Gıda ambalajlarında mevcut döngüsel ekonomi modelleri gerçekten sistemik bir dönüşüm yaratabilir mi?

Prof.Dr.Barbaros Özer
Ankara Üniversitesi
European Hygienic Engineering and Design Group (EHEDG) Yetkili Eğitmeni

Bir gıda ambalajının yeniden gıda ambalajlama amacıyla geri dönüştürülmesi mümkün olmazsa döngüsel ekonomi **ÇALIŞMAZ**

Yasal bariyerler
Teknik zorluklar
.....

Dünya ekonomisinin yalnızca %8.6'sı döngüsel (Circularity Gap Report).

AB'de tüm plastik ambalajların ~%50'si gıda ambalajlarından kaynaklanıyor

%50

190 kg

Bir Avrupalı tüketici yılda ortalama 190 kg ambalaj atığı oluşturuyor (35 kg plastik)

%40-%50

AB'de ambalajların %40'ı plastik ve %50'si kağıt formunda

%19

%46

2030 yılına kadar ambalaj atıklarının %19, plastik atıkların %46 artması öngörülmektedir

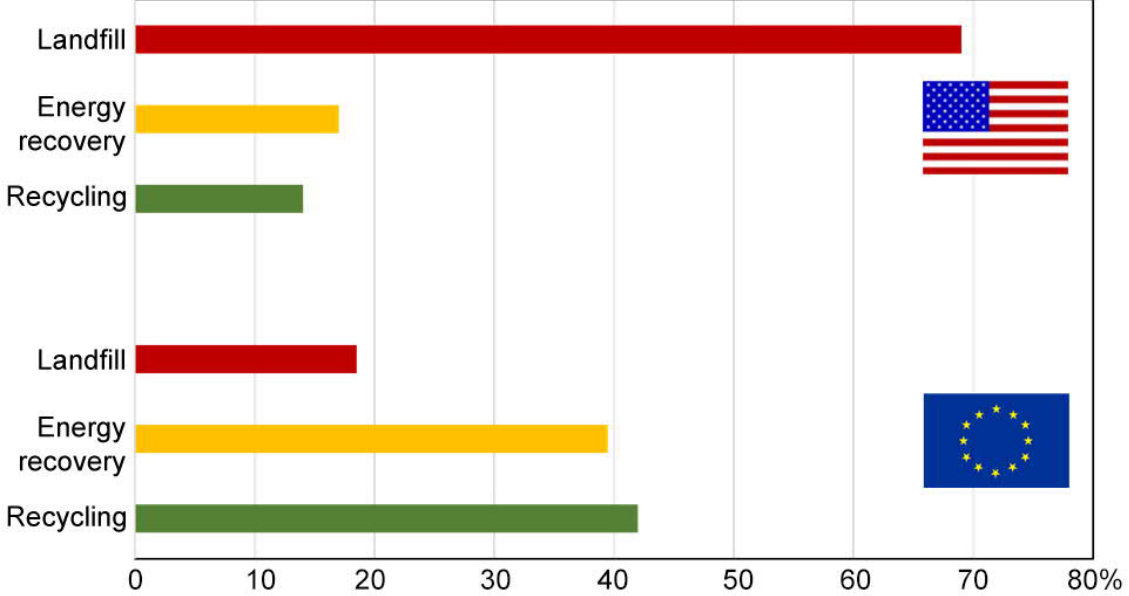
%65

2025 yılı sonuna kadar AB'de ambalaj geri dönüşüm oranının %65 olması hedefleniyor (2019'da bu oran plastik ambalaj için %41)

Biyo-bozunur ambalaj?

Radyokarbon tabanlı analizler ile biyo-bozunur materyal tayini

«*Biyo-bozunur ambalaj yerine %X biyobozunur materyal içermektedir*»



VTT.2022. Discussion paper on recycling food packaging

%90

%70

Tek kullanımlık plastik şişelerin 2025 yılına kadar %70, 2030 yılına kadar 90'unu geri dönüşümü öngörülüyor

(EU) 2021/1752
Hesaplama, doğrulama ve raporlama ilkeleri

Regülasyon

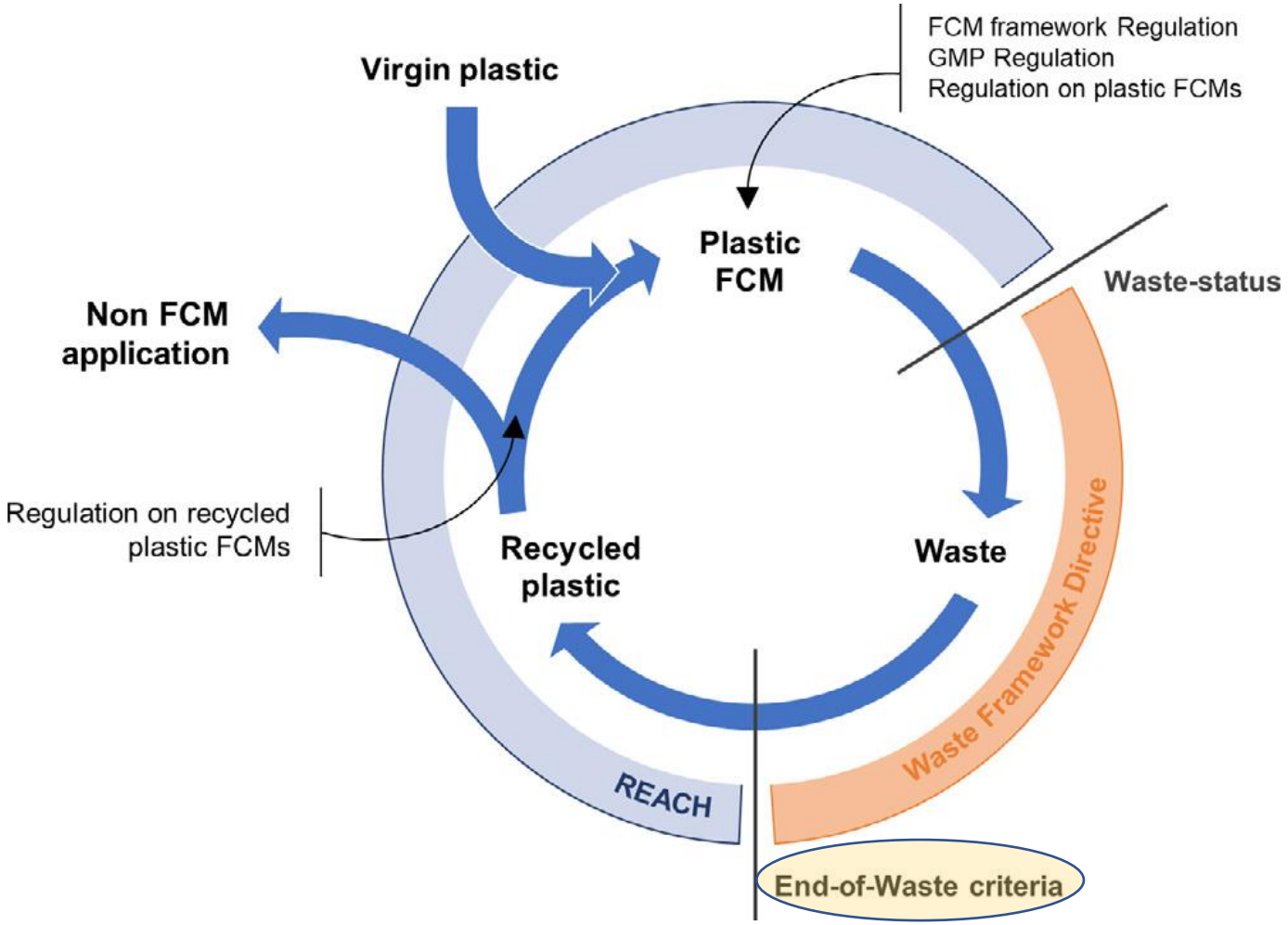
%25

%30

2025 yılına kadar bu atıkların en az %25'inin 2030 yılına kadar ise %30'unun geri dönüşümlü plastik içermesi hedefleniyor

%5

2021 yılında AB'de gıda ambalaj geri dönüşüm oranı



Regulation (EC) No 1935/2004, Food contact materials
Commission Regulation (EC) No 2023/2006 on good manufacturing practice,
Commission Regulation (EU) No 10/2011 on plastic FCMs, (amendement EU 2020/1245)
Commission Regulation (EC) No 282/2008 on recycled plastics as FCM and the overarching
Regulation (EC) No 1907/2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH).

United Nations Environmental Programme has been tasked with preparing a Global Plastics Treaty to ‘end plastic pollution’ and develop ‘an international legally binding instrument’ (UNEP, 2022)

Mikrobiyel ve kimyasal tehlike

Tehlikeli kim

alınıyor??

Database on Migrating and Extractable Food Contact Chemicals (FCCmigex) (Geueke et al., 2022)

FCCmigex veri tabanına 13.958 giriş/ 824 araştırma makalesi/ 3.009 FCC

Döngüsel gıda ambalajlama sisteminin zorlukları

Döngüsel gıda ambalajlama

Zorluklar

Çevresel
- **Çok katmanlı ambalajlar**
- Geri dönüşümsüz materyal
- Tam izlenebilirlik

Ekonomik
- Yüksek geri dönüşüm maliyeti
- **Tersine lojistik**
- **Orijinal ambalajın daha ucuz olması**

Yönetsel
- Regülasyonların yeterince teşvik edici olmaması

Bilgi birikimi
- Karmaşık «döngüsel ekonomi» kavramı
- Mevcut teknolojiler ve iyi uygulamalar
- **FCM ve non-FCM ayrımının güçlüğü**

Sosyal etki
- Farkındalık eksikliği
- Yanlış algı
- Değişime direnç
- Satış sonrası olası yanlış kullanım

Kaynak: Ada vd. (2023). Applied Food Research, 3, 100310
de Tandt vd. (2021) Waste Management, 119, 315-329.

Geri dönüşüm modelleri

FDA (2021). Use of Recycled Plastics in Food Packaging (Chemistry Considerations): Guidance for Industry. https://www.fda.gov/FoodGuidances

Plastik geri dönüşüm

Fabrika içi ambalaj atıklarının yeniden kullanımım

Birincil döngü

- İşletme için döngüde risk yok
- Başka işletmelerden toplanıyorsa adjuvan tipi ve konsantrasyonu regülasyonlara uyumlu olmalı

Tüketiciden dönen ambalajların fiziksel dönüşümü

İkincil döngü

- Temel polimer yapısı bozulmaz
- Fiziksel işlemeye alınan materyal orijinal plastik materyal ile kombine edilebilir

Tüketiciden dönen ambalajların kimyasal dönüşümü ve bazı bileşenlerin izolasyonu

Üçüncül döngü

- Depolimerizasyon
- Monomer ya da oligomerlerin rejenerasyonu ve saflaştırılması

Geri dönüştürülen ambalajların içeriklerinin gıda ile uyumsuzluğu!!

Geri dönüşüm kaynağının kontrolü
Uygun işleme protokolü
Kullanım alanı sınırlaması

Çok katmanlı plastik geri dönüşümü

Mekanik

- **Solvent-tabanlı geri dönüşüm- *APK Newcyling***
- **Basınçlı buhar yardımıyla geri dönüşüm- *Repetco***

Kimyasal

- **Isı, basınç, oksijen uzaklaştırma ve kimyasal katalizleme**
- **Piroliz, solvolisiz…**

Su bazlı

- **Süperkritik su, ısı, basınç kombinasyonu- HydroPRC Cat-HTR™, Aduro Hydrochemolytic™…**

Annelotech (US) Plas-TCat Technology

Tek katmanlı termal-katalitik proses→ tek kullanımlık plastik→ benzen, toluen, etilen, ksilen…

rPET

Super-clean-recycling

- AB, ABD.. (örneğin; The Vegetarian Butcher-Vegan Meat rPET package)

rPP

By-product synergy

- AB (örneğin; Emmi Cafe Latte by Emmi and Borealis and Grenier partnership)

rHDPE

Yarı uçucu bileşenlerin takibi

- AB, ABD (dosya değerlendirmesine tabi), İngiltere (yeni süt şişelerinin üretimi)

rPO

- Güvenlik endişeleri devam ediyor

Gıda Güvenliği?

- Ambalaj materyallerinde geri dönüşüm önemli ancak gıda güvenliği açısından güvenilir bir modelin oluşturulması şart

Regulation (EC) 282/2008

Directive (EU) 2019/904 on reducing the impact of certain plastic products on the environment

Bamboo katkılı melamin plastik → gıdaya melamin ve formaldehit migrasyon oranında artış → RASFF

Framework Regulation (EC) No. 1935/2004

Ambalaj geri dönüşüm → kompleks biyomateryal ve bileşen girdisi → MASRAFLI!! → Risk değerlendirmesi???

Kaynak: Focker vd. 2022. Food Research International 158, 111505.

Registration Evaluation Authorization Restrictions of Chemicals- REACH

Regulation (EC) No 1907/2006 Article 1

Registration

Polimer üretiminde kullanılan monomerler ya da diğer reaktantlar kayıtlı olmalıdır

Evaluation

Dosya veya spesifik bileşen değerlendirmesi

- Bileşenin dirençliliği
- **Biyobirikim**
- **Toksisite**

Authorization

ANNEX IV of REACH «Sunset Date» sonrası bir bileşen izin alınmadan yeniden kullanılamaz.

Restriction of Chemicals

REACH Article 69.1
Çok yüksek endişe kaynağı bileşenler (SVHC)

Gıda ile Tema Eden Malzemeler (Food Contact Matrials-FCMs)

Yasal arkaplan

- Regulation (EC) No 1935/2004 on Food Contact Materials (FCM framework Regulation)
- Good Manufacturing Practices (GMPs) laid out under Regulation (EC) No 2023/2006

FCM, Non-FCM ve NIAS'ın net bir ayrımı bulunmamaktadır

Table 1. Overview of FCCs that were most frequently detected in migrates and/or extracts of FCMs made of PET (source: FCCmigex), their function and potential origin, hazard properties of concern and the presence on the Union list of authorised substances (EU 10/2011, 2011)

FCC	CAS RN	FCCmigex		Function and potential origin in PET	Food contact chemical of concern, according to Zimmermann et al. (2022)	Other/not yet confirmed hazard properties of concern (ECHA, 2023b)	Primary literature indicates potential concern for[a]	The presence on the Union list; SML (mg/kg food or food simulant)
		No. of database entries (all PET/only recycled PET)	No. of references (all PET/only recycled PET)					
Antimony	7440-36-0	58/11	34/9	Catalyst	No priority hazards reported	A majority of data submitters agree that this substance is toxic to reproduction	–	Yes; 0.04
Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	117-81-7	42/2	31/2	NIAS	CMR EDC	No	–	Yes[b]; 1.5
Dibutyl phthalate (DBP)	84-74-2	33/3	23/3	NIAS	CMR EDC	Under assessment as PBT	–	Yes[c]; 0.3
Acetaldehyde	75-07-0	29/3	18/2	NIAS (degradation product)	CMR	No	–	Yes; 6
Diethyl phthalate (DEP)	84-66-2	21/2	18/2	NIAS	No priority hazards reported	Under assessment as EDC	–	No
Dimethyl phthalate	131-11-3	13/2	10/2	NIAS	No priority hazards reported	No	Immunotoxicity (Chi et al., 2022); EDC (Mei et al., 2019)	No
Decanal	112-31-2	13/2	9/2	NIAS	No priority hazards reported	No	–	No
PET cyclic trimer, 1st	7441-32-9	13/1	10/1	NIAS (reaction	No data available	No data available	No data available	No
Limonene isomers	138-86-3 5989-27-5	11/5	8/4	NIAS (recycling-related contamination)	No priority hazards reported	Very toxic to aquatic life	–	No

VOCs

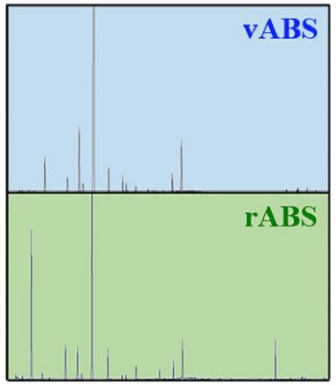
İlk kez kullanılan ve geri dönüşümlü plastik ambalajların ayrıştırılması

Yapay zeka algoritmaları

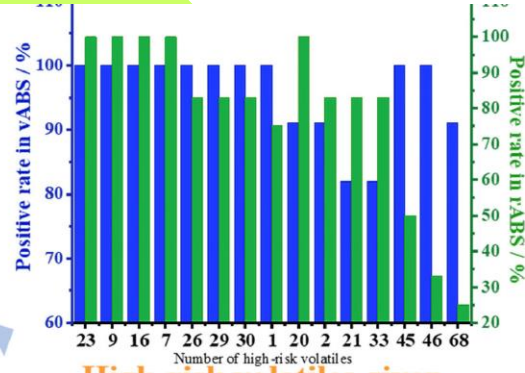
Hedeflenmemiş tarama

Migrasyon yoluyla maruziyet ekstrakte edilebilirlikten daha önemli

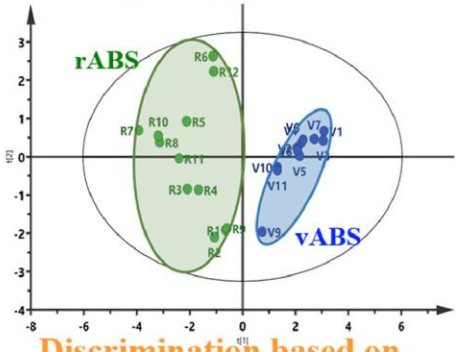
SHS-GC-MS
APGC-QTOF-MS
MS-FINDER
Model gıda simülatörleri
%3 asetik asit
%95 etanol



Non-targeted screening by SHS-GC-MS



High-risk volatiles given toxicity and positive rate

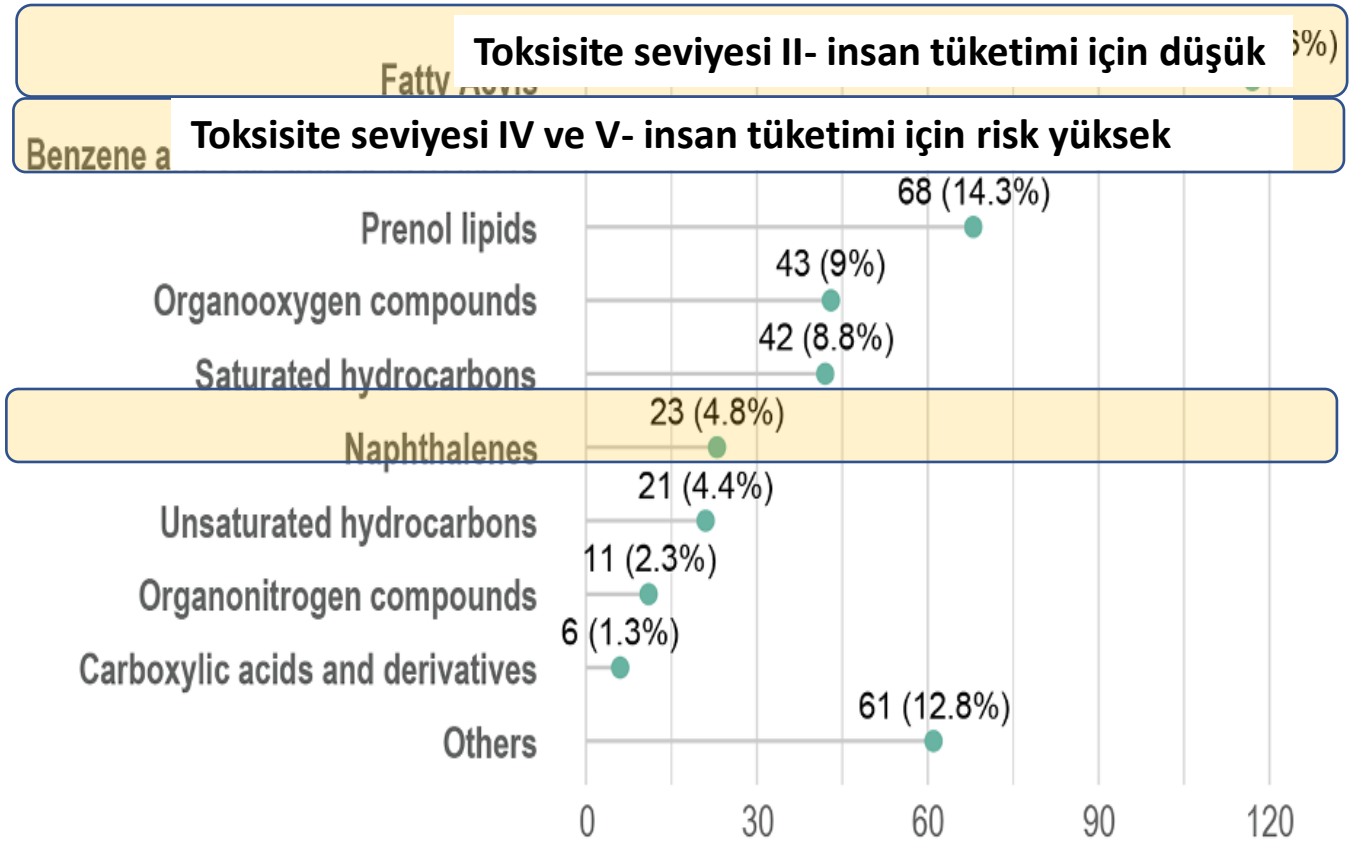


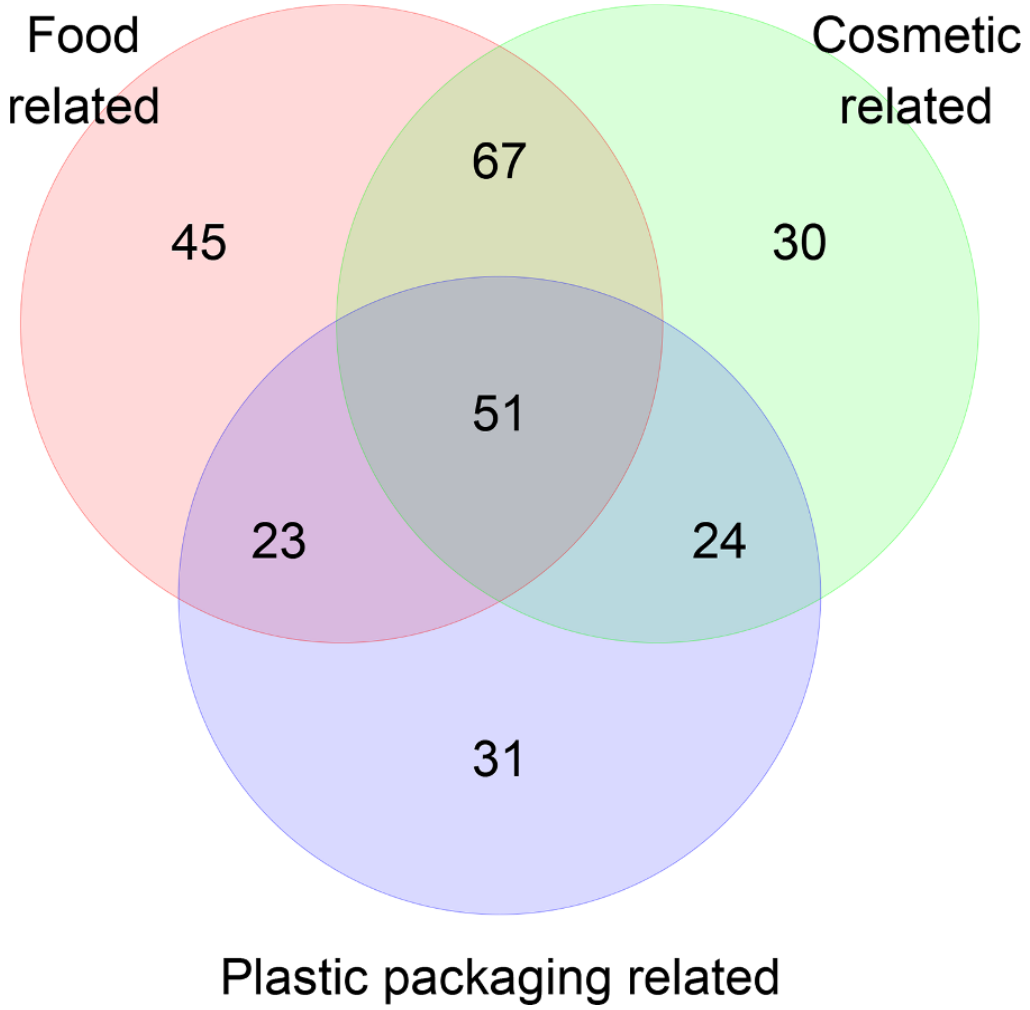
Discrimination based on multivariable chemometrics

Kaynak: Wu vd. 2023. J. Chromatpgraphy A, 1711, 464442

Polyolefin kaynaklı migrasyon profilleri

Cramer sınıflandırması





Su vd. 2021. Resources, Conservation & Recycling 167, 105365

Maruziyet değerlendirmesi

Polyethylene terephthlate (PET)

- ✓ Regülasyonlara uygunluk
- ✓ Migrasyon testleri

Maruziyet değerlendirmesi
Risk değerlendirmesi

Non-intentionally added substances (NIAS)
PET oligomerleri vb..

PET oligomerleri için deneysel migrasyon testleri

- ✓ Zaman alıcı
- ✓ Teknik ve analitik sınırlamalar
- ✓ Ambalaj materyalinin heterojenitesi

Maruziyet değerlendirmesi-zorluklar

- Düşük konsantrasyon maruziyeti
- Miks formdaki kimyasallar
- Coğrafi ve geçici değişimler
- Uzun maruziyet dönemi
- Sınırlı takip verisi
- Sınırlı doğrulanmış maruziyet biyobelirteci
- Çoklu maruziyet yolakları

Kimyasal kontaminasyona maruziyet- FDA modeli

- Ardışık geri döngü süreçlerinde kimyasal bileşen dilüsyonu
- Uzun erimli düşük doz kimyasal maruziyeti (!!) (**low dose effect**)

Probabilistic way *vs*. compound by compound evaluation

Örnek;

✓ PET yoğunluk: 1.4 g/cm^3

✓ PET kalınlık: 0.50 mm

✓ Kütle/yüzey oranı: 70 mg/ cm^3

✓ Tahmini bir kişinin günlük gıda tüketimi: 3 kg

✓ PET için tüketim faktörü (consumption factor): 0.05

✓ Gıda çeşit dağılım faktörü (food-type distribution factor, *fT*): 1.0

*Guidance for Industry: Preparation of Premarket Submissions for Food Contact Substances (*Chemistry Recommendations)

$$\mathrm{DC} = \mathrm{CF}.\langle \mathrm{M} \rangle = \mathrm{CF}.\, A = \pi r^2 \sum_{i=1}^{4} (M.fT)i$$

Gıda ile temas eden geri dönüşümlü ambalajda kimyasal kalıntı → ≤ 1.5 µg/ kişi/ gün

Risk yok

$$DC = CF. < M > = CF. A = \pi r^2 \sum_{i=1}^{4} (M.fT)i$$

DC: Dietary consumption M: Migration CF: Consumption factor for recycled PET

DC = 0.5 ppb (1.5 µg/ kişi/ gün eşdeğeri) (3 kg günlük gıda tüketimi!!)

= (0.5 x 10^{-9} g kontaminant/g gıda) ÷ (0.05)

= 1 x 10^{-8} g kontaminant/g gıda.

Buradan;

(450 x 10^{-3} g ambalaj/in^2) ÷ (10 g gıda/in^2) = 0.045 g ambalaj/g gıda

(1 x 10^{-8} g kontaminant/g gıda) ÷ (0.045 g ambalaj/g gıda) = **2.2 x 10^{-7} g kontaminant/g ambalaj**

Geri dönüşen polimer	Yoğunluk (g/cm3)	Maksimum kalıntı
PET	1.4	220 µg/ kg
Polystrene	1.05	300 µg/ kg
PVC	1.58	200 µg/ kg
Polyolefins	0.965	220 µg/ kg

Kaynak: FDA Use of Recycled Plastics in Food Packaging (Chemistry Considerations): Guidance for Industry

Tüketici tarafından amaç dışı ambalaj kullanımı kaynaklı riskler

Örneğin; pestisit veya otomotiv kimyasalları depolama amaçlı kullanılan ambalajları geri dönüşümü

Simülasyon

- ✓ ***Uçucu polar bileşenler*** *(kloroform, klorobenzen, trikloretan, dietil keton)*
- ✓ ***Uçucu polar olmayan bileşenler*** *(toluen)*
- ✓ ***Ağır metaller*** *(bakır(II) etil hekzanoat)* (PET dışındaki tüm geri dönüşümlü ambalajlarda analizi önerilmektedir)
- ✓ ***Uçucu olmayan polar bileşenler*** *(Benzofenon, metil salisilat)*
- ✓ ***Uçucu olmayan non-polar bileşenler*** *(tetracosane, Lindane, Meil stearat, fenilsiklohekzan1-fenil dekan, trikloroanisol)*

Tüketici tarafından amaç dışı ambalaj kullanımı kaynaklı riskler

- En kötü senaryo: Geri dönüşüme girecek tüm ambalaj materyalleri kontamine olmuştur.

Kontaminant (kokteyl formda)	Konsantrasyon
Kloroform (uçucu polar)	%10 v/v
Toluen (uçucu non-polar)	%10 v/v
Benzofenon (uçucu olmayan polar)	%1 v/v
Tetracosane ya da Lindane (uçucu olmayan non polar)	%1 w/w
Bakır(II) 2-etilhekzanoat (ağır metal)	%1 w/w
Balans: 2-propanol (Bakır(II) 2-etilhekzanoat için çözücü) Hekzan ya da heptan (kokteyl için genel çözücü)	 %10 v/v %68 v/v

2 hafta 40 °C'de periyodik karıştırma→ durulama → analiz→ kalıntı tespiti yoksa geri dönüşüm (FDA Önerisi)

Teşekkür ederim……

adabarbaros@gmail.com