrich ve diğerleri, 2012) ülkelerde RMC'lerini düşürmek için mevcut en iyi uygulamalara dayanarak (Tablo 4-6) ve diğer malzemelerde artış olmaksızın fosil yakıtların tamamen ikame edilmesinin bir seviyede sonuçlanabileceğini savunuyorlar.**2030 yılına kadar kişi başına 8 ton**Bu sınır ayrıca daha ileri çevresel ayak izi analizinde de kullanıldı (Hoekstra ve Wiedmann, 2014; O'Neill ve diğerleri, 2018). Tablo 4-6'da yer alan tahminler gelecekteki ham madde kullanımı için ortaya konmuştur.

Tablo 4-6: Dittrich ve diğerlerinin vurguladığı gibi mevcut en iyi uygulamalara dayalı ham madde kullanım aralıkları⁴⁸(Dittrich ve diğerleri, 2012)

Çiğ malzeme kategori	Tanım	Değer (ton başına (kişi başı))
Biyokütle	Biyokütle tüketimi kişi başına 1 ila 22 ton arasında değişir ve en büyük katkı gıda ile ilgili faaliyetlerden gelir. Kuveyt gibi düşük biyokütle kullanımına sahip ülkeler ya biyokütle ithal eder ya da yetersiz beslenmeyle karşı karşıya kalır. 5 tonun üzerindeki yüksek tüketim sığır bazlı veya ihracata yönelik tarımla bağlantılıdır. Buna karşılık, kişi başına yaklaşık 2,2 ton tüketen Çin ve İtalya gibi ülkeler, yerel üretim ve düşük tüketim yoluyla verimli biyokütle kullanımına örnektir.	2.2
Fosil enerji taşıyıcılar	Fosil yakıt tüketimi kişi başına neredeyse sıfırdan 30 tonun üzerine kadar değişir. Güvenilir enerji kaynaklarına sahip birkaç ülke öne çıkar, çünkü çoğu hala büyük ölçüde petrol, gaz veya kömüre bağımlıdır. Ancak İsviçre, İsveç ve İzlanda, kişi başına 2 ila 2,5 ton arasında fosil yakıt tüketimiyle yenilenebilir enerjideki yüksek paylarıyla dikkat çekmektedir. (Ayrışma analizinde 2030 yılına kadar tam aşamalı kaldırma (başka malzemelerle ikame) varsayılmıştır)	2.0 – 2.5 (0,0)
Metaller	Metal tüketimi kişi başına neredeyse sıfırdan 30 tonun üzerine kadar değişmektedir. Düşük tüketim en az gelişmiş ve metal ithal eden ülkelerde bulunurken, yüksek tüketim metal ihraç eden ülkelerde görülmektedir. Japonya, 3R girişimi (azalt, yeniden kullan, geri dönüştür) ve kişi başına ortalama 0,8 ton metal kullanımıyla bir verimlilik modeli olarak öne çıkmaktadır.	0,8

⁴⁷Diğer tüm sektörler (örneğin gıda ve tarım dahil) için Haas ve meslektaşlarının çalışmasında referans senaryoya göre hiçbir değişimin modellenmediğine dikkat edin (Haas ve diğerleri, 2024b).

⁴⁸<https://www.boell.de/en/content/green-economies-around-world-implications-resource-use-development-and-provironment>

Çiğ malzeme kategori	Tanım	Değer (ton başına (kişi başı))
Olmayan-metalik mineraller	Mineral tüketimi kişi başına 0,3 ila 80 ton arasında değişmektedir. Yüksek tüketim, altyapıya yatırım yapan ülkelerde görülürken, düşük seviyeler asgari düzeyde kamu altyapısına sahip ülkelerde görülmektedir. Bu arada, yeni inşaattan ziyade bakıma odaklanan İngiltere ve Hollanda gibi ülkeler nispeten düşük tüketime sahiptir, kişi başına yaklaşık 4 ila 5 ton.	4.0 – 5.0

UNEP IRP ayrıştırma analizi (UNEP IRP, 2014, 2011)

UNEP Uluslararası Kaynak Paneli (IRP), olası bir kaynak hedefi taslağı çiziyor **Kişi başına 6-8 ton ve 2050 yılında yıla** farklı ayrıştırma analizlerine dayanarak (UNEP IRP, 2014, 2011). Bu, ham madde kullanımında yakınlaşmanın olacağı bir hedef sunar, yani gelişmekte olan ülkeler artan bir ham madde tüketimine ulaşırken, sanayileşmiş ülkelerin ham madde kullanımının yoğunluğunu azaltması gerekir (doğal kaynakların adil kullanımı). Ancak rapor, değerlendirmemiz için gereken ham madde kategorilerine göre rakamlar sağlamaz.

Küresel kaynak hedefleri (Bringezu, 2015)

(Bringezu, 2015) hammadde kullanımına yönelik olası bir hedef koridorunu ana hatlarıyla açıklamaktadır. **2050 yılına kadar kişi başı 3-6 ton** küresel kaynak tüketiminin yarıya indirilmesi (düşük bir hedef değerle sonuçlanacak) veya 2000 seviyesine geri dönülmesi (yüksek bir hedef seviyeyle sonuçlanacak) varsayılarak. **Kişi başına 5 ton** "sürdürülebilir" olarak önerilmektedir. Bu, "küresel kaynak tüketimini yarıya indirirken aynı zamanda sanayileşmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki dağılımı nüfuslar arasındaki ilişkileri yansıtacak şekilde 80:20'den 20:80'e değiştirmeyi" öneren Schmidt-Bleek'in (Schmidt-Bleek, 1992, 1994) orijinal önerisine dayanmaktadır. Bu, gelişmekte olan ülkelerin kaynak kullanımını 50 yıl içinde iki katına çıkarmasına (ilk 40 yıl içinde 2,5 katına bile çıkarmasına) olanak tanırken, sanayileşmiş ülkelerin kaynak tüketimlerini yaklaşık 10 (87,5%) oranında azaltmaları gerekecektir.

Tablo 4-7, literatürde tartışıldığı gibi olası malzeme kullanımındaki azalmaları özetlemektedir.

Tablo 4-7: Literatürde önerilen malzeme kullanım azaltımlarının tablosu.

Malzeme kategori	Gelecek materyal kullanım değeri (t/kap)	Gösterge	Yayın	Mekansal kapsam	Zamansal kapsam
Biyokütle	2.1 – 2.3	RMC	(Günther ve diğerleri, 2019)	Almanya	2050
	1.9	RMC	(Doğal Hayatı Koruma Vakfı, 2023)	Almanya	2045
	1.06 – 1.14*	DMC	(Haas ve diğerleri, 2024b, 2024a; Meyer ve diğerleri, 2024)	Avusturya	2040
	2.2	DMC	(Dittrich ve diğerleri, 2012)	Güncel en iyi uygulamalar (küresel tarama)	2008
	3.0 (yiyeceğe göre)	TMR	(Lettenmeier ve diğerleri, 2014) (Bringezu, 2015)'te alıntılanmıştır	Finlandiya	2050
	1.1 – 2.2	RMC	(Bringezu, 2015)	Küresel	2050
Metaller	0,6 – 1,7	RMC	(Günther ve diğerleri, 2019)	Almanya	2050
	0,003 – 0,23*	DMC	(Haas ve diğerleri, 2024b, 2024a; Meyer ve diğerleri, 2024)	Avusturya	2040
	0,8	DMC	(Dittrich ve diğerleri, 2012)	Güncel en iyi uygulamalar (küresel tarama)	2008
Mineraller	3.0 – 4.3	RMC	(Günther ve diğerleri, 2019)	Almanya	2050
	0,49 – 6,71*	DMC	(Haas ve diğerleri, 2024b, 2024a; Meyer ve diğerleri, 2024)	Avusturya	2040
	4.0 – 5.0	DMC	(Dittrich ve diğerleri, 2012)	Güncel en iyi uygulamalar (küresel tarama)	2008
Fosil yakıtlar	0,0 – 0,1	RMC	(Günther ve diğerleri, 2019)	Almanya	2050
	0,08 – 0,30*	DMC	(Haas ve diğerleri, 2024b, 2024a; Meyer ve diğerleri, 2024)	Avusturya	2040
	2.0 – 2.5	DMC	(Dittrich ve diğerleri, 2012)	Güncel en iyi uygulamalar (küresel tarama)	2008

Malzeme kategori	Gelecek materyal kullanım değeri (t/kap)	Gösterge	Yayın	Mekansal kapsam	Zamansal kapsam
	0.0	DMC	(Dittrich ve diğerleri, 2012)	Küresel	2030-2050

* Çalışmada, 2040 yılına kadar binalar, ulaşım ve elektrik sektörleri üç senaryoda modellenmiştir: (A) karbonsuzlaştırma, (B) karbonsuzlaştırma ve 'zayıf CE' ve (C) karbonsuzlaştırma ve 'güçlü CE'. Diğer tüm sektörler için (örneğin, tarım/gıda dahil) referans senaryoya göre hiçbir değişiklik modellenmemiştir.

Not: Metodolojik olarak DMC ve RMC arasındaki fark, ticaret akışlarının nasıl ölçüldüğünü belirler. DMC hesaplanırken, yalnızca ticaret akışlarının doğrudan kütlesi dikkate alınır. RMC için ise, ticaret akışlarının malzeme sırt çantası da dahil edilir. Hammadde eşdeğerleri aracılığıyla, ticaret akışlarının doğrudan kütlesi, RMC'yi hesaplamak için hammadde eşdeğerine dönüştürülebilir. AB-27 düzeyinde, metallerin malzeme kategorisi hariç, ikisi arasındaki fark nispeten küçüktür. Bu nedenle, bu rapordaki daha ileri modellemede, gelecekteki malzeme kullanımının (t/kap cinsinden ifade edilen RMC) DMC (t/kap cinsinden) için bir yaklaşık değer olarak kullanılmasının makul olduğu varsayılmıştır.

Literatür çalışmasından elde edilen içgörülere ve (ETC CE, 2023b)'de tartışılan değerlendirmeye dayanarak, **DMC azaltımının malzeme kategorileri üzerinde tahsisi için üç seçenek** Tablo 4-8'de sunulduğu gibi, azaltılmış malzeme tüketimi senaryosunu takiben hedeflenen DMC azaltımına ulaşmak için test edilir:

- İlk seçenekte toplam gerekli azaltma metalik olmayan minerallere tahsis edilir. Bu malzeme kategorisi AB-27 malzeme tüketiminde en yüksek paya sahip olduğundan, kullanımını 0,6 Gton azaltmanın en az çabayı gerektirmesi beklenebilir.
- İkinci bir seçenek olarak, fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması ve gelişmiş geri dönüşümün uygulanmasının ardından, 2030 yılında DMC'deki malzeme kategorilerinin paylarına orantılı olarak malzeme kullanım azaltımı 4 malzeme kategorisine tahsis edilir. Ancak bazı malzeme kategorileri için gerekli azaltım uygulanabilir olmayabilir, örneğin metaller için bu sorgulanabilir.
- Bu nedenle, üçüncü bir seçenek, literatürde bildirilen diğer değerlendirmelerden elde edilen içgörülerini, belirli malzeme türlerinin kullanımını azaltmanın maksimum potansiyeli ve sınırları açısından dikkate alır. Literatüre göre, metallerin ve fosil enerji taşıyıcılarının malzeme kullanımını azaltma potansiyeli küçük kabul edilir ve bu nedenle bu seçenekte sıfıra ayarlanır. Biyokütlenin azaltma potansiyeli, kişi başına 2,3 ton sınırına ayarlanır ve kalan azaltma metalik olmayan minerallere tahsis edilir.

Tablo 4-8: Azaltılmış malzeme tüketimi senaryosuna göre gerekli DMC azaltımı için üç seçenek

	Seçenek 1: %100 metalik olmayan mineral	Seçenek 2: Orantılı olarak DMC'deki 'mevcut' pay	Seçenek 3: Önerilen değerleri takip edin edebiyatta
Biyokütle		- 175 Mton (%27)	- 383 Mton (%60, 2,3 t/kişi)
Metal cevherleri		- 39 Mton (%6)	
Metalik olmayan mineraller	- 642 Mton (%100)	- 342 Mton (%53)	- 259 Mton (%40, kalanı 5.6 t/kap))
Fosil enerji malzemeler/taşıyıcılar		- 87 Mton (%14)	

4.5 Metodolojinin sınırlamaları

Çok Bölgeli Girdi-Çıktı modellemesi (Çok Bölgeli Girdi-Çıktı modellemesi yaklaşımına ilişkin Kutuya bakın) senaryoları modellemek için kullanılır. Bu yukarıdan aşağıya bir yaklaşımdır, makro bir perspektiften başlar, Avrupa'yı küresel bir bağlama oturtur ve bu yaklaşım AB'nin toplu makro ekonomik düzeyde kapsamlı bir resmi verir. Bu yaklaşım, ürün düzeyinde sonuç çıkarma imkansızlığı gibi bazı sınırlamalarla birlikte gelir. Bu değerlendirmenin özel bağlamında, kapsamlılık ayrıntı düzeyinden daha önemlidir. Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması ve gelişmiş geri dönüşümün senaryo modellemesinden elde edilen sonuçlar, bir dizi sınırlama göz önünde bulundurularak bu özel bağlamda yorumlanmalıdır:

- Modelleme, açıkça modellendiği yerde herhangi bir geri tepme veya uyarılmış etki anlamına gelen herhangi bir dinamik tepkiyi hesaba katmaz. Modelleme, statik girdi-çıktı analizine dayanır. Değişiklikler

endüstriler tarafından kullanım ve tedarik ve nihai talepte yer alır ve enerji üretimi ve geri dönüşümüne ilişkin sınırlı sayıda 'yeni teknoloji' ayrıntılılığı iyileştirmek için modele eklenir. Diğer yeni ve gelişen teknolojiler (örneğin, çelik üretimi) dahil edilmez.

- Fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmasının modellenmesi, literatürden (örneğin, Küresel Enerji İklim Görünümü ve Fit-for-55 paketi) önemli (önceden tanımlanmış) değişiklikler olarak yorumlanmalıdır. Bu yaklaşıma özel veya ayrıntılı bir enerji modellemesi dahil edilmemiştir.
- Geri dönüşümün modellenmesi için, atık işleme verilerinin kullanılması yaklaşımında sınırlamalar vardır. Bu yaklaşım, geri dönüşümün kalitesindeki herhangi bir iyileştirmeyi yakalamaz ve ayrıca geri dönüştürülmüş olarak kategorize edilen tüm atıkların aslında nihai olarak geri dönüştürülmediğini göz ardı eder. Bu konudaki varsayımlar çok kaba. Metodoloji, halihazırda geri dönüştürülmüş atıkların daha yüksek kalitede geri dönüştürülmesine yönelik iyileştirmeleri yakalamaz.
- Geri dönüşüm oranları sınırlı doğrulukla ilk teorik tahminler olarak yorumlanmalıdır. Geri dönüşüm oranlarındaki artışa ilişkin varsayımlar yalnızca uzman yargısına dayanmaktadır ve özellikle madencilik atığı gibi bazı büyük atık akışları için büyük belirsizlikler içermektedir.
- Artan geri dönüşüm oranları, birincil ve ikincil malzemeler arasında 1:1 oranında bir ikame varsayılarak modellenmiştir. Bu değerlendirmede varsayılan geri dönüşüme gönderilen atığın ikincil malzemelere tamamen dönüştürülmesinin ve birincil ve ikincil malzemeler arasında 1:1 oranında bir ikamenin potansiyel faydaları abarttığını ve daha düşük verimlilik seviyeleri tarafından engellenebileceğini belirtiyoruz.
- Malzeme tüketiminin azaltılmasına ilişkin senaryo için detaylı bir varsayımın bulunmaması nedeniyle, azaltımın nasıl sağlanabileceğine ilişkin bir modelleme bulunmamaktadır.

5 Sonuç: Çevresel azaltma potansiyeli

5.1 Giriş

CMUR hedefi durumu için tanımlanan üç senaryo için çevresel etki potansiyeli, 4. bölümde tartışılan metodoloji ve modelleme yaklaşımı izlenerek değerlendirilir. Bu değerlendirmenin sonuçlarını tartışırken, senaryoların CMUR üzerindeki etkisinin veya çevresel etkilerin, Tablo 5-1'de sunulduğu gibi üç senaryo boyunca kümülatif olarak hesaplandığını belirtmek önemlidir.

Tablo 5-1 Bu çalışmada tanımlanan ve değerlendirilen senaryoların genel görünümü.

Senaryolar	CMUR hesaplaması	Modelleme yaklaşımı: EXIOBASE uygulaması
Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması	2030 yılına kadar fosil enerji taşıyıcılarının %34 oranında aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması. CMUR = %12,2	AB Fit-for-55 politika senaryolarına göre yenilenebilir enerji kapasitesine yapılan yatırımlar, enerji verimliliği kazanımları sonrasında daha düşük enerji talebi ve taleplerin diğer enerji taşıyıcılarına (örneğin rüzgar, biyokütle, hidro ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları) kayması üzerine varsayımlar yapılmıştır.
Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması + Gelişmiş geri dönüşüm	2030'da 2020'dekiyle aynı miktarda atık üretileceği varsayılarak, atık geri dönüşümünün 2030'a kadar %69'a çıkarılması. CMUR = %21,0	Tablo 4-1'e dayalı olarak, birincil hammaddeler için 1:1 ikame de dahil olmak üzere, talebin ikincil malzemelere kayması (ardından artan bir arz) varsayımları yapılmıştır.
Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması + Gelişmiş geri dönüşüm + Azaltılmış malzeme tüketimi	DMC'de ek %12,3'lük bir azalmaya ihtiyaç var. CMUR = %23,2	EXIOBASE'de uygulanması mümkün değil. Literatür taramasına dayalı olarak kullanıma hazır malzeme metodolojisi.

The **fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması senaryosu** 2030'da fosil enerji taşıyıcılarının kullanımında %34'lük bir azalma olarak modellenmiş olup, DMC göstergesinde bir azalma olarak uygulanmıştır. Diğer her şey eşit olduğunda DMC'de bir azalma, CMUR'da %11,6'dan %12,2'ye bir artışla sonuçlanır. Nispeten küçük artış, DMC'de fosil enerji taşıyıcılarının 2020'de yalnızca yaklaşık %18'lik daha küçük payından ve enerji altyapısı için malzeme kullanımındaki artıştan (kısa vadede) kaynaklanmaktadır.

The **gelişmiş geri dönüşüm senaryosu** Geri dönüşüme gönderilen atık hacmindeki artışla eklenir. Ek olarak, ikincil ham maddelerin artan arzının birincil ham maddelerin 1:1 oranında ikamesine eşit olduğu varsayılır. Geri dönüşüme gönderilen atık, işlenen toplam atığın %69'una çıkar. Yaklaşık 600 milyon ton ek malzeme geri dönüşüme gönderilir ve 1:1 ikame oranı varsayıldığında DMC aynı miktarda azalır. Tablo 4-1'e göre, artış esas olarak metalik olmayan mineralleri ve daha az ölçüde biyokütleyi kapsar. Metaller için geri dönüşüm oranları zaten yüksektir ve daha fazla artmayacağı varsayılır.

The **azaltılmış malzeme tüketimi senaryosu** %23,2'lik iki katına çıkarma hedefine ulaşmak için DMC'de ek bir azalma getirir. Diğer iki senaryodan devam edersek, DMC'de gereken ek azalma %12,3'tür. Bu ek DMC azaltımını dört malzeme kategorisine tahsis etmek için Tablo 4-8'de tanımlanan üç seçenek, kullanıma hazır malzemeler metodolojisi aracılığıyla çevresel etki üzerindeki etkiyi hesaplamak için kullanılır.

Aşağıdaki paragraflarda senaryoların çevresel azaltma potansiyeli (kümülatif bir yaklaşım izlenerek), bildirilen varsayım ve modelleme yaklaşımıyla hesaplandığı ve iklim değişikliği, partikül madde (hava kirliliğinin bir ölçüsü olarak) ve arazi kullanımına dayalı biyolojik çeşitlilik etkilerine odaklanıldığı şekilde sunulmakta ve tartışılmaktadır.

5.2 Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması

Bu senaryo için yapılan hesaplamalar, fosil yakıt kullanımının aşamalı olarak durdurulmasıyla ilgili önlemlerin çevresel etkileri azaltmaya yardımcı olabileceğini (bazıları için büyük sinerjiler) ve aynı zamanda AB'nin dairesel malzeme kullanım oranını biraz artırabileceğini (küçük sinerjiler) göstermektedir:

- En büyük sinerjiler, iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasında ortaya çıkıyor; hesaplamalar, 2020 seviyelerine kıyasla %18'lik bir azaltma potansiyeli gösteriyor. Bunu, hava kirliliğinde %14'lük bir azalma hesaplamaları izliyor (her ikisi de ayak izi perspektifini takip ediyor).
- Bu yol, arazi kullanımına dayalı biyoçeşitlilik kaybını etkilemiyor gibi görünüyor, çünkü hesaplamalar %1'den az çok küçük bir artış gösteriyor. Bu, biyoenerji amaçları için gerekli biyokütle olan talebin arttığını varsayan enerji dönüşümü nedeniyle biyokütle materyal ayak izindeki hafif artışla ilgilidir.
- CMUR üzerindeki etki küçüktür, CMUR şu anda %11,6'dan yaklaşık %1'e yalnızca biraz yükselir %12,2. Bu beklenmedik bir durum değil, zira EEA ve ETC-CE'nin önceki çalışmaları bu malzeme kategorisinin DMC'de yalnızca nispeten küçük bir payı temsil ettiğini zaten göstermiştir.⁴⁹
- Hesaplamalar, enerji dönüşümü için yenilenebilir enerji kapasitesine yapılan ek yatırımlar nedeniyle metallerin ve metal dışı minerallerin maddi ayak izlerinin hafifçe arttığını göstermektedir.

Enerji dönüşümü, dairesel ekonomi geçişinde malzeme akışlarının ve stoklarının daha fazla optimize edilmesi için ön koşuldur. Yenilenebilir enerji sistemlerindeki metal ve metal olmayan minerallerin stoğu, gelecekteki geri kazanım ve geri dönüşüm için kullanılabilir (fosil enerji taşıyıcıları yanma süreci sırasında dağılır ve bu nedenle artık geri kazanım/geri dönüşüm için kullanılamaz).

5.3 Gelişmiş geri dönüşüm (önceki senaryoya ek olarak)

4.3.1 numaralı paragrafta bildirildiği gibi, AB ülkelerinden en iyi uygulama örnekleri ve uzman görüşleri, atık geri dönüşümünü şu anda %40'tan 2030 yılına kadar yaklaşık %69'a çıkarmanın mümkün görüldüğünü göstermektedir (her iki değerin de 0 numaralı paragrafta açıklandığı gibi abartılı tahminler olabileceğini unutmayın). Sonuçlar, CMUR üzerindeki etkinin %21'e çıkmasıyla oldukça önemli olduğunu göstermektedir.⁵⁰ Geri dönüşüm oranlarındaki artışın çoğu, metalik olmayan minerallerin geri dönüşümünün artmasından kaynaklanacaktır. Bunun CMUR üzerinde derin bir etkisi olsa da iklim değişikliği ve hava kirliliği üzerinde biraz daha sınırlı bir faydası vardır:

- Yukarıda belirtilen fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması önlemlerine ek olarak geri dönüşümün %40'tan %69'a çıkarılmasının CMUR üzerinde büyük faydaları olacaktır ve mevcut %11,6'dan yaklaşık %21,0'a çıkabilir.
- İkincil malzemelerin kullanımı genellikle birincil ham madde muadillerinin kullanımından daha düşük çevresel etkilerle ilişkilendirilir. Ancak, bu değerlendirmede artırılmış geri dönüşümle bağlantılı çevresel etkiler büyük ölçüde değişmeden kalır. İklim değişikliği, hava kirliliği ve arazi kullanımıyla ilişkili biyoçeşitlilik kaybı için bu hesaplamalar sınırlı bir etkiyi göstermektedir. Bunun nedeni, geri dönüşümü artırma potansiyelinin (hacim olarak) inşaat ve yıkım atıkları ve toprak gibi metalik olmayan minerallerle ilgili olması, metallerin ve biyokütlenin geri dönüşüm oranlarının zaten nispeten yüksek olması ve bu nedenle ek olarak geri dönüştürülebilecek potansiyel hacimlerin daha sınırlı olmasıdır. Metalik olmayan mineral malzemelerin geri kazanımı CMUR üzerinde büyük bir etkiye sahiptir,

⁴⁹ AÇA brifingi 'Avrupa, malzemelerin dairesel kullanımını iki katına çıkarma hedefine ulaşmaktan ne kadar uzak:' <https://www.eea.europa.eu/publications/how-far-is-europefrom#:~:text=Bu%20briefing%2C%20ikiye%20uzat%20,%E2%80%94%20to%2023.4%25%20by%2030> .

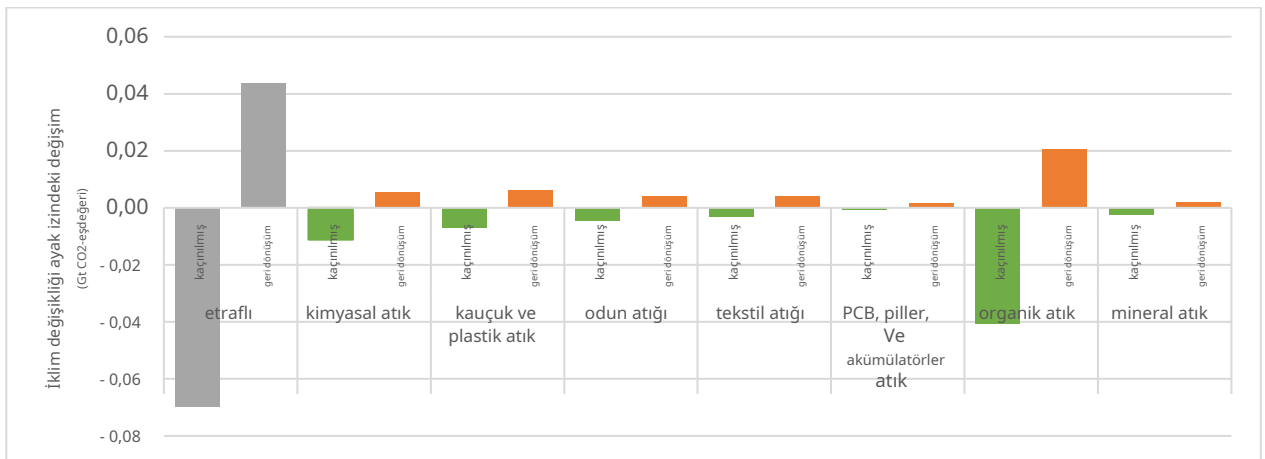
⁵⁰ Bu ifadenin altında yatan iddialı varsayımlar: Geri dönüşüme gönderilen tüm atıkların ikincil malzemelere dönüştürüldüğü ve 1:1 ikame oranının varsayıldığı varsayımı.

ancak çevresel etkiler üzerindeki etkisi düşüktür. 1 Ton başına en büyük çevresel fayda metaller ve fosil yakıtlarla bağlantılıdır, ancak toplam atıktaki düşük payları bu analizdeki potansiyellerini sınırlamaktadır.

- Bu değerlendirmede geri dönüşüme gönderilen atıkların tamamının ikincil malzemelere dönüştürülmesi ve birincil ve ikincil malzemeler arasında 1:1 oranında ikame yapılması varsayımının potansiyel faydaların abartılması olduğunu ve daha düşük verimlilik seviyeleri nedeniyle engellenebileceğini belirtiyoruz.
- Geri tepme etkileri (örneğin, (Castro ve diğerleri, 2022)) modellemeye dikkate alınmayan başka bir husustur. Geri tepme etkileri potansiyel faydaları zayıflatabilir.
- Modelleme, artan geri dönüşüm faaliyetlerine ve birincil malzemelerin ikamesine odaklanmaktadır. Atık yönetimi faaliyetlerine olan talebin azalması, örneğin yakma ve depolama, modellemenin bir parçası değildir.

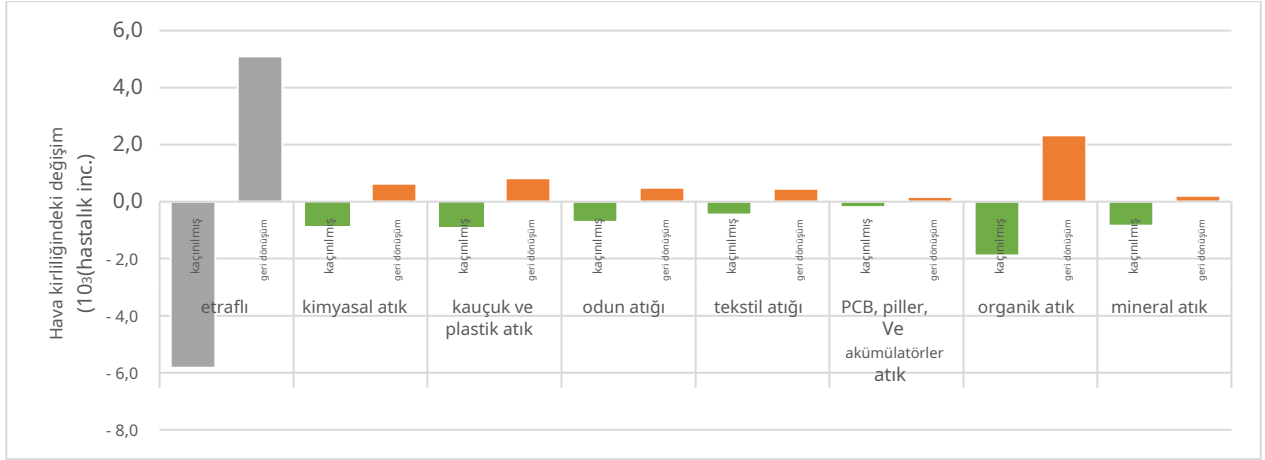
Şekil 5-1 ila Şekil 5-3, geliştirilmiş geri dönüşüm müdahalesinin modellemesinden elde edilen sonuçları ayrıntılı olarak göstermektedir. Hem genel sonuçlar (gri) hem de atık kategorisi başına ayrıntılı sonuçlar gösterilmektedir. Kaçınılan etkiler, malzemelerin (birincil) üretiminde modellenmiş bir azalmanın sonucudur (yeşil). İkincil malzemeleri üretmek için geri dönüşümden kaynaklanan etkiler tahmin edilmektedir (turuncu). İklim değişikliği etkilerindeki en büyük azalma, organik atıkların gübre malzemelerine geri dönüştürülmesinin artması varsayıldığında gübre üretimindeki azalmadan, ardından kimyasal atık üretiminden (yani petrol rafinerisi üretiminde azalma) ve kauçuk ve plastik üretiminden (yani temel plastik üretiminde azalma) kaçınılmasından kaynaklanmaktadır. Hava kirliliği için de benzer sonuçlar mevcuttur, ancak mineral atık kategorisinden kaynaklanan nispeten daha büyük kazanımlar ve geri dönüşüm etkileri vardır. Arazi kullanımına bağlı biyolojik çeşitlilik kaybındaki en büyük kazanımlar ve geri dönüşüm etkileri, ahşap atık, organik atık ve kauçuk ve plastik atık kategorilerinden kaynaklanmaktadır. Geri dönüşüm etkilerinin, bir AB27 geri dönüşüm sektörünün ilk modelleme prototipinden kaynaklandığını unutmayın. Bunun bir sonucu, organik atıkların geri dönüştürülmesinin, gübrelerin birincil üretiminin kaçınılan etkilerine kıyasla nispeten yüksek hava kirliliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı etkisidir. Bu sektörün girdi yapısının belirli atık akışlarına uyarlanması, modelleme sonuçlarının kalitesini artıracaktır. Bu sonuçlara bakarken dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli nokta da modelleme yaklaşımının geri dönüştürülmüş malzemelerin kalite yönlerini yakalayamaması gerçeğidir. Toplama, ayırma ve geri dönüştürme süreçlerini iyileştirerek ikincil malzemelerin kalitesinin iyileştirilmesi dikkate alınmamıştır.

Şekil 5-1: Birincil üretimden kaçınılması nedeniyle iklim değişikliği kredileri* ve farklı malzemelerin geri dönüştürülmesi nedeniyle oluşan etkiler.



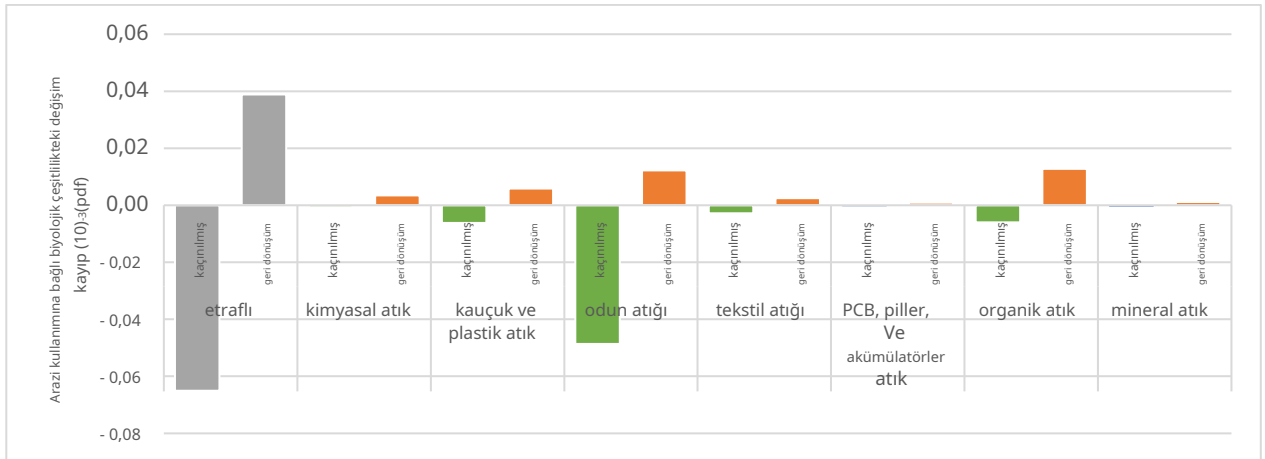
* Not: Sonuçlar ön modelleme değerlendirmesine dayanmaktadır (bkz. Bölüm 4.5).

Şekil 5-2: Birincil üretimden kaçınılması nedeniyle oluşan hava kirliliği kredileri* ve farklı malzemelerin geri dönüştürülmesi nedeniyle oluşan etki.



* Not: Sonuçlar ön modelleme değerlendirmesine dayanmaktadır (bkz. Bölüm 4.5).

Şekil 5-3: Birincil üretimden kaçınılması nedeniyle arazi kullanımına bağlı biyolojik çeşitlilik kaybı kredileri* ve farklı malzemelerin geri dönüştürülmesi nedeniyle oluşan etki.



* Not: Sonuçlar ön modelleme değerlendirmesine dayanmaktadır (bkz. Bölüm 4.5).

KUTU: LCA verilerine dayalı sonuçların kontrolü

Bu değerlendirme için uygulanan IO tabanlı modelleme yaklaşımı, modelde yalnızca bir ortalama Avrupa geri dönüşüm sektörü tanımlandığından belirli malzemelerin geri dönüşümü arasında ayırım yapamaz. Bu değerlendirmenin sonuçlarını doğrulamak için, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) verileri ve sonuçları metalik olmayan mineral atıklar ve organik atıklar için kullanılır.

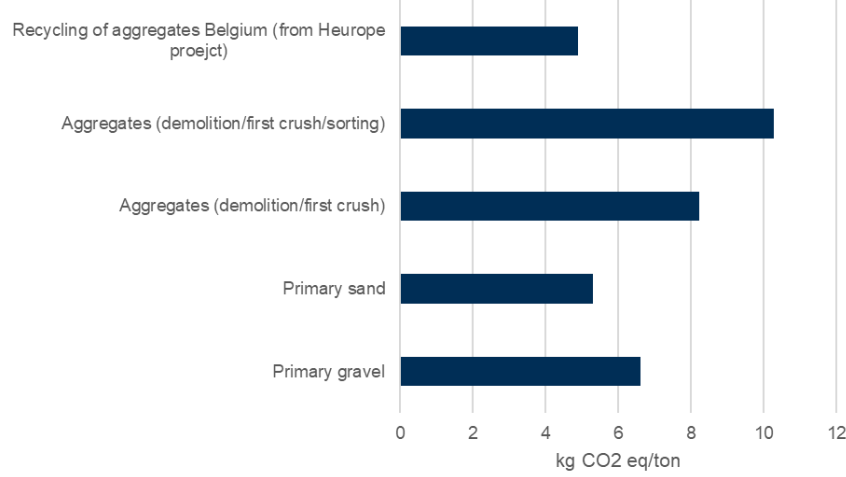
Metalik olmayan mineral atıkların geri dönüşümü

- İnşaat ve yıkım atıkları : beton, tuğla...

Aşağıdaki grafik, farklı veri kaynaklarına ve geri dönüşüm süreçlerine (yıkım, ilk kırma ve ayırma veya ayırmadan yıkım ve kırma) göre agregaların geri dönüşümünün iklim değişikliği etkisini göstermektedir. Veriler Ecoinvent veritabanından (ikinci ve üçüncü çubuk) ve bunun daha derinlemesine incelendiği bir Horizon Europe projesinden (ilk çubuk) alınmıştır. Son iki çubuk, kum ve çakılın çıkarılması ve üretimi için iklim değişikliği etkisini göstermektedir, her iki malzeme de tipik olarak

geri dönüştürülmüş agregalar. Veriler Ecoinvent veritabanından alınmıştır. LCA sonuçları, iklim değişikliği için geri dönüşüm sürecinin etkisinin, tanım gereği kaçınılan birincil üretim etkisinden daha küçük olmadığı sonucunu doğrulamaktadır.

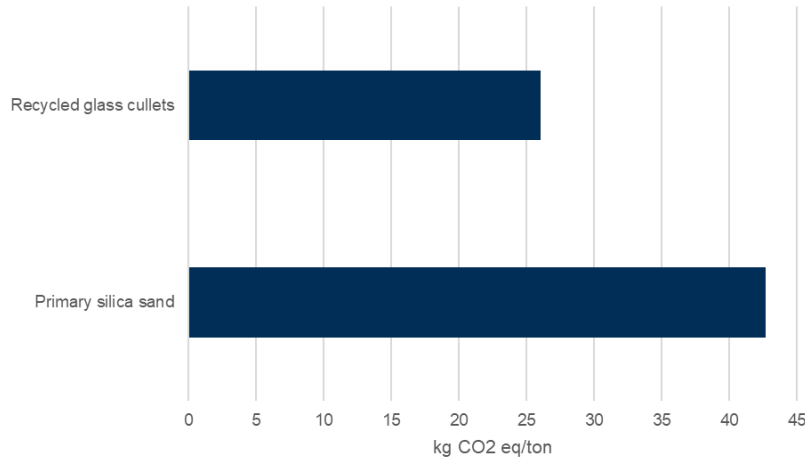
Belirli bir atık türünün geri dönüştürülmesiyle hangi tür malzemelerin önlendiğini tanımlamak her zaman kolay değildir. Örneğin, geri dönüştürülmüş inşaat ve yıkım atıklarından elde edilen agregalar genellikle inşaat sektöründe kullanılır, ancak her durumda kum ve/veya çakılın yerini almazlar.



- Cam atıkları

Aşağıdaki grafik, cam yünü izolasyonunda kullanılan camın geri dönüştürülmesinin iklim değişikliği üzerindeki etkisini, 1 ton geri dönüştürülmüş cam kırığı üretimi veya 1 ton silika kumunun çıkarılması ve üretilmesi (Ecoinvent verileri) esas alınarak modellenen çıkarma ve üretim etkisine karşı göstermektedir.

Bu sonuçlarla ilgili olarak dikkat edilmesi gereken önemli nokta, birincil ve ikincil malzemenin (silis kumu veya geri dönüştürülmüş cam kırıkları) birebir değiştirilebilir olmamasıdır. Genel bir kural olarak, birincil malzemeye kıyasla cam kırıklarının 'üretimi' için %25-30 daha az enerji gerekir.



- Kazılan toprak ve kaya (ESR) ve tarama atıkları (DDS):

(Cristobal ve diğerleri, 2024) farklı atık yönetimi senaryolarını izleyerek yeniden kullanıma hazırlanan ve geri dönüştürülen ESR ve DDS seviyesini artırmanın potansiyel iklim değişikliği etkisini azaltma olasılığını inceledi. LCA tabanlı değerlendirmeleri, yeniden kullanıma hazırlanmak ve geri dönüştürmek için daha fazla ESR ve DDS göndermenin 3,6 Mt CO2'ye kadar sera gazı azaltımına yol açabileceğini gösteriyor. (AB düzeyinde net yıllık sera gazı emisyon azaltımının %0,2 ila %1'ine karşılık gelir). Bu sonuçlar, kaçınılan depolama alanı emisyonlarının,

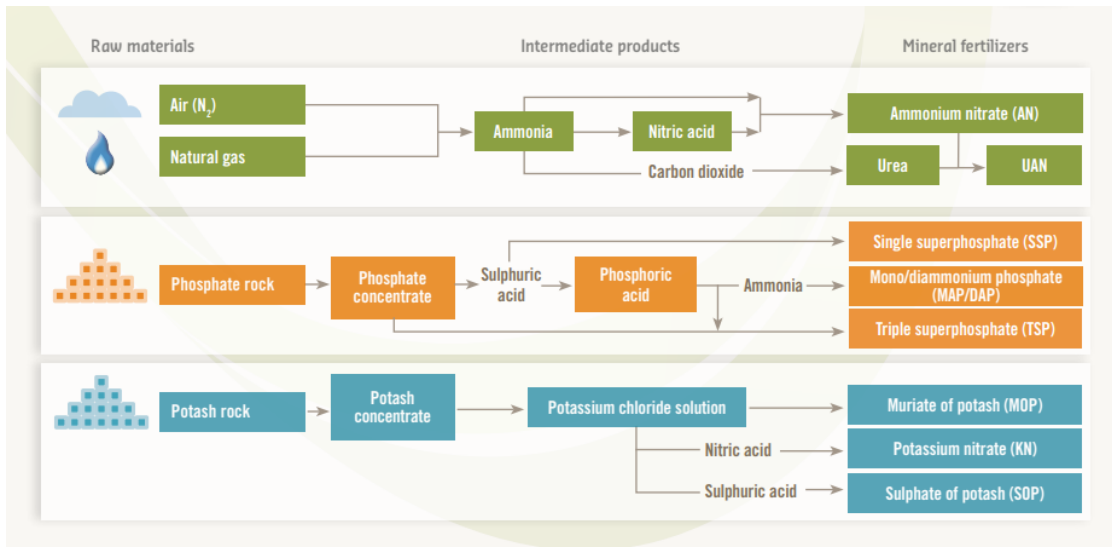
geri dönüşüm ve bakir malzemelerin değiştirilmesi için kaçınılan emisyonlar. LCA sonuçları, atık hiyerarşisinin her iki akış için de saygı gördüğünü göstermektedir, ancak bireysel yollar (yani yeniden kullanıma hazırlama, geri kazanım-geri doldurma ve geri dönüşüm) için süreç adımlarının (üretim, şartlandırma, taşıma ve işleme) etkileri, malzeme geri kazanımı nedeniyle kredilerden daha yüksek olsa da, şu anda baskın atık yönetimi yolu olan depolama alanından hala daha düşüktür.

Organik atıkların geri dönüşümü

Tipik olarak, organik atıkların geri dönüşümü NPK gübresinin yerini alan komposta yol açar. Birincil malzeme (gübre) üretimi için NPK içeriğine bağlı olarak farklı alternatifler mevcuttur:

- New Hampshire Haber-Bosh süreci aracılığıyla
- H_3PO_4 fosfat kaya madenciliği yoluyla
- Potasyum kayası yoluyla KCl

Aşağıdaki şema, farklı mineral gübrelerin ve bunların birincil üretim süreçlerinin şematik bir genel görünümünü sunmaktadır.



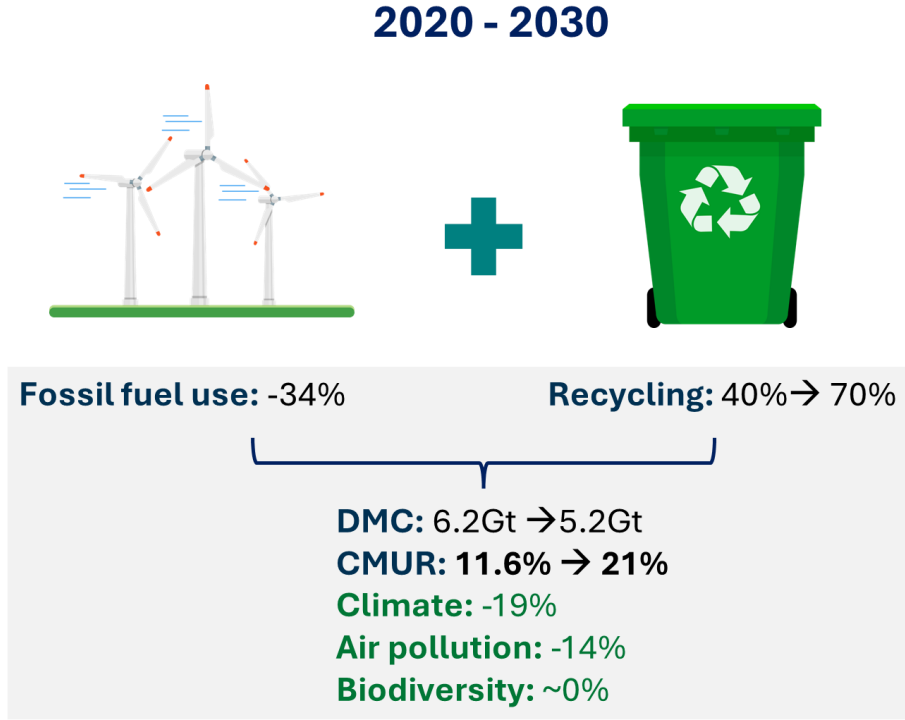
Taze kompost/sindirilm ürünündeki besin içeriği için de varsayımlar gereklidir. (WRAP (2016) aşağıdakileri varsayar:

- Azot: Ton kompost başına 9,25 kg (bahçe atığı ve bahçe/organik atık kompostu ortalaması), ton organik atık sindirilmiş ürünü başına 5 kg.
- Fosfat (P₂O₅): Ton kompost başına 3,4 kg, ton organik atık sindirici madde başına 0,5 kg

Organik atıkların geri dönüşümü ve ilgili genel çevresel etki/fayda için, geri dönüşümle hangi tür atık yönetiminin değiştirildiğini hesaba katmak önemlidir. Örneğin, organik atıkları çöplüklerden geri dönüşüme yönlendirmenin çevresel faydası, enerji geri kazanımından geri dönüşüme yönlendirmekten çok daha yüksektir. (EEA, 2024) AB atık sektörünün sera gazı emisyonlarının %70'inin çoğunlukla organik atıkların çöplüklere gönderilmesinden kaynaklanan çöplüklerden kaynaklanan metan emisyonları olduğunu belirtmektedir.

Şekil 5-4, bu çalışmada tanımlandığı gibi fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması ve geliştirilmiş geri dönüşüm senaryosunun ardından elde edilen genel azalmayı göstermektedir. CMUR, esas olarak geliştirilmiş geri dönüşüm senaryosu sayesinde %21'e önemli ölçüde artmakta, ancak iki katına çıkarma hedefine ulaşmak için yeterli değildir. Her iki senaryonun iklim değişikliği üzerindeki potansiyel kümülatif etkisi de önemlidir, yani %19'luk bir azalmaya ulaşılabilir. Bu, beklenebileceği gibi, esas olarak fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması senaryosundan kaynaklanmaktadır. Hava kirliliğinin kümülatif azalması -%14 iken, her iki senaryonun arazi kullanımına dayalı biyolojik çeşitlilik kaybı üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.

Şekil 5-4: Fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması ve gelişmiş geri dönüşüm senaryosunun kümülatif çevresel etki potansiyeli



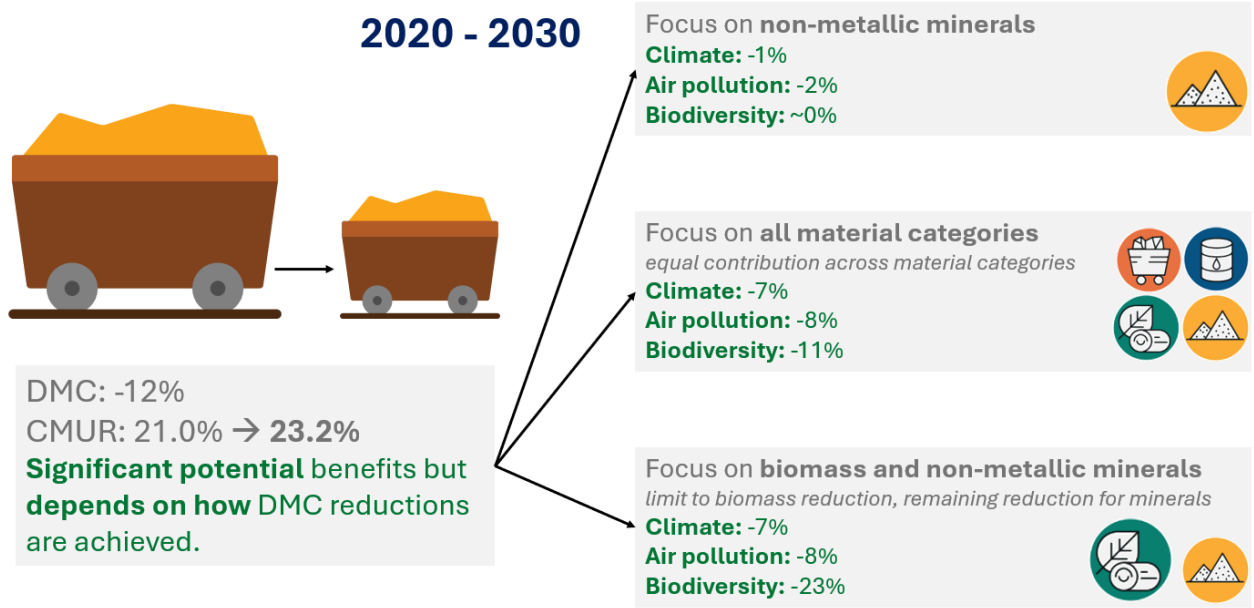
5.4 Azaltılmış malzeme tüketimi (önceki senaryolara ek olarak)

Bu senaryonun çevresel faydalarının nicelleştirilmesi yalnızca kullanıma hazır malzemeler metodolojisine dayanan yaklaşımla mümkündür. Burada bildirilen sonuçlar bu yaklaşıma dayanmaktadır. Ek 2, sonuçları kısaca sunmaktadır **literatür inceleme yaklaşımı**, bu nedenle raporlama için eki referans alıyoruz. Literatür taramasından elde edilen içgörüler ve sonuçlar, bu bölümde bildirildiği gibi kullanıma hazır malzemeler yaklaşımının sonuçlarını doğrulamaktadır.

Azaltılmış malzeme tüketimi senaryosunun çevresel faydaları **kullanıma hazır malzemeler yaklaşımı** Şekil 5-5'te görsel olarak sunulmuştur.

Hedeflenen DMC azaltımını farklı malzeme kategorilerine tahsis etmek için üç seçenek ayrı ayrı değerlendirilir ve her seçeneğin çevresel faydaları ayrı ayrı ölçülür. Malzeme kategorilerinin çevresel etkisi büyük ölçüde farklılık gösterebileceğinden, bir veya daha fazla belirli malzeme kategorisini hedef alan malzeme tüketimini azaltmanın faydaları da farklılık gösterecektir.

Şekil 5-5: Azaltılmış malzeme tüketimi senaryosunda DMC azaltımına yönelik üç seçeneğin ek çevresel etki potansiyeli



* Not: Şekilde belirtilen çevresel etki azaltımı, ek indirim Azaltılmış malzeme tüketim senaryosu nedeniyle.

Metalik olmayan minerallerin kullanımının değiştirilmesinin DMC'yi azaltmak ve dolayısıyla CMUR'yi artırmak için kritik olduğu açıktır, çünkü bu malzeme kategorisi AB-27 malzeme tüketiminde en yüksek paya sahiptir (en yüksek hacimler) bu nedenle kullanımını azaltmanın en az çabayı gerektirmesi beklenebilir. Ancak, nispeten düşük çevresel ayak izi yoğunlukları çevresel etki azaltma potansiyellerini sınırlar. Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması ve gelişmiş geri dönüşümle ilgili önlemlere ek olarak, yalnızca metalik olmayan mineralleri hedef alan malzemelerin kullanımını azaltmaya odaklanan önlemler nedeniyle sırasıyla iklim değişikliği, hava kirliliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı için sırasıyla -%1 ve %2 ek bir azalma elde edilir.

Malzeme azaltımı yalnızca metalik olmayan minerallerden daha fazla malzeme kategorisini hedeflediğinde, ek çevresel etki azaltımı çok daha yüksektir. Dört malzeme kategorisinin hepsi eşit olarak azaltıldığında, fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması ve gelişmiş geri dönüşüm önlemlerinin uygulanmasından sonra DMC'deki paylarına orantılı olarak, ek çevresel etki azaltımı -%7'ye, iklim değişikliği ve hava kirliliği için -%8'e ulaşır. Biyokütle kullanımını (metaller ve fosil yakıtlar yerine) azaltan önlemlere odaklanılırsa, biyolojik çeşitlilik kaybı için ek azalma -%11'den -%23'e yükselir.

Biyoçeşitlilik etkisini azaltmak için, biyokütle kullanımını mümkün olduğunca azaltmaya odaklanmak açıkça en yüksek potansiyeli sunar. Ancak biyokütle kullanımını azaltmanın bir sınırı vardır (bu değerlendirmede bu sınır kişi başına 2,3 ton olarak belirlenmiştir). Biyokütle kullanımını azaltmanın potansiyel etkisini değerlendirmek için literatürde incelenen CE önlemleri ve müdahalelerinin türüne bakıldığında, bu tür önlemlerin çoğunlukla tarımsal gıda sistemini hedef aldığı açıktır. (Kennedy ve diğerleri, 2022) üç tür CE önlemini şu şekilde ayırır:

- Ben) CE'nin en dar tanımı, malzeme ve ürün döngülerinin kapatılmasına odaklanmaktadır, örneğin gıda israfının önlenmesi ve gıda israfının bir kaynak olarak kullanılması;
- ii) CE, rejenerasyon oranlarına uygun olarak tüketimi azaltmaya odaklanan sınırlı bir sistemde, örneğin diyet değişiklikleri;
- iii) Üretim sistemlerinde moleküler dairesellik, örneğin tarımsal ormancılık.

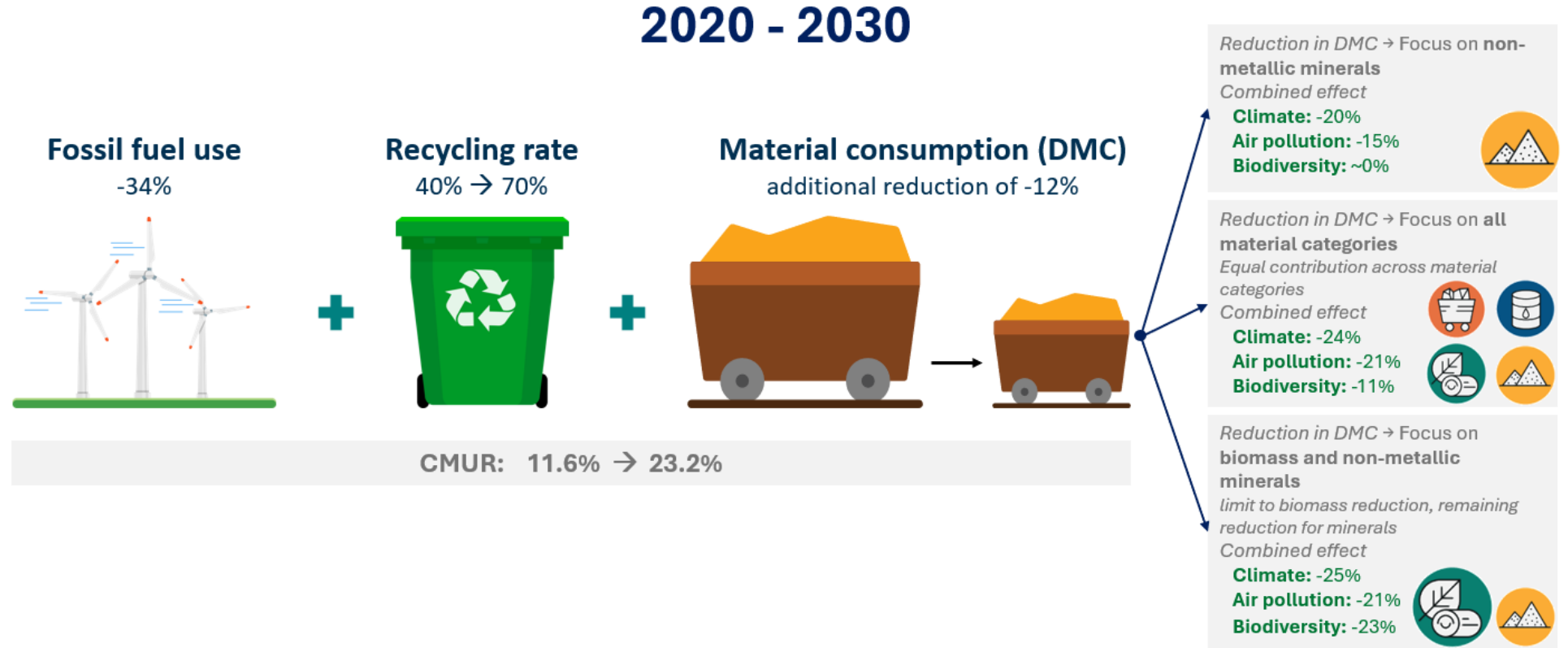
(Kennedy ve diğerleri, 2022)'deki gıda sistemine (tarımsal gıdalar) odaklanan değerlendirmeden, ilk gruptan (dar CE tanımı) alınan önlemlerin iklim değişikliği üzerindeki potansiyel etkisinin oldukça sınırlı olduğu, en büyük emisyon azaltma potansiyellerinin ise rejeneratif tarım ve diyet değişiklikleriyle ilişkili olduğu açıktır. Bu, örneğin (Circle Economy, 2021) değerlendirmenin yapıldığı diğer yayınlar tarafından doğrulanmıştır.

GHG emisyonu tasarrufu için en yüksek potansiyele sahip beslenmeye odaklanan CE müdahalelerinin sürdürülebilir gıda üretimiyle ilişkili olduğunu, sağlıklı diyetlerle daha az oranda ilişkili olduğunu ve aşırı gıda tüketimini azaltma önlemlerinin en düşük etkiye sahip olduğunu belirtmektedir. Ancak çalışma, rejeneratif tarımın gerçek potansiyelini tahmin etmede büyük belirsizlikler olduğunu da vurgulamıştır.

Metalik olmayan mineralleri hedefleyen önlemlerin iklim değişikliği ve diğer çevresel etkiler üzerindeki sınırlı etkisine rağmen, kullanılan malzemelerin hacmi ve dolayısıyla CMUR üzerindeki etki önemlidir. Metalik olmayan minerallerin kullanımının azaltılması en uygulanabilir olan ve en az çabayı gerektirmesi beklenen yöntem gibi görünmektedir. Metalik olmayan minerallere odaklanan tipik CE önlemleri konut ve inşaat sektörüyle ilgilidir. (Ramboll/Fraunhofer ISI/Ecologic, 2020) en umut verici CE önlemlerinin beton, çimento (ve çelik) hedeflediğini göstermektedir. Bu malzemeler sera gazı emisyonları açısından yüksek bir etkiye sahiptir ve Avrupa'da büyük hacimlerde kullanılmaktadır. GHG emisyonlarında en yüksek azaltımı sağladığı belirlenen CE önlemleri, bina planlarında betonun aşırı spesifikasyonunu azaltan önlemler (tasarım aşaması), yenilikçi ve alternatif çimento tiplerinin kullanımını teşvik eden önlemler (üretim aşaması) ve yapısal elemanların yeniden kullanılmasıdır (yıkım ve atık yönetimi aşaması). Binaların ömrünü uzatmaya odaklanan önlemler de umut vericidir, ancak bunların tam etkisi yalnızca daha uzun bir zaman diliminde ortaya çıkar ve bu nedenle çalışmada hafife alınmış olabilir. Aynı temel CE önlemleri (Circle Economy, 2021) en etkili önlemler olarak tanımlanmıştır, yani kaynak verimli inşaat, kaynak verimli konut ve dairesel inşaat malzemeleri.

Sonuç olarak, Şekil 5-6 bu çalışmada tanımlanan üç senaryonun toplam kümülatif çevresel azaltım potansiyelini göstermektedir.

Şekil 5-6: 2020 ve 2030 yıllarında AB27'de üç senaryoya göre CMUR, DMC'nin iklim değişikliği, hava kirliliği ve arazi kullanımıyla ilişkili biyolojik çeşitlilik kaybının kümülatif azaltma potansiyeli: fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması, geri dönüşümün artırılması ve malzeme tüketiminin azaltılması



6 Sonuçlar

Metodolojinin ilk versiyonunun uygulanmasından elde edilen temel çıkarımlar şunlardır:CMUR davası şöyle özetlenebilir:

- Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılmasına yönelik önlemler:
 - Avrupa'nın CMUR'unun artırılmasına ve böylece CEAP'ta belirlenen iki katına çıkarma hedefine ulaşılmasına yalnızca küçük bir katkıda bulunmak;
 - sera gazı emisyonlarını ve hava kirliliğini önemli ölçüde azaltmak;
- Geliştirilmiş geri dönüşüm önlemleri:
 - CMUR üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olacak, ancak iki katına çıkarma hedefine ulaşmak için yeterli olmayacak;
 - Çevresel etkiler açısından nispeten küçük bir potansiyel etkiye sahiptir;
- **Malzeme tüketimini azaltma önlemleri:**
 - CMUR hedefine ulaşmak için gereklidir;
 - Ancak paralel olarak çevresel etkiyi azaltmak istiyorsak, bu önlemleri doğru tipteki malzemelere odaklamak önemlidir;
 - CMUR'u artırmak için metalik olmayan minerallerin kullanımının değiştirilmesi kritik öneme sahiptir, ancak bunların nispeten düşük çevresel ayak izi yoğunluğu, çevresel etki azaltma potansiyellerini sınırlar;
 - Çevresel etkiler, hem üretim hem de kullanım açısından hammaddeye göre farklılık göstermektedir:
 - İklim değişikliğiyle mücadele için fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması şart;
 - Metallerin daha sürdürülebilir kullanımı, iklim değişikliği, hava kirliliği ve kaynak tükenmesi üzerindeki etkilerin azaltılmasına yardımcı olabilir;
 - Biyokütle'nin daha dairesel ve sürdürülebilir kullanımı, biyolojik çeşitlilik kaybı üzerindeki etkilerin azaltılmasına yardımcı olur;
 - Üretim tarafındaki değişikliklere ek olarak, talep tarafındaki değişiklikler de gereklidir. CMUR'un iki katına çıkma hedefine ulaşmak ve ayrıca çevresel baskıları/etkileri azaltmak için nihai tüketime odaklanan politika önlemleri gereklidir.

Bu çalışmada tanımlanan diğer senaryolara kıyasla gelişmiş geri dönüşümün çevresel faydaları önemli ölçüde katkıda bulunmasa da, kaynakların kullanılabilirliğini sağlamak ve kaynak kıtlığıyla mücadele etmek için geri dönüşümün yüksek öneme sahip olduğu konusunda genel bir fikir birliği vardır. Daha yüksek kaliteli geri dönüşümün ek değer getirebileceği gerçeği değerlendirme metodolojisinde ele alınmamıştır.

Çalışma ayrıca metalik olmayan minerallerin azaltılmasının çevresel etkiyi azaltmada en yüksek potansiyele sahip olmayabileceğini ancak DMC'yi azaltmak ve dolayısıyla CMUR'yi artırmak için kritik olduğunu göstermiştir. Metalik olmayan mineraller AB-27 malzeme tüketiminde en yüksek paya sahiptir (en yüksek hacimler)

Birinden metodolojik bakış açısı, vaka çalışması, temel varsayımları daha da geliştirme ve CE'nin çevresel faydalarını ölçmek için gereken metodolojik adımların her biri için daha fazla zaman ayırma ihtiyacını gösterdi. Bu, 2025 yılında ETC-CE tarafından daha fazla araştırılacak ve iyileştirilecektir.

CE'nin çevresel faydalarını niceliksel olarak ölçen çeşitli çalışmalarda, CE'nin kapsamına ilişkin farklı yorumlar vardır, örneğin CE ölçümlerinin diyet değişimlerini, rejeneratif tarımı, enerji verimliliğini veya yenilenebilir enerjiyi içerip içermediği. Dairesel ekonominin faydalarını hesaplamak için kullanılan tanımlara genel bir bakış yapılacak, farklılıkları vurgulanacak ve bu farklı tanımların etkileri tartışılacaktır. Bu içgörüler, CE'nin çevresel faydalarını ölçmeye yönelik gelecekteki çalışmalara bilgi sağlayacak ve CE kapsamının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesinin önemini vurgulayacaktır.

Benzer şekilde, farklı çalışmalar da CE ölçümlerinin malzeme akışlarındaki değişiklikler üzerindeki etkisine ilişkin biraz farklı temel varsayımlara sahiptir. Bu temel varsayımlar herhangi bir modelleme çalışmasının sonucu için kritik öneme sahiptir ve bu nedenle dikkatli değerlendirmeleri hak eder. Gelecekteki çalışmalar yalnızca

Başkalarının temel varsayımlar olarak belirledikleri şeyleri özetleyecek ancak aynı zamanda malzeme akışları üzerindeki seçili temel CE ölçümlerinin etkisini ölçmek için bir yaklaşım geliştireceğiz.

7 Kısaltmalar listesi

Kısaltma	İsim	Referans
AE	Birikmiş aşım	
Avrupa Birliği	Dairesel ekonomi	
CFI	Tüketim ayak izi göstergesi	
CEAP	Döngüsel ekonomi eylem planı	
CMUR	Dairesel Malzeme Kullanım Oranı	
CO2 eq.	Karbondiyoksit eşdeğeri	
CTU	Ekosistemler için karşılaştırmalı toksik birim	
CTUh	İnsanlar için karşılaştırmalı toksik birim	
DDS	Kazı ganimetleri	
DMC	Yurtiçi malzeme tüketimi	
AEA	Avrupa Çevre Ajansı	www.eea.europa.eu
EGD	Avrupa Yeşil Mutabakatı	
E.F.	Çevresel ayak izi	
ESR	Çaba Paylaşımı Düzenlemesi	
ESR	Kazılan Toprak ve Kaya	
ETC-CE	Avrupa Dairesel Ekonomi ve Kaynak Kullanımı Konu Merkezi	
ETS	Emisyon Ticaret Sistemi	
GSYİH	Gayri safi yurtiçi Hasıla	
sera gazı	Sera gazı	
G/Ç	Giriş-Çıkış	
Dünya Doğayı Koruma Birliği	Uluslararası Doğa Koruma Birliği	
Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	Yaşam döngüsü değerlendirme	
LCIA	Yaşam döngüsü etki değerlendirme	
Mİ	Malzeme yoğunluğu	
MR görüntüleme	Çok Bölgeli Giriş-Çıkış	
NAS	Stoklara net eklemeler	
Ulusal Kriz Yönetimi	Ulusal olarak belirlenen katkılar	
Kuzey Karolina	İsimlendirme	
Hollanda	Hollanda	
NM VOC	Metan olmayan uçucu organik bileşikler	
ODP	Ozon tabakasının incelmeye potansiyeli	
PDF	Potansiyel Olarak Kaybolan Kesir	
ÖĞLEDEN SONRA	Partikül madde	

8 Referanslar

Bringezu, S., 2015, 'Küresel Malzemenin Sürdürülebilir Kullanımı İçin Olası Hedef Koridoru', *Kaynaklar*4(1), s. 25-54 (DOI: 10.3390/resources4010025).

Cabernard, L., ve diğerleri, 2019, 'Küresel tedarik zincirlerinin sürdürülebilirlik performansını analiz etmek için yeni bir yöntem ve bunun maddi kaynaklara uygulanması', *Toplam Çevre Bilimi*684, s. 164-177 (DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.434).

Cabernard, L. ve Pfister, S., 2021, 'Çevresel ayak izlerini ve Yeşil Ekonomi İlerlemesini analiz etmek için yüksek çözünürlüklü bir MRIO veritabanı', *Toplam Çevre Bilimi*755, s. 142587.

Cabernard, L. ve Pfister, S., 2022, 'Küresel Tedarik Zincirlerinde Madencilik İlgili Biyolojik Çeşitlilik Kaybının Sıcak Noktaları ve Yenilenebilir Elektrikle Azaltma Potansiyeli', *Çevre Bilimi ve Teknolojisi* 56(22), s. 16357-16368 (DOI: 10.1021/acs.est.2c04003).

Castro, CG, ve diğerleri, 2022, 'Dairesel ekonominin geri tepme etkisi: Tanımlar, mekanizmalar ve bir araştırma gündemi', *Temiz Üretim Dergisi*345, s. 131136 (DOI: doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131136).

Chaudhary, A. ve diğerleri, 2016, *LC-IMPACT: Mekansal olarak farklılaştırılmış bir yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yaklaşımı - Bölüm 11: Arazi stresi - Arazi kullanımından kaynaklanan potansiyel tür kaybı* (Türkçe: https://lc-impact.eu/doc/LC-IMPACT_Genel_rapor_20201113.pdf).

Çember Ekonomisi, 2021, *Dairesellik Açığı Raporu - 2021*, Dairesel Ekonomi (<https://www.circularitygap.world/2021>).

Çember Ekonomisi, 2023, *Dairesellik Açığı Raporu, Dairesel Ekonomi* (<https://ddc.dk/wpcontent/uploads/2023/08/Dairesellik-boşluğu-raporu-ingilizce-sürüm.pdf>).

Cristobal, J., ve diğerleri, 2024, 'AB içinde inşaat ve yıkımdan kaynaklanan kazı toprağı ve tarama atığının yönetimi: Uygulamalar, etkiler ve perspektifler', *Toplam Çevre Bilimi*944, s. 173859 (DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173859).

Curran, M., ve diğerleri, 2024, 'Biyolojik çeşitliliğin dengelenmesi politikası için herhangi bir ampirik destek var mı?', *Ekolojik Uygulamalar*24(4), s. 617-632 (DOI: doi.org/10.1890/13-0243.1).

Dittrich, M. ve diğerleri, 2012, *Dünya Çapında Yeşil Ekonomiler?: Kaynak Kullanımının Kalkınma ve Çevre Üzerindeki Etkileri*, Sürdürülebilir Avrupa Araştırma Enstitüsü (SERI), Viyana.

Dittrich, M. ve diğerleri, 2021, *Deutschland'da Sekundärrohstoffe, Auftrag des NABU'da*, Ifeu Institut (https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/konsumressourcenmuell/2104-22-ifeu-studiesekundaerrohstoffe_in_deutschland.pdf) 8 Ağustos 2022'de erişildi.

Donati, F., ve diğerleri, 2020, 'Çevresel olarak genişletilmiş girdi-çıkıtlı tablolarında dairesele ekonominin modellenmesi: Yöntemler, yazılım ve vaka çalışması', *Kaynaklar, Koruma ve Geri Dönüşüm*152, s. 104508 (DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104508).

EC, 2020, Komisyon personeli çalışma belgesi — Avrupa Parlamentosu, Konsey, Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesi ve Bölgeler Komitesi'ne Komisyon'dan Bildirim 'Avrupa'nın 2030 iklim hedefini artırmak: halkımızın yararına iklim açısından nötr bir geleceğe yatırım yapmak' belgesine eşlik eden etki değerlendirmesi (SWD(2020) 176, 17 Eylül 2020 tarihli son belge).

AEA, 2020, *Geri dönüşümü artırma davası: Avrupa'da geri dönüşüm potansiyelinin tahmini* (<https://www.eea.europa.eu/publications/the-case-for-increasing-recycling>) 24 Nisan 2022'de erişildi.

EEA, 2022, 'Avrupa'da dairesel malzeme kullanım oranı' (<https://www.eea.europa.eu/ims/circular-material-userate-in-europe>) 18 Ekim 2022'de erişildi.

AÇA, 2024, Döngüsel ekonomi ve atık sektörü politikaları ve önlemlerinin iklim değişikliğini azaltma faydalarının yakalanması, (<https://www.eea.europa.eu/publications/capturing-the-climate-change-mitigation>) 9 Kasım 2024'te erişildi.

Ellen MacArthur Vakfı ve Maddi Ekonomi, 2019, *Resmin tamamlanması: Döngüsel ekonominin iklim değişikliğiyle nasıl başa çıktığı* (https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/emf_completing_the_picture.pdf).

ETC CE, 2023, *Dairesel malzeme kullanım oranının analizi ve iki katına çıkarma hedefi*, Rapor Yok 2023/6, Avrupa Dairesel Ekonomi Konu Merkezi (<https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-report-2023-6-analysis-of-the-circular-material-use-rate-and-the-doubling-target>).

ETC CE, 2024, *ETC CE Raporu 2024/1 Döngüsel ekonomi ve iklim değişikliğinin azaltılması - İklim raporlaması ve politika yapımında Döngüsel Ekonomi eylemlerinin dahil edilmesine ilişkin analiz ve rehberlik*, Avrupa Dairesel Ekonomi Konu Merkezi (<https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-report-2024-1-circular-economy-and-climate-change-mitigation-analysis-and-guidance-on-cluding-circular-economyactions-in-climate-reporting-and-policy-making>).

Eurostat, 2018, *Ekonomi çapında malzeme akışı hesapları el kitabı*, No 2018- edition, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-andguidelines/-/KS-GQ-18-006>) 16 Haziran 2022'de erişildi.

Avrupa İstatistik Ofisi, 2022, 'Malzeme akış hesaplarının' (https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env_ac_mfa_sims.htm) 3 Ocak 2023'te erişildi.

Eurostat, 2023a, 'Dairesel malzeme kullanım oranı' (https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env_ac_cur) 3 Ocak 2023'te erişildi.

Eurostat, 2023b, 'Comext Ticaret İstatistikleri' (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb/>) 3 Ocak 2023'te erişildi.

Eurostat, 2023c, Atık kategorisine göre atıkların işlenmesi, tehlikelilik ve atık yönetimi işlemleri, (<https://data.europa.eu/data/datasets/8bxb7vunmkpy3c2mnoelw?locale=en>) 3 Ocak 2023 tarihinde erişildi.

Eurostat, M. akış hesabı, 2021, 'Dairesel ekonomi akış diyagramları', Dairesel ekonomi akış diyagramları (https://ec.europa.eu/eurostat/cache/sankey/circular_economy/sankey.html) 23 Haziran 2022 tarihinde erişildi.

Günther, J. ve diğerleri, 2019, *Sera Gazı Nötrlüğüne Doğru Kaynak Verimli Yollar – RESCUE*, Alman Çevre Ajansı (UBA) (https://www.umweltbundesamt.de/en/rescue/summary_report) 12 Kasım 2019'da erişildi.

Günther, J. ve diğerleri, 2023, *Dairesel Ekonomi ve Biyoçeşitlilik*, 2023/7, Avrupa Dairesel Ekonomi ve Kaynak Kullanımı Konu Merkezi, Mol (Anvers) (<https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etcce-report-2023-7-circular-economy-and-biodiversity>).

Haas, W. ve diğerleri, 2016, 'Küresel Ekonomi Ne Kadar Döngüsel? Sosyometabolik Bir Analiz', Haberl, H. ve diğerleri (editörler) içinde, *Sosyal Ekoloji: Zaman ve Mekanda Toplum-Doğa İlişkileri*, İnsan-Çevre Etkileşimleri, Springer International Publishing, Cham, s. 259-275.

Haas, W. ve diğerleri, 2024a, *Dairesel Ekonomi ve Karbonsuzlaştırma: Sinerjiler ve Karşılıklı Tavizler*, Avusturya Ekonomik Araştırma Enstitüsü, Doğal Kaynaklar ve Uygulamalı Yaşam Bilimleri Üniversitesi, Viyana, Avusturya (<https://www.wifo.ac.at/en/publication/271362/>) 18 Aralık 2024 tarihinde erişildi.

Haas, W., vd., 2024b, 'Karbonsuzlaştırma ve döngüsel ekonomi nasıl etkileşime giriyor: Avusturya'daki binalar, ulaşım ve elektrik sektörleri örneğinde faydalar ve takaslar', Sosyal Bilimler Araştırma Ağı, Rochester, NY (<https://papers.ssrn.com/abstract=5034679>) 18 Aralık 2024'te erişildi.

Hoekstra, AY ve Wiedmann, TO, 2014, 'İnsanlığın sürdürülemez çevresel ayak izi', *Bilim* 344(6188), s. 1114-1117 (DOI: 10.1126/science.1248365).

IPBES'ler, 2019, *Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri Konulu Hükümetlerarası Bilim-Politika Platformunun Küresel Değerlendirme Raporu*, Brondizio, ES, Settele, J., Díaz, S., Ngo, HT (eds), IPBES sekreterliği, Bonn, Almanya.

Kennedy, E. ve diğerleri, 2022, *Dairesel Tarımsal Gıda*, Amsterdam, Hollanda (<https://www.metabolic.nl/publications/circular-agrifood/>).

Lettenmeier, M., ve diğerleri, 2014, 'Sekiz Tonluk Malzeme Ayak İzi - Finlandiya'da Hanehalkı Tüketimi için Kaynak Sınırı Önerisi', *Kaynaklar*3(3), s. 488-515 (DOI: 10.3390/resources3030488).

Material Economics, 2019, 'The Circular Economy - a Powerful Force for Climate Mitigation - Material Economics' (<https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy>) 30 Eylül 2020'de erişildi.

Meyer, I., ve diğerleri, 2024, 'Dekarbonisierung und Kreislaufwirtschaft: Ökonomische und biophysische Effekte verschiedener Szenarien für Österreich', *WIFO-Aylık Raporlar*97(6), s. 345-358 (DOI: <https://www.wifo.ac.at/publication/pid/53063919>).

Milà i Canals, L., ve diğerleri, 2006, 'LCA kapsamında arazi kullanım etkisi değerlendirmesi için bir çerçevedeki temel unsurlar (11 sayfa)', *Uluslararası Yaşam Döngüsü Değerlendirme Dergisi*12, s. 5-15 (DOI: <http://doi.org/10.1065/lca2006.05.250>).

Olsen, DM, ve diğerleri, 2001, 'Dünyanın Karasal Ekolojik Bölgeleri: Dünyadaki Yaşamın Yeni Haritası: Karasal ekolojik bölgelerin yeni küresel haritası, biyolojik çeşitliliği korumak için yenilikçi bir araç sağlıyor', *Biyolojik Bilimler*51(11), s. 933-938 (DOI: [doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2)).

O'Neill, DW, ve diğerleri, 2018, 'Gezegensel sınırlar içinde herkes için iyi bir yaşam', *Doğa Sürdürülebilirliği*1(2), s. 88-95 (DOI: 10.1038/s41893-018-0021-4).

Pereira, HM ve Daily, GC, 2006, 'Kırsal alanlardaki biyolojik çeşitlilik dinamiklerinin modellenmesi', *Ekoloji* 87(8), s. 1877-1885 (DOI: [doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1877:MBDICL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1877:MBDICL]2.0.CO;2)).

Pfister, S., ve diğerleri, 2011, 'Küresel ürün üretiminde su kullanımının çevresel etkileri: sıcak noktalar ve arazi kullanımıyla ilgili takaslar', *Çevre Bilimi ve Teknolojisi*45(13), s. 5761-5768 (DOI: 10.1021/es1041755).

Ramboll/Fraunhofer ISI/Ekolojik, 2020, *Sektörel döngüsel ekonomi eylemlerinin karbonsuzlaştırma faydaları* (<https://ramboll.com/media/environ/decarbonisation-benefits-of-sectoral-circular-economy-actions>).

Schmidt-Bleek, F., 1992, 'Almanya sanayi için iyi bir yer olmaya devam edecek mi? Madalyonun ekolojik tarafı.' *Fresenius Çevre Bülteni* 7(7), s. 417-422.

Schmidt-Bleek, F., 1994, *Wieviel Umwelt braucht der Mensch? Faktor 10-das Maß für ökologisches Wirtschaften*, Birkhäuser Yayınevi, Berlin.

Stadler, K., ve diğerleri, 2021, EXIOBASE 3, (<https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.5589597>) erişim tarihi: 10 Ocak 2025, Zenodo.

Üçlü Ekonomi, 2020, *Avrupa'da Atık Yönetiminin Ortaya Çıkan Zorlukları Geri Dönüşümün Sınırları*.

UNEP IRP'si, 2011, *Doğal kaynak kullanımının ve çevresel etkilerin ekonomik büyümeden ayrılması*, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Uluslararası Kaynak Paneli (<https://www.resourcepanel.org/reports/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impactseconomic-growth>) 9 Nisan 2024'te erişildi.

UNEP IRP'si, 2014, *Sürdürülebilir Ekonomik ve Sosyal Kalkınma için Doğal Kaynak Tabanının Yönetimi ve Korunması*, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Uluslararası Kaynak Paneli (<https://www.resourcepanel.org/reports/managing-and-conserving-natural-resource-base-sustainedeconomic-and-social-development>) 9 Nisan 2024'te erişildi.

UNEP IRP'si, 2024, *Küresel Kaynaklar Görünümü 2024 - Eğilimi değiştirin: Kaynak kullanımı artarken yaşanabilir bir gezegene giden yollar*, Uluslararası Kaynak Paneli, Birleşmiş Milletler Çevre Programı, Nairobi, Kenya (<https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook-2024>) 16 Aralık 2024'te erişildi.

UNEP-SETAC, 2016, *Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Göstergeleri için Küresel Rehberlik - Cilt 1*, Paris (<https://www.lifecycleinitiative.org/training-resources/global-guidance-lcia-indicators-v-1/>).

Wiebe, KS, ve diğerleri, 2018, 'Gelecekteki çevresel ayak izlerinin tahmini için küresel bir MRIO modelinde dışsal senaryoların uygulanması', *Ekonomik Yapılar Dergisi* 7(1), s. 20 (DOI: 10.1186/s40008-018-0118-y).

Dünya Doğayı Koruma Vakfı, 2023, *Almanya Döngüsel Ekonomi Modeli: 2045'te Almanya için kapsamlı bir döngüsel ekonomi*, Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF) (<https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Unternehmen/WWF-model-germany-circular-economy.pdf>) 16 Aralık 2024'te erişildi.

Ek 1: Çevresel etki kategorileri

Uzantı tablolarında yer alan bilgilere (örneğin, çevresel uzantılar) dayanarak, IOA farklı çevresel ve sosyo-ekonomik etkileri değerlendirmeye olanak tanır. EXIOBASE ile bağlantılı çevresel uzantılar, havaya, suya ve toprağa farklı emisyon türlerini ve çıkarılan kaynakları içerir, örneğin, GHG emisyonları, partikül madde, metal cevherleri - Kalay, Çinko, ... ve ayrıca arazi kullanım verileri de dahildir.

Tipik olarak, Giriş-Çıkış (GÇ) analizlerinin sonuçları ilk önce 'ham' uzantı verileri veya basınçlar (örneğin, kg CO₂ olarak ifade edilir.⁵², m² tarım arazisi işgali) ve bir sonraki adımda etkilere dönüştürülür (örneğin, kg CO₂ eşdeğerleri) Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (LCIA) yöntemi kullanılarak Çevresel Ayak İzi (EF) yöntemi gibi yaşam döngüsü değerlendirmelerinde (LCA) de kullanılan bir yöntemdir. Bir LCIA yöntemi, fiziksel birimlerde toplanan bilgileri (LCA'daki temel akışlar veya IO analizi durumunda 'ham' uzantı verileri) etkiledikleri bir veya birkaç etki kategorisine bağlar ve etkiye katkılarının büyüklüğünü değerlendirir. İklim değişikliği için bu, envanterdeki tüm sera gazlarının kg karbondioksit eşdeğerlerine (CO₂eq.) ve incelenen sistemin iklim değişikliğine katkısını hesaplamak için bir araya getirildi. Temel akışların/ham uzantı verilerinin belirli etki kategorilerine katkısını değerlendirmek için çeşitli yöntemler geliştirildi. Bu katkı faktörüne karakterizasyon faktörü denir.

İklim değişikliği ve hava kirliliği

EF yöntemi, iklim değişikliği ve partikül madde de dahil olmak üzere 16 farklı etki kategorisini içeren AB tarafından önerilen bir yöntemdir.⁵²) (Tablo A1-1'e bakınız).

Tablo A1-1: EF 3.0 Yönteminin çevresel etki kategorileri

Etki kategorisi	Gösterge	Birim
İklim değişikliği (53)	Radyasyon zorlaması Küresel Isınma Potansiyeli (GWP100) olarak	kg CO ₂ eşdeğer
Ozon tabakasının incilmesi	Ozon Tükenme Potansiyeli (ODP)	kg CFC-11 eşdeğeri (54)
İnsan toksisitesi, kanser etkileri (55)	İnsanlar için Karşılaştırmalı Toksik Birim (CTU) _H	CTU _H
İnsan toksisitesi, kanser dışı	İnsanlar için Karşılaştırmalı Toksik Birim (CTU) _H	CTU _H
Partikül madde oluşumu	PM2.5'e maruz kalmanın insan sağlığı üzerindeki etkileri (56)	Hastalık olaylar
İyonlaştırıcı radyasyon	İnsan maruziyeti verimliliği U'ya göre ²³⁵	kBq U ₂₃₅
Fotokimyasal ozon oluşumu	Troposferik ozon konsantrasyonunun artması	kg NMVOC eşdeğeri (57)
Hava asitlenmesi	Toplam Aşım (AE)	mol H-eşdeğer
Karasal ötrofikasyon,	Toplam Aşım (AE)	mol N eşdeğeri
Tatlı su ötrofikasyonu	Tatlı su uç bölmesine ulaşan besin maddelerinin kesri (P)	kg P eşdeğeri
Deniz ötrofikasyonu	Deniz uç bölmesine ulaşan besin maddelerinin kesri (N)	kg N eşdeğeri

⁵² Avrupa Komisyonu. 2021. "Ürünlerin ve Kuruluşların Yaşam Döngüsü Çevresel Performansını Ölçmek ve İletmek İçin Çevresel Yöntemlerin Kullanımına İlişkin 16.12.2021 tarihli Komisyon Tavsiyesi." Avrupa Komisyonu. https://environment.ec.europa.eu/publications/recommendation-use-environmental-footprintmethods_tr .

⁵³ "İklim Değişikliği, toplam" göstergesi üç alt göstergenin birleşimidir: İklim değişikliği – Fosil değişim; İklim değişikliği – Biyojenik değişim; İklim değişikliği – Arazi kullanımı ve arazi kullanımı değişikliği. 'İklim değişikliği – Fosil', 'İklim değişikliği – Biyojenik' ve 'İklim değişikliği – Arazi kullanımı ve arazi kullanımı değişikliği' alt kategorileri, iklim değişikliğinin toplam puanına her biri %5'ten fazla katkı gösteriyorsa ayrı ayrı raporlanmalıdır.

⁵⁴ CFC-11 = Trikloroflorometan, freon-11 veya R-11 olarak da bilinir, uzun vadeli emisyonları (100

⁵⁵ yıldan uzun süre) hariç tutan bir kloroflorokarbondur

⁵⁶ Çapı 2,5 µm veya daha küçük olan Partikül Madde

⁵⁷ NMVOC = Metan Olmayan Uçucu Organik Bileşikler

Tatlı su ekotoksitesitesi ⁵⁵	Ekosistemler için Karşılaştırmalı Toksik Birim (CTU) _{ve}	CTU _{ve}
Arazi kullanımı (⁵⁸)	Toprak kalite indeksi: - biyotik üretim - erozyon direnci - mekanik filtrasyon - yeraltı suyu yenilenmesi	Boyutsuz (⁵⁹)
Su tükenmesi	Kullanıcı yoksunluk potansiyeli (yoksunluk ağırlıklı su tüketimi)	kg dünya eq. mahrum bırakılmış
Kaynak kullanımı, mineraller ve metaller	Abiotik kaynakların tükenmesi (ADP nihai rezervleri)	kg Sb eşdeğeri
Kaynak kullanımı, enerji taşıyıcıları	Abiotik kaynakların tükenmesi – fosil yakıtlar (ADP-fosil) (⁶⁰)	MJ

Bu raporda iklim değişikliği ve partikül madde üzerindeki etkiyi değerlendirmek için kullanılan modeller EF yönteminden alınmıştır:

- **İklim değişikliği:** CO₂ gibi sera gazlarının atmosfere salınması sonucu, artan ortalama küresel sıcaklıklar ve ani bölgesel iklim değişiklikleri de dahil olmak üzere iklimde meydana gelen değişikliklerden kaynaklanan küresel etki₂, Ç₄ve N₂O.
 - EXIOBASE iklim değişikliği uzantı tablolarında aşağıdaki çevresel baskılar mevcuttur: CO₂-havaya emisyonlar, CH₄- havaya emisyonlar, N₂Havaya O-emisyonları.
- **Partikül madde:** Birincil ve ikincil partiküllerin (yani PM_{2.5}, NO_x) emisyonları nedeniyle partikül madde (PM) ortam konsantrasyonlarının artması nedeniyle insan sağlığı üzerindeki etki_x, BU YÜZDEN₂).
 - EXIOBASE uzantı tablolarında partikül madde için aşağıdaki çevresel basınçlar mevcuttur: SO_x-havaya emisyonlar, HAYIR_x-Havaya emisyonlar, NH₃-Havaya emisyonlar, PM_{2.5}-Havaya emisyonlar.

EF yöntemi, şu anda bu etkiyi yakalayan bir LCIA yöntemi konusunda uluslararası bir fikir birliği olmadığından, 'biyolojik çeşitlilik' adlı herhangi bir etki kategorisini içermez. Bu nedenle, bir sonraki paragraf, bu çalışmada değerlendirmek için kullanılan yöntemi belgelemektedir **biyolojik çeşitliliğin kaybı**.

Biyolojik çeşitliliğin kaybı

EF yöntemi, biyolojik çeşitliliği etkileyen en az sekiz etki kategorisini içerir (yani, iklim değişikliği, ötrofikasyon (tatlı su), ötrofikasyon (denizel), ötrofikasyon (karasal), asitleşme, su kullanımı, arazi kullanımı, ekotoksitesite tatlı su).

Döngüsel ekonominin biyoçeşitlilik üzerindeki etkilerini değerlendirme yeteneği büyük önem taşımaktadır, çünkü hammaddelerin ve ürünlerin işlenmesi ve kullanımı ile üretimimiz ve tüketimimiz sonucu ortaya çıkan atıkların bertarafı Avrupa'da ve dünya çapında biyoçeşitliliğin durumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Döngüsel Ekonomi, mal ve hizmet üretme ve tüketme şeklimizi ele alan bir dönüşüm stratejisi olarak görülebilir ve biyoçeşitliliğin korunmasını desteklemek ve sektöre bağlı olarak biyoçeşitliliği yeniden canlandırmak için eşsiz bir fırsat sunar (Günther vd., 2023). Ancak bunun için, Döngüsel Ekonominin tasarımı ve uygulanmasında biyoçeşitliliğin daha fazla dikkate alınması gerekir ve bu da bu önlemlerin biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri açısından değerlendirilmesini daha da önemli hale getirir.

Bu nedenle, burada (Cabernard ve Pfister, 2021) metodolojisini uygulayarak arazi kullanımına bağlı biyolojik çeşitlilik kaybını hesaba katıyoruz. Ekonomi çapında çevresel ayak izlerini analiz etmek için yüksek çözünürlüklü bir MRIO veritabanı öneriyorlar. Biyolojik çeşitlilik açısından, uygulanan metodoloji, **küresel potansiyel tür kaybı (etki değerlendirme göstergesi)** arazi nedeniyle **meslek ve içine arazi kullanım tipleri mahsuller, meralar ve ormancılık**.

⁵⁸ İşgal ve dönüşüme atıfta bulunur

⁵⁹ Göstergelerin toplu endeksi: kg biyotik üretim/ (m²*a), kg toprak/ (m²*a), m³ su/ (m²*a) ve m³ g.su/ (m²*a)

⁶⁰ MJ olarak ölçülen uranyum dahil

Çevresel uzantılar, EXIOBASE3 ve Eora26'ya dayalı yüksek çözünürlüklü MRIO modelinden alınırken, karakterizasyon faktörleri (UNEP-SETAC, 2016) tarafından önerildiği üzere (Chaudhary ve diğerleri, 2016)'dan alınmıştır. Karakterizasyon faktörleri, altı arazi kullanım türü ve beş takson için ekolojik bölge düzeyinde, ülke düzeyinde ve küresel düzeyde mevcuttur ve m2 başına potansiyel olarak kaybolan tür oranı olarak ifade edilir. EXIOBASE3 ve Eora26'nın mekansal ve sektörel çözünürlükleri sınırlı olduğundan (Cabernard ve Pfister, 2021), arazi kullanımıyla ilgili daha ayrıntılı ve iyi belgelenmiş veriler kullandı. Bu, FAOSTAT'tan (2019) mera ve ormancılık için alınan verilerle ve (Pfister ve diğerleri, 2011) mahsuller için alınan verilerle ilgilidir.

KUTU: Arazi kullanımına bağlı biyolojik çeşitlilik kaybına ilişkin etki değerlendirme yöntemi (UNEP-SETAC, 2016'ya dayalı)

Seçilen gösterge, Chaudhary ve ark. (2015, 2016) tarafından arazi kullanımından kaynaklanan potansiyel tür kaybıdır. Gösterge, bölgesel bir gösterge ve küresel bir gösterge olarak mevcuttur. Bölgesel gösterge, arazi işgalinin o arazide aksi takdirde var olacak türleri tamamen yerinden etmesi veya azaltması ve bu türlerin ekolojik bölgedeki göreceli bolluğunu hesaba katarak bölgesel tür kaybını temsil eder. Küresel gösterge ayrıca türlerin küresel ölçekte tehdit seviyesini de dikkate alır.

Gösterge beş taksonomik grubu kapsar: kuşlar, memeliler, sürüngenler, amfibiler ve vasküler bitkiler; ve altı arazi kullanım türü: yoğun ormancılık, geniş ormancılık, yıllık mahsuller, kalıcı mahsuller, mera ve kentsel arazi, (Olsen ve diğerleri, 2001)'de tanımlandığı gibi 804 karasal ekobölgede. Referans durumu, incelenen ekobölgede mevcut doğal veya doğala yakın bir yaşam alanıdır.

Bölgesel tür kaybı, her arazi kullanım türü için tür alanı ilişkileri kullanılarak hesaplanır; buna Kırsal SAR modeli denir (Pereira ve Daily, 2006).

Kalıcı küresel (geri döndürülemez) tür kaybının (küresel karakterizasyon faktörleri) bir tahminini belirlemek için, her takson ve ekobölge için bölgesel karakterizasyon faktörleri, o taksonun o ekobölgedeki kırılganlık puanı ile çarpılır. Kırılganlık puanı, bir ekobölgedeki endemik türlerin oranına ve IUCN kırmızı listesinin farklı taksonlar ve bölgeler için atadığı tehdit düzeyine dayanır. Türler ekobölgeye endemikse, kayıpları küresel tür kaybına (yok oluş) dönüşecektir.

Olası tür kaybı için tek bir değer sağlamak amacıyla taksonlar üzerinde yapılan toplama, bölgesel karakterizasyon için beş taksonun her biri için eşit ağırlıklandırma kullanılarak yapılır. Küresel karakterizasyon faktörleri için, takson başına küresel karakterizasyon faktörleri her takson için toplam tür çeşitliliği tehdidine bölünür ve daha sonra eşit ağırlıklandırma ile Hayvan Potansiyel Olarak Kaybolmuş Kesri (PDF) ortalamasını alan tek bir puana birleştirilir ve ardından eşit ağırlıklandırma ile hayvan ve bitki PDF'lerinin ortalaması alınır.

Yukarıdakilerin hepsi arazi işgalinin etkisiyle ilgilidir. Yöntem, her arazi kullanım tipinin referans durumuna geri dönmesi için yenileme süresini dikkate alarak arazi dönüşümünün etkilerini hesaba katar (Curran ve diğerleri, 2024) ve işgal etkisini (Milà i Canals ve diğerleri, 2006)'da önerildiği gibi referans süresinin yarısıyla çarpar.

Seçilen metodolojik yaklaşımın sınırlamaları

Seçilen yöntemin bariz sınırlamalarından biri, deniz veya tatlı su biyoçeşitliliği üzerindeki etkileri dikkate almamasıdır. Bunun bir nedeni, biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri değerlendirmek için burada kullanılan metodolojinin EXIOBASE 3'teki arazi hesaplarına doğrudan bağlı olmasıdır. İkincisi, aşırı avlanmaya ek olarak deniz biyoçeşitliliğinin kaybının ana itici güçleri, malzeme kullanımının dolaylı etkilerinden kaynaklanmaktadır. Bunlar özellikle iklim değişikliği, kirlilik ve arazi kullanımından kaynaklanan aşırı besin girdileridir (IPBES, 2019). Bu dolaylı etkiler şu anda uygulanan yöntemle kapsamamaktadır. LC-

Bunlardan herhangi birinin gelecekte uygulanıp uygulanamayacağını görmek için IMPACT yöntemini kullanın (61). Bu yöntem, iklim değişikliği (karasal ve tatlı su ekosistemlerinde), fotokimyasal ozon oluşumu, karasal asitlenme, tatlı su ötrofikasyonu, deniz ötrofikasyonu, tatlı su ekotoksitesitesi, deniz ekotoksitesitesi, karasal ekotoksitesite, karasal stres ve su stresi nedeniyle oluşan biyolojik çeşitlilik kaybını dikkate aldığı için biyolojik çeşitlilik kaybının daha eksiksiz bir değerlendirmesini önermektedir.

Metodolojik yaklaşımın, tarımsal ürünler, mera ve yoğun ve kapsamlı ormancılık gibi arazi tabanlı biyokütle üretimiyle ilgili sektörlerle odaklandığını bilmek önemlidir. Bu, madencilik ve kentsel arazi gibi diğer arazi kullanım türleri aracılığıyla biyoçeşitlilik etkilerinin şu anda tanınmadığı anlamına gelir. Ancak biyoçeşitlilik kaybı açısından en alakalı sektörler doğrudan tarım ve ormancılıkla ilgilidir, madencilik ise toplam arazi kullanımıyla ilgili biyoçeşitlilik kaybının %1'inden daha azına katkıda bulunur (Cabernard ve Pfister, 2022). Ayrıca, terk etme, yoğunlaştırma ve parçalanma gibi arazi kullanım uygulamalarındaki değişiklikler ve bunların biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri şu anda metodolojik yaklaşım tarafından kapsamamaktadır (UNEP-SETAC, 2016). Metodolojik yaklaşım beş taksonu kapsar: kuşlar, memeliler, sürüngenler, amfibiler ve vasküler bitkiler, 5 taksona eşit ağırlık uygulanarak oluşturulan birleştirilmiş bir faktörle sonuçlanır. Gelecekteki çalışmalar, farklı taksonlardaki farklı ağırlıklandırmaların etkisine veya ekosistemlerdeki farklı türlerin işlevsel konumuna bakabilir (UNEP-SETAC, 2016).

Ek 2: Çevresel azaltma potansiyeli – Literatürü takip eden sonuçlar

Azaltılmış malzeme tüketimi senaryosu için inceleme yaklaşımı

Bu değerlendirmede 3 senaryoya göre hesaplanan çevresel etki azaltma potansiyeli, aşağıdaki grafiklerde grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil A2-1 ila A2-3). Her grafik, sırasıyla iklim değişikliği, hava kirliliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı için 2020'deki etkiden başlar ve fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılmasından başlayarak, ek olarak gelişmiş geri dönüşüm önlemlerinin uygulanması ve son olarak malzeme verimliliğini iyileştirmeye ve malzeme tüketimini azaltmaya odaklanan CE önlemlerinin eklenmesiyle (kullanıma hazır malzemelerden kaynaklanan etkilere dayanarak) 3 senaryo uygulandığında 2030'a kadar ulaşılan azalmayı gösterir. Gri kutu, 3 senaryonun tümü uygulandığında etki aralığını temsil eder. Turuncu çubuklar, bu sonuçların hesaplandığını (ilk 2 senaryoda olduğu gibi) gösterir, gri çubuklar ise bunun yalnızca literatür bilgilerine dayalı daha belirsiz bir sonuç olduğunu gösterir (bkz. bölüm 5.4). Senaryoların kümülatif olarak uygulanmasıyla ulaşılabilen ilgili CMUR, grafiğin altında belirtilmiştir.

Aşağıdaki şekillerde, bu birleşik senaryolar üst sınır olarak görülmekte ve literatürle karşılaştırılabilmektedir:

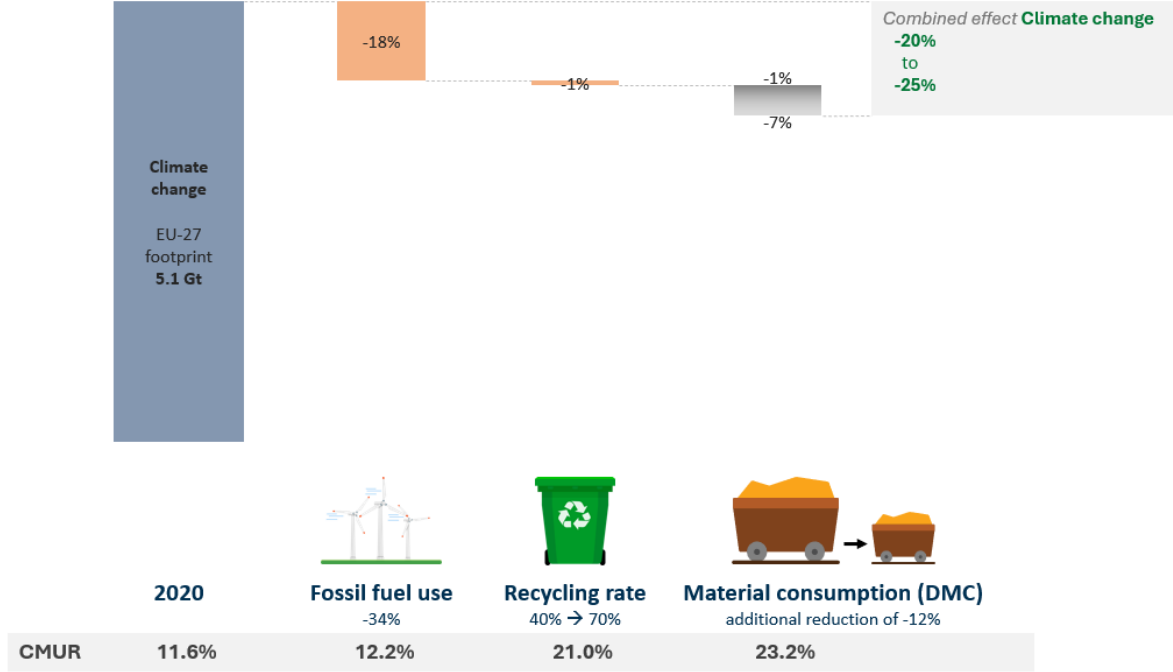
- GHG azaltımları: Mevcut duruma kıyasla -%39 ila -%50 (Circle Economy, 2021, 2023)
- Hava kirliliği: Mevcut duruma göre -%33 (Çember Ekonomi, 2023)⁶²(Tablo 4-2 ve Tablo 4-3'e bakınız).

Bu tür CE önlemlerinin biyolojik çeşitlilik kaybı üzerindeki etkisine ilişkin literatürde hiçbir bilgi bulunmadığından⁶³ Mevcut değerlendirmede bu senaryoya ilişkin bir tahmin yapılmamaktadır.

⁶²Aşağıdaki şekillerde, fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması ve gelişmiş atık geri dönüşümünün bu toplam azaltma potansiyellerine katkıları, bu raporun önceki bölümlerinde açıklandığı gibi ön model çalışmalarımıza dayanmaktadır. Malzeme tüketimindeki azalmadan kaynaklanan toplam azaltma potansiyeli, bu raporun önceki bölümlerinde açıklandığı gibi kullanıma hazır malzemelerin etkisinden kaynaklanmaktadır.

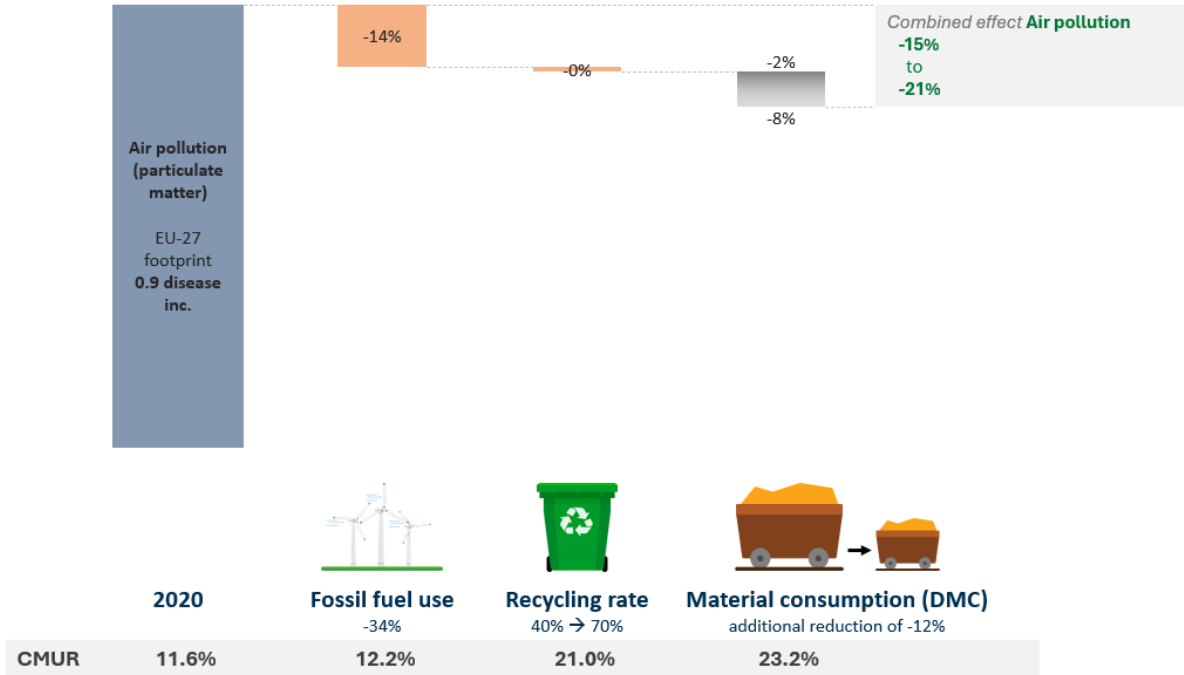
⁶³(Circle Economy, 2023) arazi sistemi değişiklikleri hakkında tahminler sağladı (ek bilgilerinde Tablo 14'e bakın). Ancak, bu doğrudan çalışmamızdaki biyolojik çeşitlilik kaybıyla ilişkilendirilemedi.

Şekil A2-1: Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması, geri dönüşümün artırılması ve ekonomi genelindeki diğer CE değişiklikleri* senaryosuna göre 2020 ve 2030 yıllarında AB27 tüketiminin iklim değişikliği ayak izi, Gt CO2-eq. cinsinden.



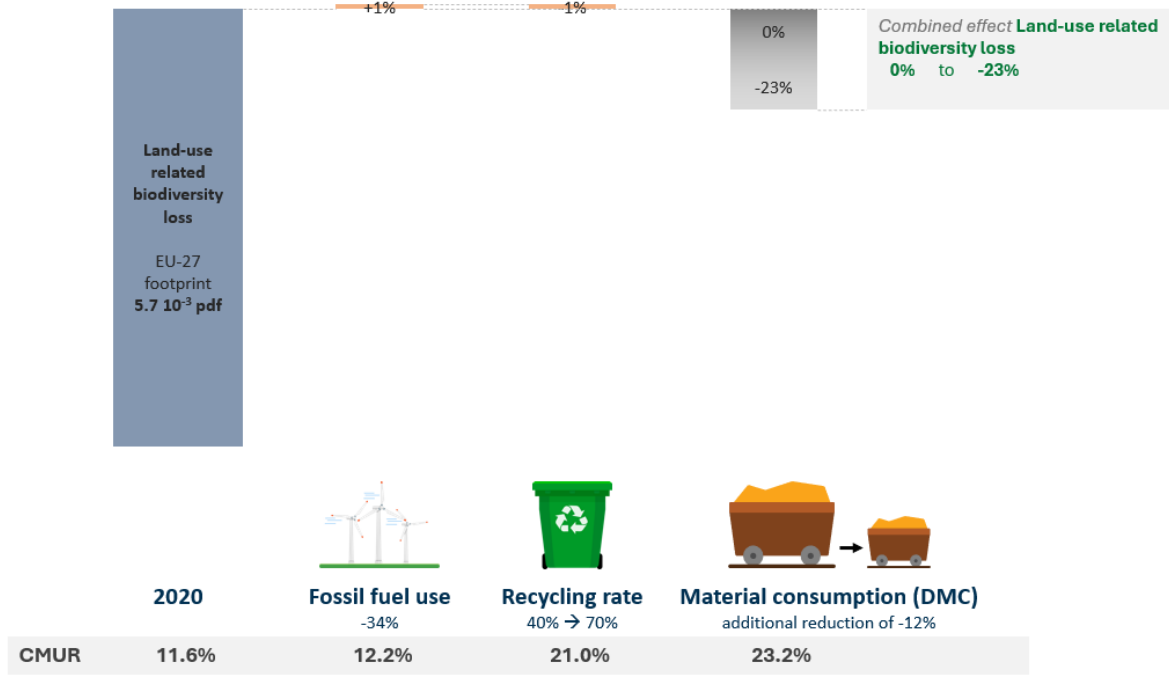
*Not: ETC-CE modellemesine dayanmıyor. Üretim ve tüketim değişikliklerinden (örneğin, kişi başına düşen yaşam alanının küçülmesi, diyet değişiklikleri vb.) kaynaklanan olası ek çevresel etki azaltımları. Literatüre dayalı sera gazı azaltım tahmini (Circle Economy, 2021, 2023).

Şekil A2-2: Fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması, geri dönüşümün artırılması ve hastalık dahil olmak üzere ekonomi genelindeki diğer CE değişiklikleri* olmak üzere üç senaryoya göre 2020 ve 2030 yıllarında AB27 tüketiminin hava kirliliği ayak izi.



* Not: ETC-CE modellemesine dayanmıyor. Üretim ve tüketim değişikliklerinden (örneğin, kişi başına düşen yaşam alanının küçülmesi, diyet değişiklikleri, vb.) kaynaklanan olası ek çevresel etki azaltımları. Literatüre dayalı hava kirliliği azaltma tahmini.

Şekil A2-3: Üç senaryoya göre 2020 ve 2030'da AB27 tüketiminin arazi kullanımına bağlı biyolojik çeşitlilik kaybı ayak izi: fosil yakıtların aşamalı olarak kaldırılması, gelişmiş geri dönüşüm ve ekonomi genelindeki diğer CE değişiklikleri*, PDF formatında



Avrupa Dairesel Ekonomi ve Kaynak
Kullanımı Konu Merkezi
<https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce>

Avrupa Dairesel Ekonomi ve Kaynak Kullanımı Konu Merkezi
(ETC CE), Avrupa Birliği'nin sözleşmesi kapsamında Avrupa
enstitülerinden oluşan bir konsorsiyumdur.
Çevre Ajansı.

