

# Atık bebek bezlerinin sürdürülebilir ve dögüsel yönetimi

**Volkan PELİTLİ\***

TÜBİTAK MAM, BYİDS, Dögüsel Ekonomi ve Kaynak Verimliliği Araştırma Grubu, 41470, Gebze, Kocaeli, Türkiye

Geliş Tarihi (Received Date): 14.03.2022  
Kabul Tarihi (Accepted Date): 07.09.2022

## Öz

Kullanılmış bebek bezlerinin yönetimi, doğal kaynaklar üzerindeki küresel tüketimin hızlı şekilde artması ve bu tüketimin sebep olduğu çevresel etkiler nedeniyle giderek artan kritik bir konudur. Dünya çapında sürekli üretimle birlikte 2023 yılı itibariyle 222 milyar adet (yaklaşık 90 milyon ton) bebek bezinin atık olarak oluşması beklenmekte ve bu miktar her yıl giderek daha da artmaktadır. Kimyasal kompozisyonlarına bağlı olarak, bu materyaller sentetik polimerler (SAP) içeriklerinden dolayı biyolojik olarak parçalanamayan atıklar olarak nitelendirilse de özellikle SAP, plastikler ve selülozik bileşenler depolama sahalarına veya yakma tesislerinde bertaraf edilmek yerine geri kazanılabilir özelliklerdedir. Ancak henüz gelişmekte olan ülkelerde alternatif geri dönüşüm ya da kullanım seçenekleri mevcut olmadığından, uygun maliyetli ve verimli teknolojiler hızlı gelişme gösteren araştırma alanı olarak ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda, çalışmanın amacı da, sürdürülebilirlik ve dögüsel ekonomi çerçevesinde SAP, selülozun ve plastiğin değerlendirilmesine ve atık yönetimi ile ilgili sera gazlarının (GHG) ve maliyetlerin azaltılmasına olanak sağlayacak yenilikçi geri dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması hakkında bilgi birikimi oluşturmaktır. İleri teknolojilerin hayata geçirilmesi ile hem geri dönüşüm en üst düzeye çıkarılacak hem de kaynak israfi ile atık miktarı da en aza indirilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Atık bebek bezleri, sürdürülebilirlik, kaynak verimliliği, geri dönüşüm.

\*Volkan PELİTLİ, volkan.pelitli@tubitak.gov.tr, <http://orcid.org/0000-0001-7332-4151>

## Sustainable and circular management of used baby diapers

### Abstract

*The management of soiled baby diapers is a critical subject aggravated by the exponential increase of global consumption on natural resources and their consequent impact on environment. Due to continuous worldwide production, it is expected that 222 billion diapers (almost 90 million tons) will be generated as a waste by 2023 and this amount is increasing every year. As regards chemical compositions, these materials perceive as a non-biodegradable waste because it is made of synthetic polymers (SAPs); nevertheless, specifically the SAP, plastics and cellulosic components could be recycled instead of going to landfill or incineration plants. However, no alternative recycling or valorization options is available yet, so the cost effective and efficient state of the art technologies have emerged as a research area that is undergoing rapid development. In this context, the objective of this study are to provide insights into develop and implement new recycling technologies for sustainability and circular economy which would allow valorization of the SAPs, cellulose, and plastic and decrease of waste management related greenhouse gas (GHG) and costs. With the implementation of innovative technologies, recycling will be maximized and the waste of resources and the amount of waste will be minimized.*

**Keywords:** Soiled baby diaper, sustainability, resource efficiency, recovery.

### 1. Giriş

Tek kullanımlık bebek bezleri ilk olarak 1942 yılında Pauli Ström (İsveç) ve 1946 yılında Marion Donovan (ABD) tarafından geliştirilmiş olup, 1960'lı yıllarda performanslarının geliştirilmesi amacıyla kağıt doku yerine tek kullanımlık hamur ve selüloz liflerinden üretilmeye başlanmıştır [1]. 1980'lerden itibaren ise bu ürünler, yıkanabilir bebek bezlerinin yerini almıştır. Gelişen sektör ile birlikte 1990'lı yıllarda dış su geçirmezlik ve emici malzeme tercihiyle birlikte tek kullanımlık bebek bezlerinde de birçok değişiklik ve iyileştirme gerçekleştirilmiştir [2]. Bunun sonucunda genel olarak günümüzde kullanılan tek kullanımlık bebek bezleri polietilen (PE) arka tabaka, hidrofobik polipropilen (PP) dokunmamış kumaş, hidrofilik dokunmamış kumaş, dağıtım tabakası, elastan lastikler, cırt cırt bant, süper emici polimerik çekirdek (kendi ağırlığının 30-100 katından fazla sıvı emebilen), selüloz nemlendirici losyonlar, parfüm losyonları ve tercihen de ıslaklık göstergelerinden üretilmiştir. Bu sayede yüksek performanslı ve cildin kuru kalmasını sağlamak ve sızıntıları önlemek için sıvıyı bebeğin cildinden çok hızlı bir şekilde uzaklaştırarak optimum emilim sağlayan bebek bezlerinin üretimi mümkün olmuştur.

Bebek bezleri, çoğu deri ile doğrudan temas halinde olmayan çok sayıda malzeme katmanından oluşan karmaşık bir ürün grubudur. Genel olarak %24 hamur, %33 süper SAP (çoğunlukla sodyum poliakrilat), %21 dokunmamış kumaş (selüloz), %13 elastik ve yapışkan bant, %5 polietilen film, %3 yapıştırıcı ve %1 diğer malzemelerden oluşmaktadır [3]. Bu ürünler doğumdan itibaren yaklaşık 2,5-3 yıl boyunca bebeğin cildiyle neredeyse sürekli temas halindedir. Bebek bezlerinin günde ortalama 4-5 kez

değiştirildiği göz önüne alındığında, tuvalet eğitiminden önce bir bebek 3.800'den fazla bebek bezi kullanmaktadır [4]. Günümüzde ise sahip olduğu avantajlar ve rahatlık sebebiyle bu rakam 8.000'e kadar çıkabilmektedir [5]. Küresel bebek bezi pazarına bakıldığında ise, 2018 yılında 182,3 milyar adet bebek bezi satışı gerçekleşirken, bu rakamın 2023 yılı itibariyle %22 oranında artarak 222 milyar adete ulaşması beklenmektedir. En hızlı büyüme ise Avrupa, Latin Amerika, Afrika, Kuzey Amerika, Orta Doğu ve Avustralya bölgelerinden farklı olarak 101 milyar adet çocuk bezi ile Asya Pasifik bölgesinde gerçekleşecektir [6]. Bu sonuçlar piyasa eğilimleri ile birlikte, tüketicilerin yakın zamanda tek kullanımlık bebek bezlerinden vazgeçmek istemediklerini de göstermektedir. Yalnızca AB'de yıllık ortalama 21 milyar adet bebek bezi kullanılırken, 5 milyar Euro'luk bir piyasa değeri söz konusu olmaktadır [7]. Ülkemizde ise bebek bezi pazarı yıllık yaklaşık 4 milyar adet ve 578,7 milyon Euro'luk satış hacmine sahiptir [8]. Bu satış hacmi göz önüne alındığında, yıllık bazda NBKP (needle bleached kraft pulp), SAP ve plastik malzeme tüketimlerinin sırasıyla 60, 45 ve 46 bin ton olması beklenmektedir.

Yaygın bir uygulama olarak tek kullanımlık bebek bezleri kullanıldıktan sonra belediye atıklarıyla birlikte karışık olarak toplanmaktadır. Ancak, altyapı eksiklikleri, mevcut olmayan küresel mevzuat ve farklı toplumsal uygulamalar sonucunda bu atıkların gelişigüzel açık arazilere veya su kaynaklarına atılması gibi kötü uygulamalar da söz konusu olmaktadır. Bu atıklar genel olarak ayrıştırma ve geri dönüşüm derecesine bağlı olarak, belediye atıklarının %2 ile 7'sini oluşturmaktadır [9]. Ülkemizde ise bu oran ortalama %3,55 ile 5,45 arasında değişmektedir [10, 11]. Mevcut durumda bu atıklar küresel uygulama olarak düzenli depolama tesislerinde ya da yakma tesislerinde bertaraf edilmektedir. Avrupa'da her yıl 8,5 milyon ton ve tüm dünyada da 30 milyon tonun üzerinde atık bebek bezi depolanarak veya yakılarak bertaraf edilmektedir [12]. AB'de bu atıkların %68'i depolama alanlarında ve %32'si de yakma tesislerinde bertaraf edilirken, bu oran ABD'de sırasıyla %80 ve %20'dir [13]. Ancak bebek bezlerinin depolama sahalarında bertarafı düşünülürken, parçalanmaları 500 yıldan daha fazla sürmekte ve yakma işleminin tercih edilmesi durumunda da potansiyel hava kirliliği oluşumu söz konusu olabilmektedir [14]. Ayrıca, kullanılmış bebek bezlerinin sahip olduğu nem içeriği (üre kaynaklı) kalorifik değerlerini ve dolayısıyla da ısı geri kazanım verimlerini azaltmaktadır [15]. Bu sebeple yüksek kaynak değerine sahip bebek bezlerinde bulunan plastik, SAP ve selüloz liflerinin (yüksek kaliteli kağıt hamuru) sürdürülebilir ve döngüsel yönetimi ön plana çıkmaktadır. Bu materyallerin tümü değerli ve yeniden kullanılabilir kaynaklardır. Yakarak elde edilecek enerji geri kazanımı ise döngüsel ekonomiye geçişte daha az katkı verecek bir alternatiftir [16].

Daha az kaynak kullanımı amacıyla tek kullanımlık bebek bezlerinin ağırlıkları üreticiler tarafından gün geçtikçe azaltılmaya devam etmektedir. Bu ürünlerin 90'lı yıllardaki ağırlığı 64,6 gr (52,8 gr hamur, 0,7 gr SAP, 4,1 gr LDPE, 4,2 gr PP, 1,3 gr yapıştırıcı, 0,4 gr elastik ve 1,1 gr diğer bileşenler) civarındayken, günümüzde ise 33 grama (9,1 gr hamur, 12,6 gr SAP, 1,8 gr LDPE, 7,9 gr PP, 1,2 gr yapıştırıcı, 0,5 gr elastik ve 0,2 gr diğer bileşenler) kadar düşürülmüştür. Bu değer ürün tasarımındaki birçok değişiklikle birlikte hamur ve PE film kullanımının azaltılmasıyla elde edilmiştir. Bu yolla daha az hammadde kullanılarak ürünün çevresel performansı iyileştirilmeye çalışılmıştır [3]. Ancak, ambalaj ve üretim atıkları hariç olmak üzere bile, AB'de tek kullanımlık bebek bezi üretimi için yılda yaklaşık olarak 700 bin ton hammadde tüketilmektedir [7]. Ayrıca, üretim, dağıtım, kullanım ve bertaraf aşamaları da dikkate alındığında bu malzemeler AB'de yıllık 1,5 milyon hane eş değeri yani 2,7 milyon ton sera gazı oluşumuna sebep

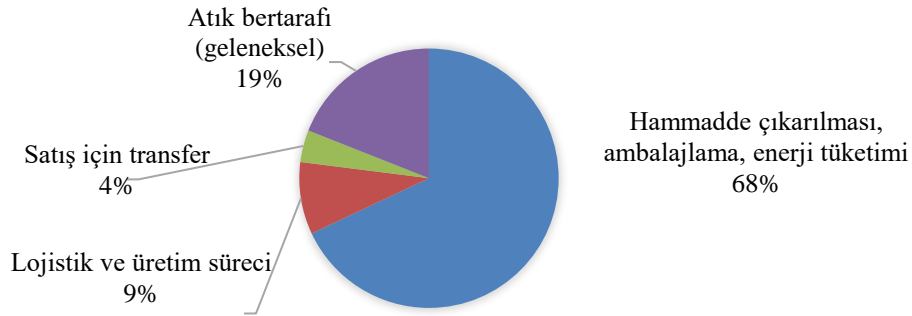
olmaktadır [17]. ABD’de ise her yıl tek kullanımlık bebek bezi üretimi için 13 milyar litre ham petrol ve 864 bin ağaç tüketilmektedir [18]. Bu ekonomik yaklaşım dolayısıyla yeni tek kullanımlık bebek bezi üretimi için yeni hammaddelerin tekrar doğadan çıkarılması gerekmektedir. Ancak hammaddelerin mevcudiyeti sonsuz olmadığı için bu yaklaşım uzun vadede sürdürülemez niteliktedir ve giderek artan tüketim, mevcut çevresel riskleri de beraberinde getirmektedir. Örneğin deniz ortamına karışan tek kullanımlık bebek bezlerinde bulunan plastik malzemelerin parçalanması yaklaşık 450 yıl sürmektedir [19]. Bu sebeple tek kullanımlık bebek bezi atıklarının azaltılması ve ekonomiye kazandırılması için farklı araçlar düşünülmelidir. Örneğin hammadde kullanım oranlarının kısıtlanarak döngüsel ekonomi uygulamalarının önünün açılması ya da bu ürünlerin %100 oranında geri dönüştürülebilir malzemelerden imal edilmesi zorunluluğu bunlardan bazılarıdır. Günümüzde ise döngüsel ekonomiye geçiş hala başlangıç aşamasında olduğundan, dünya ekonomisinin sadece %9,1’i döngüseldir. Bu durum çoğu ekonomik sürecin hala doğrusal olduğunu (al, yap, at) ve materyallerin geri dönüştürülmek yerine hala israf edildiğini göstermektedir [20]. Hali hazırda dünya çapında herhangi bir “Döngüsel Ekonomi Kanunu ya da Yönetmeliği” bulunmadığından ancak içten motive işbirliklerine dayanan döngüsel ekonomi uygulamaları ile atık oluşturan malzemelerin ve atık ürünlerin "atık olma durum"larının önlenmesi mümkün olmaktadır.

Dünya çapında çoğu belediyenin kullanılmış bebek bezleri için ayrı toplama sistemi bulunmaması sebebiyle, bu atıklar hala belediye atıklarıyla birlikte düzenli depolama alanlarına gönderilmekte veya diğer atıklarla birlikte yakılmaktadır. Ayrı toplama sisteminin bulunmamasının en büyük sebebi ise ilgili toplama maliyetleridir. Kore’de gerçekleştirilen çalışmada toplama ve taşıma maliyetlerinin toplam maliyetin %15-52’sini oluşturduğu tespit edilmiştir [21]. Yıllık maliyetler bazında değerlendirme yapıldığında İtalya ve Yunanistan gibi ülkelerde kişi başı 1 € ve İrlanda’da yaklaşık 10 €’dur. Düzenli depolama veya yakmadan kaynaklanan maliyetlerde üye devletlere bağlı olarak geniş ölçüde değişkenlik gösterebilmektedir. AB’de 1 ton atığı depolama maliyeti Litvanya’da 17,50 € ve İsveç’de 155,50 €, yakma alternatifi ise Çekya’da 46 € ve Almanya’da 174 €’dur [22]. Daha fazla ekonomik ve çevresel fayda yaratacak yeterli sayıda çalışma bulunmaması da atık bebek bezlerinin yönetiminde sürdürülebilir stratejiler geliştirme potansiyelini sınırlandırmakta ve oldukça değerli hammadde kaynakları kaybedilmektedir. Sonuç olarak, bu bileşenler belediye atıklarından ayrı toplanmaları durumunda teknik ve ekonomik olarak karmaşık olsalar dahi hammadde geri kazanımı ve geri dönüşüm için kullanılabilir niteliktedir. Bu strateji aynı zamanda atık hiyerarşisini de (önleme, tekrar kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım, bertaraf) desteklemektedir.

Hem AB hem de ülkemizde atık bebek bezlerinin bertarafıyla ilgili özel bir mevzuat bulunmamakla birlikte, bu atıklar genel atık mevzuatı içerisinde yer almaktadır. Atık bebek bezleri AB’de sahip oldukları özellikler nedeniyle mevcut atık yönetimi anlayışıyla sıkı biçimde kontrol altında tutulmaktadır. AB’de uygulanan “Atık Çerçeve Direktifi (EU/2019/1004)” ve ülkemizde uygulanan “Atık Yönetimi Yönetmeliğine (Sayı: 29314, 02.04.2015)” göre bu atıklar benzer şekilde 18 01 04 kodlu “Enfeksiyonu önlemek amacı ile toplanmaları ve bertarafı özel işleme tabi olmayan atıklar (örneğin sargılar, vücut alçıları, tek kullanımlık giysiler, alt bezleri)” veya 20 01 99 kodlu “Başka bir şekilde tanımlanmamış fraksiyonlar” olarak tanımlanmakta olup, tehlikesiz atık olarak nitelendirilmektedir. Bununla birlikte, bu atıklar ülkemiz de uygulanan “Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY), Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliğine (Sayı: 29036,

20.06.2014)” göre ATY hazırlanmasında kullanılamaz, ek yakıt olarak tesislere kabul edilemez ve doğrudan alternatif hammadde olarak tesislere alınamaz niteliktedir. Ancak kullanılmamış yani bebek bezlerinin üretimi sırasında açığa çıkan atık ürünleri (fireler) tanımlayan 16 03 03\* kodlu “Tehlikeli maddeler içeren anorganik atıklar” ve 16 03 05\* kodlu “Tehlikeli maddeler içeren organik atıklar” ise ATY ve 16 03 06 kodlu “16 03 05 dışındaki organik atıklar” ise hem ATY hem de ek yakıt olarak kullanılabilir özelliktedir.

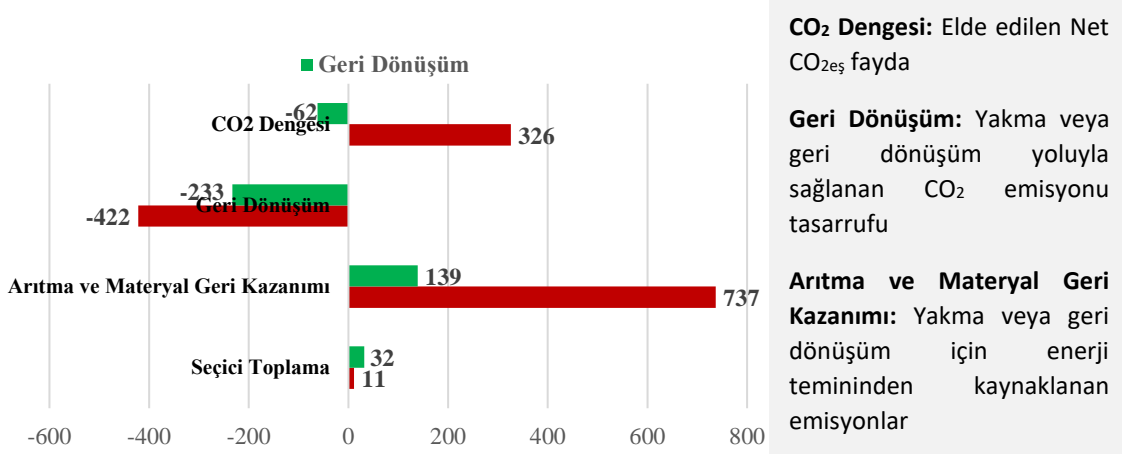
AB’nin genel atık mevzuatı çerçevesinde 2 Temmuz 2014 tarihinde Avrupa Komisyonu “Düzenli Depolama Direktifi (1991/31/EC)”, “Atık Çerçeve Direktifi (2008/98/EC)” ve “Ambalaj Direktifinin (94/62/EC)” gözden geçirilmesine dair karar almış ve 2030 yılına kadar belediye atığı geri kazanımı ve tekrar kullanıma hazırlık oranının %70’e çıkarılması ve geri dönüştürülebilir nitelikteki atıkların da (plastikler, kağıt, metaller, cam ve biyo-atıklar) depolanma oranının  $\leq$ %25’e indirilmesi kararlaştırılmıştır (Tsigkou, vd., 2020). Bununla birlikte ülkemizde “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (Sayı: 30990, 26.12.2019,)” Geçici Madde-2 ile belediye atıklarının sıfır atık yönetim sistemine uygun olarak 2035 yılına kadar fiziksel, kimyasal, biyolojik veya termal işlemlerle en az %60 oranında geri kazanılması zorunluluğu getirilmiştir. Hollanda’da ise bu hedeflere paralel olarak 2030 yılına kadar hammadde kullanım oranının %50 oranında azaltılması hedeflenmiştir. Bu hedeflerin hepsi Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından olan “Sorumlu Üretim ve Tüketim (12)” hedefi ile doğrudan uyumludur. Bu bağlamda atık bebek bezi yönetiminin sürdürülebilirliğinin sağlanması doğal kaynaklar, enerji kullanımı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından önemli bir etkiye sahip olacaktır. Tek kullanımlık bebek bezleri için geleneksel atık yönetiminin de dahil olduğu yaşam döngüsü analizini baz alan (ISO 14040:2006) karbon ayak izi sonuçları Şekil 1’de verilmiştir. Sonuçlar bebek bezi üretiminin gelecekte giderek artmasına bağlı olarak, kullanım sonrası atık yönetimi ve kaynakların sürdürülebilir kullanımı açısından uygun geri dönüşüm teknolojilerine güçlü bir ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Yaşam döngüsü analiziyle ilişkili karbon ayak izi [24]

Gerçekleştirilen çalışmalar 1 ton kullanılmış bebek bezi geri dönüşümünün (FATER) yakma ile enerji geri kazanım proseslerine kıyasla CO<sub>2eş</sub> emisyonları açısından oldukça geride olduğunu göstermektedir. Yakma ve geri dönüşüm prosesinden kaynaklanan CO<sub>2eş</sub> emisyonları Şekil 2’de verilmiştir. Geri dönüşüm süreci sonucunda ton başına -62 kg (negatif) CO<sub>2eş</sub> emisyonu oluşurken, yakma prosesi sonucunda ise 326 kg CO<sub>2eş</sub> emisyon oluşumu söz konusu olmaktadır. Yapılan farklı çalışmalarda geri dönüşüm proseslerinin sahip olduğu sera gazı emisyonlarının yakmaya kıyasla %26-37 oranında

daha düşük olduğunu göstermiştir [15]. Ancak geri dönüşüm prosesi maliyetlerinin yakma ile enerji geri kazanımı proseslerine kıyasla maliyet açısından rekabet edebilir seviyede olması gerekmektedir. Aksi halde geri dönüşüm prosesleri çok pahalı görünecek ve başarılı olamayacaktır. Örneğin Knowaste LLC tarafından Ontario Kanada'da (Mississauga) kurulan 4.000-5.000 ton kapasiteli tesis 125 €/ton maliyeti nedeniyle daha ucuz atık bertaraf yöntemi olan yakma prosesi (85€/ton) ile rekabet edememesi sebebiyle kapanmıştır [25].



Şekil 2. Yakma ve geri dönüşümden kaynaklanan CO<sub>2eş</sub> emisyonları [24]

Günümüzde kullanılmış bebek bezlerinin geri dönüşümü özellikle son yıllarda hızla gelişme gösteren bir araştırma alanıdır ve az sayıda özel şirket çeşitli kullanımlar için atık bebek bezlerinin ana bileşenlerini ayırmak amacıyla geri dönüşüm teknolojileri geliştirmeye çalışmaktadır. Bu proseslerde ortadan kaldırılması gereken en önemli riskler ise kullanılmış bebek bezlerinde bulunabilecek ilaç kalıntıları, patojenler, olası kalıntılar ve ortaya çıkabilecek polimetilmetakrilat benzeri mikroplastiklerin giderilmesidir [26]. Bununla birlikte SAP, PE, PP, yapıştırıcılar ve elastikler gibi birçok malzemenin de bir arada bulunması (kompozit) sebebiyle yüksek saflıkta geri dönüşüm potansiyeli ve çevre-maliyet ilişkisi de sorgulanması gereken başlıca diğer hususlardır. Geri dönüştürülen ürünlerin sağlaması gereken özellikler içinse herhangi bir mevzuat bulunmayıp, sağlanması gereken ilgili teknik ihtiyaçlar üreticilerden temin edilmesinde yaşanan güçlükler ve yüksek sayıda patent koruması nedeniyle bilgi föylerinden temin edilmeye çalışılmaktadır. Bununla birlikte, geri dönüşüm süreçlerinin maliyetleri, geri dönüştürülmüş ürünler için pazar eksikliği, mali ve lojistik etkiler ve belediyelerin ayrı atık toplama sistemi kurmadaki isteksizliği gibi bariyerlerde söz konusudur.

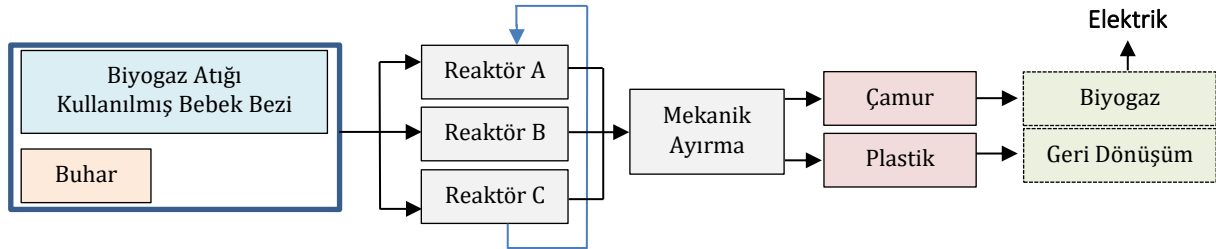
Günümüze kadar kullanılmış bebek bezlerinin yönetimi daha az ilgi çekmekle birlikte, geri dönüşüm konusunda gerçek ölçekli sınırlı sayıda çalışma ABD'de, İngiltere, İtalya ve Hollanda gibi AB üyesi ülkeler ile Japonya ve Singapur gibi Asya ülkelerinde gerçekleştirilmiştir [27]. Kullanılan prosesler genel olarak toplama, parçalama, sterilizasyon ve ayırma (organik fraksiyon, plastikler, SAP ve selüloz) adımları gibi kompleks adımları içermekte olup, yaklaşık 90 dakika sürmektedir. Geri dönüştürülen malzemeler ise beton, asfalt, tuğla ve yalıtım malzemelerinde katkı maddesi olarak kullanılabilir gibi geri dönüştürülmüş kağıt, plastik pelet ve hatta bebek bezi üretiminde de tekrar kullanılabilir [2]. Bu çalışmanın amacı da sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi bakış açısıyla, gelişmekte olan ülkelerde tek kullanımlık bebek bezlerinin geri dönüşümü amacıyla atık yönetimi sistemine entegre edilebilecek, çevresel baskıyı azaltacak, elde edilecek ürün kalitesinden ve işlevselliğinden ödün vermeyecek,

uzun yıllar uygulanabilecek, gelişmiş ülkelerde kullanılan/test edilen yenilikçi teknolojiler hakkında farkındalık oluşturarak geri dönüşüm konusunda kapasitenin artırılmasıdır.

## 2. Gelişmiş teknolojiler: Döngüsel ekonomi

### 2.1. BTU Elsinga prosesi

Proses, ilk aşamada 300 litre kapasiteye sahip pilot tesis bazında geliştirilmiş olup, 2018 yılından beri Hollanda'nın Weurt şehrinde endüstriyel ölçekte kullanılmaktadır. Kapasite artırma çalışmaları devam etmekte olup, 2021 yılı itibarıyla 15.000 ton/yıl kapasiteye sahip tesisin devreye alınması planlanmaktadır. Devreye alınacak yeni tesis ile birlikte yakma işlemine kıyasla yılda 14.460 ton CO<sub>2</sub> emisyonunun önlenmesi hedeflenmektedir. Proses sonucunda 1 ton kullanılmış bebek bezinin geri dönüşümü neticesinde 100 kg plastik granül, 50 kg selüloz ve 350 kg biyogaz elde edilmektedir (Remondis, 2021). Proses temel olarak en az 2 adet (A ve B) reaktör ve flaş tankına (C) ihtiyaç duymaktadır. Prosesin şematik akım diyagramı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. BTU Elsinga şematik görünüm [29]

A reaktörü biyogaz atığı ve kullanılmış bebek beziyle doldurulduktan sonra 40 bar basınç altında 240-250 °C'ye ısıtılmakta ve sterilizasyon amacıyla bu sıcaklıkta 10-40 dakika arasında bekletildikten sonra sistemdeki buhar tahliye edilerek sıcaklık ve basınç sırasıyla 100°C ve 1 bara düşürülmektedir. Ardından A reaktöründe bulunan karışım B reaktörüne transfer edilerek buhar yardımıyla tekrar ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Fazla buhar ise C tankına beslenmektedir. Gerçekleşen hidroliz sayesinde organik materyaller de küçük moleküllere ayrılmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınç altında plastik fraksiyonlar (PP ve PE) erimekte ve üst kısımda yüzen bir tabaka oluşturmaktadır (1-2 cm). Plastik materyaller geri dönüşüm için uygun olmadıkları durumda ise yakma tesisinde değerlendirilmektedir [30]. Sıvı fraksiyon da ayırıcı seperatörden geçirilerek ayrılmaktadır. Ardından proses sırasında elde edilen bulamaç kısmı fermantasyon tankına alınmakta ve organik maddeler biyogaza dönüştürülmektedir [16]. Proses sonucunda elde edilen çıktılar Tablo 1'de verilmiştir. Geliştirilen teknolojinin pratik ölçekte uygulanabilmesi için sübvansiyona ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 1. BTU Elsinga prosesinden elde edilen çıktılar [16]

Materyal	Çıktı
SAP	SAP parçalanarak organik maddeye, organik madde ise biyogaz, su ve biyokütleyle dönüştürülmektedir.
Dokunmamış Kumaş (plastik)	Plastik fraksiyon ekstrakte edilmekte ve plastik malzeme üretiminde kullanılmaktadır.
Hamur (selüloz)	Selüloz fraksiyonu geri dönüştürülmektedir.
Yakma ve fermentasyona kıyasla 150-250 kg/ton CO <sub>2</sub> oluşumu önlenmektedir.	

Proses, SAP'ların değerlendirilmesi ve diğer kullanılabilir fraksiyonların patojenler ve ilaç kalıntılarında arındırılması için aşağıdaki yöntemleri izlemektedir:

- Su emme ve tutma özelliği çok yüksek olan SAP, çapraz bağlı sodyum akrilat polimerden oluşmaktadır. Bu sebeple SAP, AAT'nin işleyişi için değerli bir karbon kaynağı konumundadır. Proses neticesinde büyük ölçüde su fazında olan SAP kalıntıları fermente edilmekte, açığa çıkan biyogaz atığı susuzlaştırılmakta ve atıksularda atıksu arıtma tesisine yönlendirilmektedir [29].
- Proses sonucunda elde edilecek fraksiyonların, viral enfeksiyon risklerinden korunması için Hollanda Ulusal Halk Sağlığı ve Çevre Enstitüsüne (RIVM) göre > 100 °C'nin üzerinde sterilizasyon işlemi gerçekleştirilmesi gerekmektedir [29].

Proses işletme koşulları olan basınç ve sıcaklık sonucunda Tablo 2'de verilen patojenlerin giderimi sağlanmaktadır.

Tablo 2. Patojen direnç seviyeleri [32]

Direnç Seviyesi	Patojen	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)	Basınç (Bar)
I	<i>Streptococcus, listeria,</i> çocuk felci	61,5	30	
II	Hepatit B hariç tüm virüsler	80	30	
III	Hepatit B	100	5 - 30	
IV	<i>Bacillus anthracis</i>	105	5	
V	<i>Bacillus stearothermophilus</i>	121	15	
VI	Prionlar	132	60	
	BTU Elsinga	210	60	20

- İlaç kalıntıları yüksek sıcaklık ve basınç uygulaması sonucunda %82-99 verimle parçalanmakta ya da inaktive edilmektedir. Proses sırasında bozulan ilaç kalıntıları Tablo 3'de verilmiştir [29].



Tablo 3. Temsil edici ilaç kalıntılarının bozunması [32]

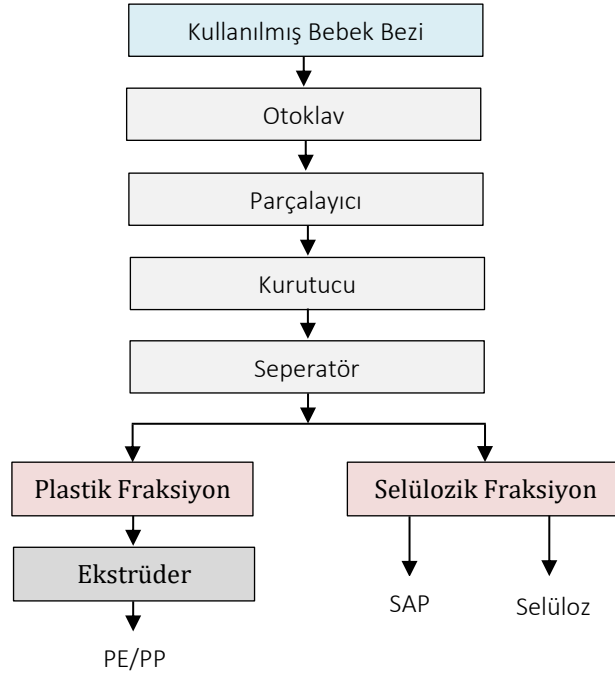
Bileşen	Grup	Bozunma Verimi (%)
Siprofloksasin	Antibiyotik	> %99
Klaritromisin		> %99
Sülfametoksazol		%82
Bezafibrate	Kolesterol	%88
Diatrizoik Asit	Kontrast Madde (tomografi)	> %99
Atenolol	Yüksek Tansiyon	%94
Asetilsalisilik Asit	Ağrı Kesici	%90
İbuprofen		%96
Diklofenak		> %99
Karbamazepin		Epilepsi
17- $\beta$ -östradiol	Steroid	%84

- Koku oluşumunun önlenmesi amacıyla kullanılmış bebek bezleri kapalı kaplar vasıtasıyla transfer edilerek negatif basınç altında sisteme boşaltılmaktadır. Atık hava ise yakma tesisinde yakma havası olarak kullanılmak üzere tahliye edilmektedir. Bu nedenle kokunun çevre üzerindeki etkileri önlenmektedir [29].

Proses sonucunda elde edilen plastikler (%85 PP ve %15 PE) yeni bebek bezlerinin üretiminde kullanılabilir niteliktedir. Ayrıca, materyal geri dönüşümünden sonra 1 ton kullanılmış bebek bezinin biyogaz üretiminde değerlendirilmesi sonucunda açığa çıkan çamur kekinin de geri kazanımı ile 19 kg amonyum sülfat elde edilebilmektedir [33].

## 2.2. FATER SPA prosesi

FATER SpA prosesi, P&G ve Gruppo Angelini ortak girişimi olup, geliştirdiği özel teknoloji sayesinde 2017 yılında Avrupa Komisyonundan “Döngüsel Ekonomi Şampiyonu” ödülünü kazanmıştır [34]. 2008 yılında başlanan çalışmalar sonucunda geliştirilen proste, kullanılmış bebek bezleri 5 bar basınç ve 125°C sıcaklık altında 4 dakikalık otoklavlama işlemine maruz bırakılarak sterilize edilmekte ve daha sonra selülozik (SAP'ın büyük bir kısmı) ve plastik fraksiyonların (esas olarak poliolefinler) ayrıldığı bir ayırma makinesine gönderilmektedir. Yatay silindirik otoklavda tek seferde 500 kg kullanılmış bebek bezi işlenebilmektedir. Uygulanan buhar enjeksiyonu, rotasyon ve alternatif salınım sayesinde gerekli sterilizasyonun yanında, tüm kokuların giderimi de gerçekleştirilmektedir. Her 1 ton kullanılmış bebek bezi için, ısı geri kazanımına (yakma) kıyasla yaklaşık 500 kg CO<sub>2eş</sub> tasarruf edilmektedir. Proses sonucunda 1 ton kullanılmış bebek bezinin geri dönüşümü neticesinde 80 kg SAP, 80 kg plastik ve 160 kg organik selülozik malzeme elde edilebilmektedir [35]. Prosesin şematik gösterimi Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. FaterSMART teknolojisi şematik görünüm [33]

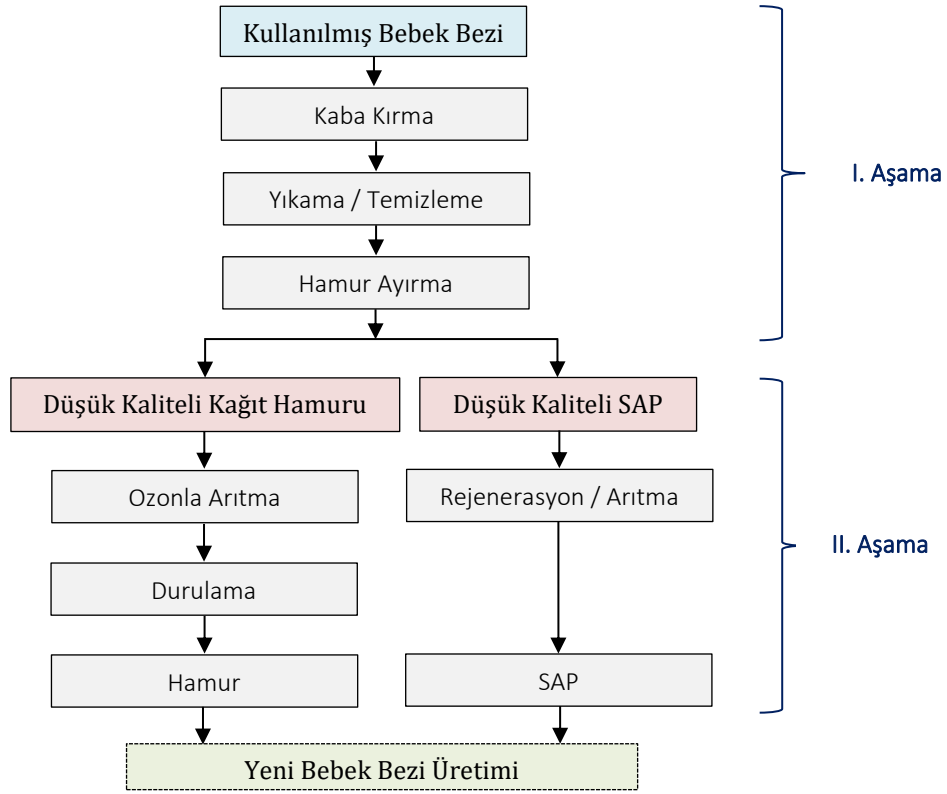
Döner otoklav içerisinde gerçekleştirilen proses sonrasında, parçalanmış ve karıştırılmış malzemeler son aşamada 3 fraksiyona ayrılmaktadır. Proses için toplam da 230 kWh elektrik ve 100 Nm<sup>3</sup> doğal gaz kullanılmaktadır. Diğer tüketimler içinse herhangi bir veri bulunmamaktadır [33]. Proses sonucunda elde edilen çıktılar Tablo 4’de verilmiştir. Elde edilen net ekonomik fayda 208 €/ton kullanılmış bebek bezidir [35].

Tablo 4. FATER prosesinden elde edilen çıktılar [16, 36]

Materyal	Çıktı
SAP	SAP parçalanarak ambalaj/kağıt endüstrisinde kullanılabilir hammaddeye dönüşmektedir.
Dokunmamış Kumaş (plastik)	Plastik fraksiyon şişe ve diğer plastik ürünlerin üretiminde kullanılabilir hammaddeye dönüşmektedir.
Hamur (selüloz)	Hamur parçalanarak ambalaj/kağıt endüstrisinde kullanılabilir hammaddeye dönüşmektedir.
Yakma ve fermentasyona kıyasla 422 kg/ton CO <sub>2</sub> oluşumu önlenmektedir.	

### 2.3. Unicharm prosesi

Asya Kıtasının bebek bezi üreticisi olan Unicharm kullanılmış bebek bezlerinin tüketici sonrası geri dönüşümü amacıyla uygulanabilecek olanakları araştırmaktadır. Japonya’nın dögüsel ekonomi yaklaşımını benimseme yolundaki göstergelerinden birisi olarak geri dönüştürülmüş selüloz üretimini hedefleyen Unicharm prosesi (Güney Japonya) ile ilgili çalışmalar 2015 yılında başlamış olup, Shibushi şehrindeki pilot tesiste çalışmalar devam etmektedir. 2022 yılında firma tarafından geri dönüşümden elde edilen yeni bebek bezlerinin piyasaya sürülmesi hedeflenmektedir. Bununla birlikte, 2030 yılı sonuna kadar Japonya çapında tesis sayısı 10’nun üzerine çıkarılacaktır [37]. Prosesin şematik akım diyagramı Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Unicharm prosesi şematik görünüm [38]

Prosesin amacı kullanılmış bebek bezlerinin selüloz, SAP ve plastik malzemeler olarak üç kısma ayrılmasıdır. Bu amaçla ilk aşamada organik asit solüsyonuyla  $\text{pH} \leq 2.5$ 'de parçalama, koku giderimi ve dekontaminasyon gerçekleştirilmektedir. Organik asit kullanımıyla hem polimerlerin aşırı derecede su emmesi engellenirken aynı zamanda selüloz liflerinin de parçalanması engellenerek hem SAP ve hem de selülozun %80 verimle geri dönüşümü sağlanmaktadır. İkinci aşamada ise, birinci aşamada elde edilen malzemelerin hijyenik açıdan tekrar kullanılabilmesi için sterilizasyon amacıyla ozon işlemi uygulanmaktadır. Ayrıca, selüloz içerisinde bulunabilecek kalıntı SAP'da ozonla çözünerek selülozdan ayrılmaktadır. Su emme performansının eski haline getirilebilmesi durumunda ayrılan SAP tekrar üretimde kullanılabilir. İşlem sonucunda kullanılan ozon ise oksijene dönüşmektedir [15]. Proses sonucunda elde edilen çıktılar Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Unicharm prosesinden elde edilen çıktılar [16]

Materyal	Çıktı
SAP	SAP oksidasyonla parçalanarak su ve karbondioksite dönüşmektedir.
Dokunmamış Kumaş (plastik)	Plastik fraksiyon atıktan türetilmiş yakıt olarak kullanılabilir.
Hamur (selüloz)	Elde edilen yüksek kalitede selüloz bebek bezi üretiminde kullanılabilir özelliklerdedir. Güvenlik, hijyen ve renk açısından ham selüloz özellikleri ile aynıdır.

Çevresel açıdan bakıldığında proses (366 kg  $\text{CO}_{2\text{eş}}/\text{t}$ ) yakmaya (493 kg  $\text{CO}_{2\text{eş}}/\text{t}$ ) kıyasla  $\text{CO}_2$  emisyonlarını  $\approx$  %26 oranında ve su tüketimini de  $6 \text{ m}^3$  azaltmaktadır. Ayrıca

uygulanen kapalı devre proses sayesinde kaynak tüketimi ve düzenli depolamadan kaynaklanacak arazi kullanımının azaltılmasına da katkı sağlanmaktadır [16].

### 3. Sonuç

Günümüzde kullanılmış bebek bezlerinin yönetimi özellikle gelişmekte olan ülkelerde hala büyük bir sorundur. Klasik atık yönetim anlayışı çerçevesinde (doğrusal yönetim) düzenli depolama ile bertaraf yönteminin tercih edilmesi durumunda; değerli arazilerin tüketimiyle birlikte toksik maddelerin de çevreye yayılımı söz konusu olabilmektedir. Geri dönüşüm alternatifi ise endüstriyel üretim aşamalarında tekrar kullanılabilir materyallerin (plastik, selüloz ve SAP) geri dönüşümünü teşvik ederken aynı zamanda atık yönetimi gerekliliklerini de ortadan kaldırmakta ve doğal kaynakların korunmasına da katkı sağlamaktadır. Geri dönüşüm alternatifinin tercih edilmesi durumunda, en zorlayıcı unsurlar olarak davranışsal ve sosyal alışkanlıklarla birlikte teknolojik altyapı (teknoloji) eksiklikleri ve toplama yani lojistik maliyetleri ön plana çıkmaktadır. Bu amaçla, kısa-orta vadede geri kazanıma yönelik alışkanlık ve algının değiştirilmesi hem ulusal hem de uluslararası ölçekte uygulanabilecek bir yöntem olmakla birlikte toplama/taşıma maliyetlerinin karşılanabilmesi içinse optimizasyon çalışmalarının (toplama sıklığı, araç sayısı, çalışan sayısı vb.) gerçekleştirilmesi, sübvansiyon ve/veya teşvik mekanizmalarının sağlanması büyük önem arz etmektedir. Altyapı ihtiyaçlarının karşılanmasında da daha fazla güvenilir çalışmalara ihtiyaç duyulmakla birlikte, gelişmiş ülkelerde kullanılan yenilikçi, pratik ve çevre dostu geri dönüşüm teknolojilerine benzer teknolojiler baz alınarak atık kompozisyonundaki değişimlere bağlı olarak sürekli olarak iyileştirilmelerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu sayede tüketici tereddütleri önlenerek, sürecin daha kabul edilebilir, başarılı ve sürdürülebilir hale getirilmesi mümkün olacaktır.

### Kaynaklar

- [1] Krafchik, B., History of diapers and diapering, **International Journal of Dermatology**, 55, 1, 4-6, (2016).
- [2] Khoo, S. C., Phang, X. Y., Ng, C. M., Lim, K. L., Lam, S. S., Ma, N. L., Recent technologies for treatment and recycling of used disposable baby diapers, **Process Safety and Environmental Protection**, 123, 116-129, (2019).
- [3] <https://www.edana.org/docs/default-source/sustainability/edana-sustainability-report---2015.pdf?sfvrsn=e58c600a>, (20.06.2021).
- [4] Dey, S., Kenneally, D., Odio, M., Hatzopoulos, I., Modern diaper performance: construction, materials, and safety review, **International Journal of Dermatology**, 55, 1, 18-20, 2016.
- [5] Rahat, S. H., Sarkar, A. T., Rafie, S. A. A., Hossain, S., Prospects of Diaper Disposal and its Environmental Impacts on Populated Urban Area Like Dhaka City, 2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Civil Engineering (ICACE), (2014).
- [6] <https://www.cottoninc.com/wp-content/uploads/2019/08/Nonwoven-BabyCareMarket-Brochure-low-res.pdf>, (20.0.2021).
- [7] Mendoza, J.M.F., D'Aponte, F., Gualtieri, D., Azapagic, A., Disposable baby diapers: Life cycle costs, eco-efficiency and circular economy, **Journal of Cleaner Production**, 211, 455-467, (2019A).

- [8] [https://www.nonwovens-industry.com/issues/2012-07/view\\_features/turkey-time-for-investment/](https://www.nonwovens-industry.com/issues/2012-07/view_features/turkey-time-for-investment/), (20.06.2021).
- [9] Arena, U., Ardolino, F., Gregorio, F.D., Technological, environmental and social aspects of a recycling process of post-consumer absorbent hygiene products, **Journal of Cleaner Production**, 127, 289-301, (2016).
- [10] Saltabaş, F., Soysal, Y., Yıldız, Ş., Balahorli, V., Evsel Kati Atık Termal Bertaraf Yöntemleri ve İstanbul'a Uygulanabilirliği, **Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 3, 109-116, (2011).
- [11] Salihoğlu, G., Poroy, Z., Salihoğlu, N.K., Kentsel atık yönetiminde yaşam döngüsü değerlendirmesi: Bursa analizi, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 25, 6, 692-699, (2019).
- [12] [https://www.interregeurope.eu/fileadmin/user\\_upload/plp\\_uploads/policy\\_briefs/Policy\\_brief\\_on\\_waste\\_management.pdf](https://www.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/plp_uploads/policy_briefs/Policy_brief_on_waste_management.pdf), (21.06.2021).
- [13] Karimi, H., Yu, Q.L., Brouwers, H.J.H., Valorization of waste baby diapers in concrete, **Resources, Conservation & Recycling**, 153, 104548, (2020).
- [14] <https://www.sustainability.vic.gov.au/nappies>, (23.06.2021).
- [15] Itsubo, N., Wada, M., Imai, S., Myoga, A., Makino, N., Shobatake, K., Life Cycle Assessment of the Closed-Loop Recycling of Used Disposable Diapers, **Resources**, 9, 34, 1-15, (2020).
- [16] <https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/Report%20TWOL%20study%20final-%20EN-%20OVAM.pdf>, (27.06.2021).
- [17] Mendoza, J.M.F., Popa, S.A., D'Aponte, F., Gualtieri, D., Azapagic, A., Improving resource efficiency and environmental impacts through novel design and manufacturing of disposable baby diapers, **Journal of Cleaner Production**, 210, 916-928, (2019).
- [18] Hwang, S. C. J., Wu, B. R., Tsai, M., Tkac, S., Sustainable Used Diaper Recycler, Genéza vývoja profilu študenta pre potreby globálneho trhu práce, Košice, (2017).
- [19] Henry, B., Laitala, K., Klepp, I.G., Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment, **Science of The Total Environment**, 652, 483-494, (2019B).
- [20] <https://www.circle-economy.com/news/the-circularity-gap-report-our-world-is-only-9-circular>, (26.06.2021).
- [21] Kim, K.S., Kim, K.J., Evaluation of a Disposable-Diaper Collection Trial in Korea through Comparison with an Absorbent-Hygiene-Product Collection Trial in Scotland, **Sustainability**, 10 (773), 1-13, (2018).
- [22] [https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2021/04/zwe\\_bffp\\_policy-briefing\\_Its-time-to-clear-out-plastic-chemicals-from-nappies-not-the-poop\\_en-2.pdf](https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2021/04/zwe_bffp_policy-briefing_Its-time-to-clear-out-plastic-chemicals-from-nappies-not-the-poop_en-2.pdf), (25.06.2021).
- [23] Tsigkou, K., Tsafrakidou, P., Zafiri, C., Beobide, A. S., Kornaros, M., Pretreatment of used disposable nappies: Super absorbent polymer deswelling, **Waste Management**, 112, 20-29, (2020).
- [24] <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZmF0ZXIuaXR8cmVjYWxsLWVufGd4OjdlMzRiODlmZDZkNjYxODA>, (26.06.2021).
- [25] <https://www.cmconsultinginc.com/wp-content/uploads/2011/03/Diaper-recycling.pdf>, (09.07.2021).
- [26] PFS, "European Commission (DG Environment), Intentionally added microplastics in products Final report", Doc Ref. 39168 Final Report 17271i3, London, 2017.
- [27] Espinosa-Valdemar, R.M., Sotelo-Navorro, P.X., Pina-Quecholac, X., Garcia-Rivera, M.A., Beltran-Villavicencio, M., Ojeda-Benitez, S., Vazquez-Morillas,

- A., Biological recycling of used baby diapers in a small-scale composting system, **Resources, Conservation and Recycling**, 87, 153-157, (2014).
- [28] <https://www.remondis-sustainability.com/en/acting/nappy-recycling/>, (03.07.2021).
- [29] <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2016-26046/1/bijlage/exb-2016-26046.PDF>, (03.07.2021).
- [30] <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2016-26046/1/bijlage/exb-2016-26046.PDF>, (05.07.2021).
- [31] <https://www.arnbv.nl/uploads/media/ARNafvalstrApr2015.pdf>, (04.07.2021).
- [32] <https://www.vang-hha.nl/publish/pages/114072/elsinga-arn.pdf>, (05.07.2021).
- [33] <https://lap3.nl/publish/pages/151977/2021-02-24-vergelijkende-mlca-luier-afvalverwerking-herzien.pdf>, (06.07.2021).
- [34] <https://www.fatergroup.com/en/news/green-train-legambiente-arrives-pescara-fater-awarded>, (08.07.2021).
- [35] <https://circulareconomynetwork.it/wp-content/uploads/2021/03/brochure-FaterSmart-3conferenzaCEN.pdf>, (03.07.2021).
- [36] <https://solarimpulse.com/efficient-solutions/biorefinery-for-diapers-waste>, (08.07.2021).
- [37] <https://zenbird.media/which-japanese-industries-are-moving-forward-with-a-circular-economy-approach/>, (25.06.2021).
- [38] [http://www.env.go.jp/recycle/omutu\\_setumei\\_3.pdf](http://www.env.go.jp/recycle/omutu_setumei_3.pdf), (09.07.2021).