

[https://doi.org/10.52326/jss.utm.2025.8\(3\).12](https://doi.org/10.52326/jss.utm.2025.8(3).12)
CZU 621.798.1:678.5:664(4+478)



MIGRATION OF CHEMICAL COMPOUNDS FROM FOOD PACKAGING: REGULATORY ASPECTS AND ASSESSMENT OF POTENTIAL RISKS

Rodica Sturza *, ORCID: 0000-0002-2412-5874,
Aliona Ghendov-Moșanu, ORCID: 0000-0001-5214-3562,
Veronica Dragancea, ORCID: 0000-0002-5938-0410,
Dmitri Lazacovici, ORCID: 0000-0001-9078-1098

Technical University of Moldova, 168 Stefan cel Mare Blvd., Chisinau, Republic of Moldova

* Corresponding author: Rodica Sturza, rodica.sturza@chim.utm.md

Received: 07. 18. 2025

Accepted: 09. 11. 2025

Abstract. Plastics have become prevalent in food packaging, although the transfer of additives with potential for migration into food is a significant public health concern. The article reviews various packaging materials, explores the factors influencing the migration of chemicals from packaging into food, reviews the literature on the presence of migrants in food, and identifies potential health risks. The regulatory aspects of the use of food packaging made of polymeric materials in the European Union and the Republic of Moldova are reviewed, as well as the mechanisms governing the migration of additives from packaging into food. The process of migration of additives from plastic containers during microwave heating of food, the use of recycled plastic containers, and their combined effect present topics for extensive biomonitoring, necessary to minimize migration from a food safety perspective.

Keywords: *food packaging, polymeric materials, plasticizers, flame retardants, antioxidants, UV stabilizers, phthalates, bisphenols, microwaves, diffusion, biomonitoring.*

Rezumat. Materialele plastice au devenit predominante în ambalajele alimentare, deși transferul aditivilor cu potențial de migrare în alimente reprezintă o preocupare semnificativă pentru sănătatea publică. Articolul examinează diverse materiale de ambalare, explorează factorii care influențează migrarea substanțelor chimice din ambalaje în alimente, analizează datele bibliografice privind prezența migranților în alimente și identifică riscurile potențiale pentru sănătate. Sunt analizate aspectele de reglementare ale utilizării ambalajelor alimentare fabricate din materiale polimerice în Uniunea Europeană și Republica Moldova, precum și mecanismele care guvernează migrarea aditivilor din ambalaje în alimente. Procesul de migrare a aditivilor din recipientele de plastic în timpul încălzirii alimentelor la microunde, utilizarea recipientelor din plastic reciclat și efectul lor combinat prezintă subiecte pentru o biomonitorizare extinsă, necesară pentru a minimiza migrarea din perspectiva siguranței alimentare.

Cuvinte cheie: *ambalaje alimentare, materiale polimerice, plasifianți, ignifuge, antioxidanți, stabilizatori UV, ftalați, bisfenoli, microunde, difuzie, biomonitoring.*

1. Introducere

Ambalajele sunt esențiale pentru condiționarea și transportul diferitelor substanțe. Beneficiile materialelor plastice, precum durabilitatea și versatilitatea lor oferă protecție împotriva daunelor fizice, contaminării și alterării microbiene. În plus, creșterea economică a generat o cerere tot mai mare de alimente prefabricate și a dus la creșterea producției de alimente ambalate. În consecință, materialele plastice au devenit predominante în ambalajele alimentare, deși prezența migrantilor din plastic în alimente a stârnit îngrijorări semnificative în ultimii ani [1]. Nu mai puține îngrijorări trezește și contaminarea de mediu, cauzată de microplastice, care este omniprezentă pe uscat, în mare și în aer, afectând și sănătatea umană [2,3]. Dar în ciuda eforturilor semnificative de reducere a utilizării, plasticul rămâne cel mai utilizat material de ambalare în prezent. În tabelul 1 sunt prezentate doar câteva exemple de aplicații ale polimerilor drept ambalaje alimentare.

Tabel 1

Exemple de aplicații ale polimerilor drept ambalaje alimentare [4]

Polimerul	Abrevierea	Tipul de ambalaje
Polietilenă	PE	Pungi, folii de ambalare
Polietilenă de înaltă densitate	HDPE	Folii, sticle, pungi cu fermoar
Polietilenă de joasă densitate	LDPE	Folii, pungi pentru congelator
Polipropilenă și copolimeri	PP	Folii de ambalare, sticle
Clorură de polivinil	PVC	Diferite recipiente, veselă, folii alimentare
Polistiren	PS	Tăvi, oale de gătit
Polietilenă tereftalat	PET	Sticle, pungi pentru cuptor
Poliamidă (nylon)	PA	Ambalaje cu barieră de oxigen, ustensile de gătit
Poliuretan	PU	Folii laminate, adezivi
Poliesteri		Acoperire capace
Policarbonat	PC	Diverse recipiente
Copolimer acrilonitril, butadienă și stiren		Capace, articole de bucătărie
Acid polilactic	PLA	Pahare, sticle

Materialele plastice sunt polimeri compuși din lanțuri lungi de carbon formate din unități monomerică. Polimerii sunt clasificați în polimeri termorezistenți și polimeri termoplastici. Aceștia din urmă sunt cei mai utilizați în fabricarea ambalajelor alimentare; în special PP, PET și HDPE și LDPE. Proprietățile mecanice și chimice ale materialelor plastice sunt îmbunătățite prin adăugarea de aditivi în timpul sintezei polimerilor. Aditivii sunt substanțe chimice de diferite tipuri. Bisfenolii (BP) și ftalații sunt doi aditivi utilizați în mod obișnuit [5]. BP servesc ca antioxidanți și stabilizatori UV în materialele plastice. Ftalații, pe de altă parte, sunt utilizați pentru a crește plasticitatea, flexibilitatea și transparența materialelor plastice. Aceste două grupuri de molecule sunt perturbatori endocrini și factori de risc pentru cancer. Aditivii pot migra în alimente atunci când intră în contact cu ambalajele din plastic. Aceasta depinde de polimerul constituent și de condițiile de utilizare. Condițiile de utilizare sunt definite pentru fiecare plastic de calitate alimentară [6].

2. Aspecte normative ale utilizării ambalajelor alimentare din materiale polimerice

Limitele migrării chimice sunt impuse de normele și reglementările stricte ale Uniunii Europene (UE) privind materialele de ambalare (MCA). Regulamentul-cadru al UE reglementează MCA la nivel de uniune, inclusiv ambalajele, utilajele și aparatele de gătit. Un număr considerabil de diverse directive, reglementări și amendamente au fost stabilite la nivel comunitar (Tabelul 2).

Tabelul 2

Reglementări ale UE privind materialele de ambalare pentru produse alimentare [7]

Reglementări, directive	Subiect	Materiale de contact
(UE) 1935/2004	Regulament-cadru cheie privind materialele și obiectele destinate să vină în contact cu alimente.	Toate materialele
(UE) 10/2011	Materiale și obiecte din plastic destinate să vină în contact cu alimente.	Toate materialele
2023/2006/CE	Bune practici de fabricație aplicabile tuturor materialelor care intră în contact cu alimentele.	Toate materialele
93/11/CEE	Eliberarea de N-nitrozamine și substanțe N-nitrozabile din materialele care intră în contact cu alimentele utilizate pentru sugari.	Nitrozamine
82/711/CEE	Regulament pentru testarea migrării nitrozaminelor.	
93/8/CEE 97/48/CE	Amendamente.	
2005/72/CE	Directiva Comisiei de modificare a Directivei 2002/72/CE privind materialele și obiectele din plastic destinate (monomeri) să vină în contact cu alimentele.	Aditivi monomerici
2004/1/CE	Amendamentul la Directiva 96/77/CE enumeră criteriile specifice de puritate pentru aditivii alimentari, alții decât coloranții și îndulcitorii.	
2004/19/CE 2005/79/CE 2007/19/CE 2008/39/CE 2009/975/CE	Amendamente la Directiva 2002/72/CE care actualizează dispozițiile privind utilizarea plastifiantilor.	
78/142/CEE	Limitarea monomerului de clorură de vinil în materialele și obiectele destinate să vină în contact cu alimentele.	
80/766/CEE	Analiza clorurii de vinil eliberate de materiale și obiecte destinate să vină în contact cu alimentele.	Elastomeri și cauciucuri
81/432/CEE	Metode de analiză pentru asigurarea uniformității testării pentru monomerul de clorură de vinil.	
372/2007/CE	Autorizarea limitelor de migrare tranzitorii pentru plastifiantii din garniturile capacelor.	Plastic reciclat
2008/282/CE	Cerințe specifice pentru siguranța materialelor plastice reciclate, inclusiv procese de decontaminare și metode de testare pentru a asigura utilizarea materialelor plastice reciclate în materialele care intră în contact cu alimentele.	

Continuare Tabelul 2

1895/2005/CE	Utilizarea unor substanțe specifice cunoscute sub numele de BADGE (eter diglicidilic al bisfenolului A), BFDGE (eter diglicidilic al bisfenolului F) și NOGE (eter glicidilic al novolacului) în materialele de contact cu alimentele.	Acoperiri
(CE) nr. 450/2009	Reguli și cerințe specifice pentru materialele care pot modifica în mod activ starea alimentului sau a mediului înconjurător.	Materiale active și inteligente
84/500/CEE	Materiale și obiecte ceramice destinate să vină în contact cu alimentele și băuturile.	Ceramica
2005/31/CE	Amendament la directiva 84/500/CEE .	
2007/42/CE	Materialele și articolele fabricate din folie de celuloză regenerată destinate să vină în contact cu alimentele.	Folie de celuloză regenerată
2011/8/UE	Materiale și articole din plastic destinate să vină în contact cu alimente, restricționând utilizarea bisfenolului A în biberonele din policarbonat pentru sugari.	
(UE) 2023/1627	Utilizarea substanței bis(2-etilhexil) ciclohexan-1,4-dicarboxilat, ca aditiv (plastifiant) în poli(clorură de vinil) în concentrație de până la 25% în contact cu alimente apoase, acide și cu conținut scăzut de alcool, pentru depozitare pe termen lung la temperatura camerei sau mai mică (refrigerate și congelate).	Bisfenol A
(UE) nr. 202/2014	Evaluări științifice favorabile pentru 2-fenil-3,3-bis(4-hidroxifenil)ftalimidină (3) și 1,3-bis(izocianatometil)benzen (4), adăugate pe lista UE de substanțe autorizate pentru materiale de contact cu alimentele (MCA).	
(UE) 2018/2005	Înregistrarea, evaluarea, autorizarea și restricționarea substanțelor chimice (REACH) referitoare la ftalatul de bis(2-etilhexil) (DEHP), ftalatul de dibutil (DBP), ftalatul de benzil butil (BBP) și ftalatul de diizobutil (DIBP).	Ftalați
(UE) 2025/40	Regulamentul Parlamentului European și al Consiliului privind ambalajele și deșeurile de ambalaje.	Toate materialele
(UE) 2025/351	Bunele practici de fabricație pentru materialele și obiectele destinate să vină în contact cu alimentele, în ceea ce privește plasticul reciclat și alte aspecte legate de controlul calității și de fabricarea materialelor și obiectelor din plastic destinate să vină în contact cu alimentele.	Toate materialele

Regulamentul-cadru al UE stabilește cerințe specifice pentru fabricarea și comercializarea materialelor și obiectelor din plastic destinate să vină în contact cu alimentele sau care sunt deja în contact cu alimentele sau despre care se poate aștepta în mod rezonabil să vină în contact cu alimentele. Regulamentul Comisiei (UE) 2018/2005 restricționează utilizarea DEHP, DBP, BBP și DIBP la o concentrație egală sau mai mică de 0,1 în masă în plastifianții din articolele utilizate de consumatori sau în spațiile interioare.

În 2025, noile reglementări ale Uniunii Europene transformă ambalajele alimentare din plastic, în special Regulamentul privind ambalajele și deșeurile de ambalaje, care a intrat în vigoare la 11 februarie 2025 și își propune trecerea la ambalaje reciclabile până în 2030, să crească utilizarea materialelor plastice reciclate și să reducă deșeurile de ambalaje în total. În plus, un regulament separat, Regulamentul (UE) 2025/351, a introdus cerințe mai stricte privind puritatea, migrarea și etichetarea materialelor din plastic care intră în contact cu alimentele, începând cu martie 2025, cu un termen limită de conformitate de septembrie 2026.

Numeroase protocoale de analiză specifice pentru compuși specifici au fost utilizate pentru testarea migrării pentru a obține o Limită Specifică de Migrare, care descrie cantitatea unei substanțe care poate fi prezentă în materialul de ambalare și cantitatea care ar putea migra potențial în alimente. Controlul conformității materialelor de ambalare cu reglementările CE este un subiect complex, iar Regulamentul-cadru a fost stabilit pentru a îndeplini cerințele de utilizare a materialelor și obiectelor care vin în contact cu produsele alimentare (Tabelul 3). Printre numeroasele provocări evidențiate se numără numărul enorm de compuși de pe listele pozitive, lipsa informațiilor despre potențialii migranți, lipsa metodelor analitice standardizate, durata procedurilor analitice și problemele practice în aplicarea acestora [6].

Republica Moldova implementează un cadru legislativ solid privind ambalajele alimentare din plastic, aliniat cu standardele UE (Tabelul 3).

Tabelul 3

Reglementări referitoare la materialele plastice admise pentru contactul cu alimentele în Republica Moldova*

Acte normative	Denumire acte normative	Domeniul de aplicare
HG nr. 278/2013	Regulament sanitar privind materialele și obiectele din plastic destinate să vină în contact cu produsele alimentare.	Materiale plastice (contact cu alimente)
HG nr. 492/2015	Regulament sanitar privind materialele și obiectele din plastic reciclat destinate să vină în contact cu produsele alimentare.	Plastic reciclat (contact alimentar)
HG nr. 594/2014	Regulamentul sanitar privind buna practică de fabricație a materialelor și obiectelor destinate să vină în contact cu produsele alimentare.	Bună practică de fabricație
HG nr. 945/2018	Regulamentul sanitar privind materialele și obiectele active și inteligente destinate contactului cu produsele alimentare.	Materiale inteligente/active
HG nr. 561/2020	Regulament privind ambalajele și deșeurile de ambalaje, care introduce principiul Responsabilității Extinse a Producătorului (REP) în Republica Moldova.	Gestionarea ambalajelor (REP)
Instrucțiune oficială	Instrucțiune oficială referitoare la implementarea regulamentului aprobat prin HG nr. 561/2020.	Gestionarea ambalajelor (REP)

* <https://www.legis.md/>

Reglementările referitoare la materialele plastice admise pentru contactul cu alimentele sunt stabilite prin Hotărârea Guvernului nr. 278 din 24 aprilie 2013, care aprobă „Regulamentul sanitar privind materialele și obiectele din plastic destinate să vină în contact cu produsele alimentare”. Acest Regulament transpune Regulamentul (UE) nr. 10/2011 al

Comisiei din 14 ianuarie 2011, care reglementează materiale plastice potrivite pentru contactul cu alimentele: lista de monomeri, aditivi și materiale auxiliare de producție polimerică și macromolecule din fermentare autorizate pentru folosire (Anexa I); limită de migrare specifică pentru substanțe individuale și limită generală de migrare pentru totalul substanțelor.

Prin Regulamentul privind ambalajele și deșeurile de ambalaje (HG nr. 561/2020) se introduce principiul Responsabilității Extinse a Producătorului (REP), obligând producătorii și importatorii să gestioneze ambalajele puse pe piață. Din ianuarie 2023, doar agenții economici înregistrați în Sistemul Informațional Automatizat – Managementul Deșeurilor au dreptul să plaseze pe piață mărfuri cu ambalaje din plastic. Se impune un obiectiv minim de reciclare a ambalajelor din plastic de la 10% (2023) până la 20% (2029).

Regulamentul sanitar privind materialele și obiectele active și inteligente destinate contactului cu produsele alimentare (HG nr. 945 din 3 octombrie 2018) introduce noțiunea de barieră funcțională pentru materiale care vin în contact cu produsele alimentare, menite să asigure că materialul în condiții normale sau previzibile de utilizare nu transferă produselor alimentare substanțele din compoziția sa în cantități care ar putea să pericliteze sănătatea sau să producă o modificare inacceptabilă a compoziției sau a caracteristicilor organoleptice produselor alimentare.

Totuși, în Republica Moldova se atestă lipsa unor studii care ar elucida migrarea unor componente potențial toxice din ambalaje alimentare în produse alimentare, cu excepția vinurilor și a produselor alcoolice [8,9]. Scopul prezentului studiu constă în evaluarea riscurilor potențiale, asociate migrației unor componente potențial toxice din ambalaje alimentare din plastic.

3. Aditivi cu potențial de migrare din materiale plastice utilizate pentru ambalare

Materialele plastice sunt compuși macromoleculari organici obținuți prin polimerizare, policondensare sau poliadiție din molecule cu greutate moleculară mică (monomeri) sau prin modificarea chimică a moleculelor, la care se adăuga substanțe auxiliare pentru a facilita formularea lor și pentru a îmbunătăți proprietățile lor mecanice, termice, chimice [10]. Aceste substanțe chimice sunt numite „aditivi”. Unii aditivi sunt utilizați ca monomeri; de exemplu, bisfenolul A (BPA) este monomerul policarbonatului (PC) și al rășinilor epoxidice, dar și un stabilizator în alți polimeri. Principalele funcții ale aditivilor sunt ca agenți de ignifugare; pigmenți, agenți de umplutură, antioxidanți și plastifianți (Tabelul 4).

Tabelul 4

Tipuri de aditivi cu potențial de migrare utilizați pentru producerea celor mai răspândite materiale plastice [11-19]

Tipul aditivilor	Tipul materialelor plastice	Aplicarea aditivului	Compoziția chimică a aditivului
Plastifianți	Clorură de polivinil (PVC).	Constituie 10-70% din masa polimerului. Se utilizează cca 80% din totalul plastifianților produși.	Parafine clorurate cu lanț scurt, mediu și lung (SCCP/MCCP/LCCP); ftalat de diizoheptil (DIHP); DHNUP; ftalat de benzil și butil (BBP); ftalat de bis(2-etilhexil) (DEHP); ftalat de bis(2-metoxietil) (DMEP); ftalat de dibutil (DBP); ftalat de dipentil (DPP), adipat de di-(2-etilhexil) (DEHA),

Continuare Tabelul 4

			diociladipat (DOA), ftalați de dietil (DEP), ftalat de diizobutil (DiBP); fosfat de tris(2-cloroetil) (TCEP); ftalat de dicitlohexil (DCHP), ftalat de butil benzil (BBP), adipat de diheptil (DHA), adipat de heptil (HAD) și adipat de heptil octil (HOA).
	Plastic pe bază de celuloză: celofan, acetat de celuloză, acetat-butirat de celuloză (CAB), nitrat de celuloză, celuloid.	Se utilizează cca 20% din totalul plastifianților produși.	
Ignifuge	HDPE	12-18% din masa polimerului.	Parafine clorurate cu lanț scurt, mediu și lung (SCCP/MCCP/LCCP); acid boric; agenți ignifugi bromurați cu antimoniu (Sb) ca agent sinergic (de exemplu, eteri difenil polibromurați (PBDE); decabromodifeniletan; tetrabromobisfenol A (TBBPA); agent ignifug fosforos (de exemplu, tris(2-cloroetil)fosfat (TCEP) sau tris (2-cloroizopropil)fosfat (TCPP); hexabromociclohexan (HBCDD).
	LDPE	12-18% din masa polimerului.	
	Polipropilenă (PP)	12-18% din masa polimerului.	
Stabilizatori, antioxidanți, stabilizatori UV	HDPE	0,05-3% din masa polimerului.	Bisfenol A (BPA); compuși de cadmiu și plumb; compuși de nonilfenol; octilfenol; 1,3,5-Tris(oxiran-2-ilmetil)-1,3,5-triazinan-2,4,6-trionă (TGIC)/1,3,5-tris[(2S și 2R)-2,3-epoxipropil]-1,3,5-triazin-2,4,6-(1H,3H,5H)-trionă (β-TGIC), hidroxitoluen butilat (BHT), 2- și 3-t-butil-4-hidroxianisol (BHA), tetrakismetilen-(3,5-di-t-butil-4-hidroxihidrocinamat)metan (Irganox 1010) și compuși bisfenolici precum Cyanox 2246 și 425, fosfat de tris-nonilfenil (TNPP), fosfit de tris(2,4-di-tert-butilfenil) (Irgafos 168).
	LDPE	0,05-3% din masa polimerului.	
	PP	0,05-3% din masa polimerului.	
	PVC	0,5-3% din masa polimerului.	
Coloranți	Toate tipurile de plastice	0,001–2,5% - pigmenti organici	Trei categorii principale de pigmenti organici: compuși policiclici; compuși azoici (mono- și di-) și complecși metalici (exemplu -cobalt(II) diacetate). Sulfură de zinc, oxid de zinc, oxid de fier, pe bază de cadmiu-mangan, pe bază de crom, ultramarin și dioxid de titan; pulberi de Al și Cu, carbonat de plumb sau bismutoxiclorură și substanțe cu fluorescență, pentru efecte speciale.
		0,01–10% - pigmenti anorganici	

Plastifianți sunt cei mai larg utilizați aditivi din materiale plastice, care fac polimerii flexibili și facilitează formularea acestora [11,12]. Primii plastifianți utilizați au fost celuloidele obținute din camfor și ulei de ricin, înlocuite ulterior de camfor și uleiul de ricin, ceea ce a condus la utilizarea plastifianților pe bază de esteri ai acidului ftalic [13,14]. Plastifianții sunt amestecați cu polimeri termoplastici pentru a reduce numărul de legături secundare care se pot forma între lanțurile lungi de polimeri, ceea ce facilitează reducerea temperaturii de tranziție vitrosă [15,16]. Însă nefiind fixați prin legături chimice, plastifianții pot părăsi polimerul în timp, un proces care are loc mai rapid la temperaturi mai ridicate și crește fragilitatea plasticului, ceea ce prezintă riscuri enorme pentru mediu și sănătate [17].

Ignifugele sunt materiale adăugate materialelor plastice pentru a le îmbunătăți rezistența la foc. Inflamabilitatea materialelor plastice este reglementată în multe țări din întreaga lume, în special în țările îngrijorate de toxicitatea arderii. Preocupările actuale legate de mediu conduc la respingerea ignifugelor halogenate și înlocuirea acestora cu compuși fosfatici și dioxid de titan [18,19].

Stabilizatorii UV și antioxidanții sunt agenții anti-îmbătrânire, care previn următoarele reacții: dehidroclorarea, atacul oxigenului sau ozonului și degradarea sub influența radiațiilor ultraviolete. Antioxidanții ajută la încetinirea reacțiilor cu radicalii liberi care apar în timpul oxidării sau expunerii la razele UV. Cele mai frecvent utilizate familii de compuși ca antioxidanți includ în principal aminele și fenolii. Aceștia din urmă sunt adesea utilizați deoarece au o tendință mai mică de aderență, cum ar fi benzofenonele și bisfenolii [14].

Pigmenții sunt utilizați pentru colorarea plasticului. Aceștia sunt coloranți insolubili în apă, cu o putere de opacifiere variabilă. Există pigmenți organici și anorganici. Pigmenții organici sunt compuși chimici formați dintr-una sau mai multe structuri benzenice cu transparență înaltă și capacitate de colorare puternică. Se utilizează în special violetul de carbazol, anina, perilena, izoinolinona și ftalocianina albastră și verde. Pigmenții anorganici sunt complecși metalici, cu densitate mai mare. Cel mai frecvent utilizați sunt: dioxidul de titan, sulfura de cadmiu (galben), complecși de cobalt albastru și turcoaz, oxizi de fier roșii și galbeni, negru de fum etc. [12]. Colorantul încorporat în formulările de plastic are un efect semnificativ asupra stabilității materialelor plastice. Spre exemplu, pigmenții de antrachinonă, ftalocianină și dicetopirolopirrol permit luminii UV să degradeze polimerul, promovând formarea de microplastice.

În compoziția materialelor plastice mai intră și **agenții de umplutură**, utilizați în cantități de până la 50% din masa polimerului sunt aditivi solizi încorporați în matricea plasticului pentru a-i crește densitatea. Acestea sunt în principal materiale anorganice care pot fi clasificate în funcție de efectul lor asupra proprietăților mecanice ale plasticului final. Acesta sunt materiale de umplutură inerte, al căror rol este de a reduce costul produsului final prin creșterea masei acestuia - fibre de bumbac, făina de lemn, iar materialele de umplutură de armare (până la 15–30% din masa polimerului) îmbunătățesc proprietățile mecanice ale polimerilor, spre exemplu, negrul de fum. Datorită materialelor de umplutură, polimerii pot concura cu alte materiale precum sticla, ceramica și chiar metalul în majoritatea domeniilor activității umane [13].

O categorie aparte o constituie **stabilizatorii termici**, utilizați în proporție de 0,5–3% din masa polimerului, în principal în PVC. Prezintă compuși de cadmiu, bariu, zinc și plumb; nonilfenol (săruri de bariu și calciu), utilizați în principal în PVC [18]. Agenții de alunecare (0,1–3% din masa polimerului) prezintă amide de acizi grași (erucamidă primară și oleamidă),

esteri de acizi grași, stearați metalici (de exemplu, stearat de zinc) și ceruri. Sunt utilizate în funcție de structura chimică a agentului de alunecare și de tipul de polimer plastic.

Agenti de expandare - azodicarbonamidă, benzen disulfonil hidrazidă (BSH), pentan, CO₂ sunt aplicați în special pentru producerea polistirenului și poliuretanului expandat. Biocidele (0,001–1% din masa polimerului) prezintă compuși de arseniu, compuși organici de staniu; triclosan. PVC și poliuretani expandați sunt principalii consumatori de biocide [19].

4. Mecanisme de migrare a substanțelor chimice din ambalaje de plastic

Substanțele chimice prezente în materialele plastice pot migra lent din interiorul plasticului către suprafață și către mediul care intră în contact cu recipientul. Restricțiile privind cantitatea de aditivi care pot fi adăugați polimerului sunt mai severe atunci când se utilizează materiale plastice ca ambalaje alimentare. Recipientele nealimentare nu au aceleași cerințe ca și recipientele alimentare.

Ambalajele din plastic sunt fie de calitate alimentară, fie nealimentare. Ambalajele de calitate alimentară au specificațiile necesare pentru contactul cu alimentele, spre deosebire de cele nealimentare. Principalele pictograme care autorizează utilizarea materialelor plastice pentru contactul cu alimentele sunt prezentate în Figura 1.



Figura 1. Pictogramele care reflectă siguranța ambalajului din plastic: a) admis pentru contactul cu produsele alimentare; b) siguranță pentru utilizarea în cuptoarele cu microunde; c) siguranța pentru utilizarea în frigidere; d) siguranța pentru utilizarea în mașinile de spălat.

Specificațiile ambalajelor „de calitate alimentară” iau în considerare capacitatea redusă de a elibera 18 poluanți prin teste de siguranță, caracteristicile suprafeței materialului în contact cu alimentele și adecvarea locațiilor și condițiilor de producție, depozitare, transport și distribuție pentru a rezista la impacturi. Utilizarea repetată, de durată sau în condiții neadecvate constituie cauzele migrației nedorite a componentelor din ambalaje și a contaminării produselor alimentare [20]. În general, interacțiunile dintre alimente și ambalaje pot fi împărțite în trei grupe: migrarea, transferul componentelor ambalajului în alimente; sorbția, care este transferul componentelor alimentare către ambalaj și permeația, care este transferul componentelor prin ambalaj în orice direcție [21].

Migrarea este un proces de difuzie supus atât regulilor cinetice, cât și termodinamice. Acest proces este descris de legile lui Fick ale difuziei, în care temperatura joacă un rol deosebit de important prin influențarea atât a ratei de difuzie, cât și a coeficientului de partiție dintre polimer și aliment. Mecanismele de migrare a diferiților aditivi și toxicitatea asociată sunt prezentate în Tabelul 5 [7,22].

Mecanismele de migrare sunt extrem de variate, în funcție de natura polimerului, tipul monomerilor, a aditivilor, de natura produsului, condițiile de utilizare, suprafața de contact, etc [22]. Temperaturile ridicate pot accelera procesul de migrare, deci ambalajele alimentare trebuie să fie proiectate pentru a rezista la temperaturile întâlnite în timpul depozitării, transportului și utilizării, durata de contact - perioada de contact dintre ambalaj și aliment

poate influența migrarea, iar contactul prelungit crește probabilitatea ca substanțele să pătrundă în alimente; compoziția alimentelor - anumite tipuri de alimente sunt mai susceptibile să interacționeze cu materialele de ambalare și să faciliteze migrarea [23]. Pentru a atenua riscurile de migrare, este recomandată utilizarea acoperirilor de barieră, selectarea materialelor de ambalare adecvate, optimizarea condițiilor de depozitare și efectuarea testelor de migrare pentru a asigura conformitatea cu reglementările.

Tabelul 5

Mecanisme de migrare a diferiților aditivi din ambalaje polimerice și toxicitatea asociată

Aditivi	Compus chimic	Aplicații	Mecanism de migrație	Toxicitate asociată
Plastifianți	Ftalați și esteri ai acidului adipic.	Polimeri pentru închidere capace, garnituri de etanșare pentru containere alimentare, PVC.	Masă moleculară mică facilitează migrarea din ambalaj alimente.	Ftalații sunt toxici, cauzează dezechilibre hormonale, risc crescut de cancer, toxicitate reproductivă și de dezvoltare.
Aditivi de alunecare	Amide de acizi grași – palmitamidă, stearamidă, oleamidă, erucamidă.	Poliiolefine, polistiren, PVC (pentru proprietăți de lubrifiere).	Migrarea din filmele de ambalaj lipidele alimentare cauzează rănecizire și mirosuri neplăcute.	Schimbări în gust, miros și textură, dar efectul este minim și acceptabil.
Stabilizatori la lumină	Amine polimerice steric blocat.	Creșterea rezistenței intemperii.	la dimensiunea moleculară, polaritatea, permeabilitatea și solubilitatea influențează rata de migrare.	Pot provoca sensibilitate cutanată sau alergii la contact direct.
Antioxidanți	Tocoferoli, tocoferoli, ascorbat, vitamina A, carotenoizi, seleniu, fitocompuși, BHT, BHA.	Ambalaje active pentru reducerea riscurilor legate de aditivi și conservanți.	Cantități excesive degradează rapid reducerea compușilor activi disponibili pentru protecția alimentelor.	Doze excesive cauzează greață, diaree, tulburări gastrointestinale, risc de pietre la rinichi, cancer pulmonar, căderea părului, deficiențe nutriționale.
Cerneluri și adezivi	Hidrocarburi, alcooli, eteri glicolici, cetone, esteri.	Forme de soluții/dispersii în solvenți pentru imprimare.	Substanțele organice pot migra direct sau prin spațiul liber din interiorul ambalajului.	Pot cauza iritații cutanate/oculare, probleme respiratorii și tulburări neurologice.

Continuare Tabelul 5

Monomeri și oligomeri	Stiren, izocianați, clorură de vinil, acrilonitril, PET, (caprolactam/poliamide).	Cartoane lactate, tăvi carne, ambalaje ouă; poliuretani și adevizi; PVC; fibre sintetice, rășini, cauciucuri; PET; nylon pentru procesare termică.	Migrare prin degradare, temperaturi înalte, stocare îndelungată; catalizatori reziduali (Sb ₂ O ₃) pot migra.	Iritații cutanate, oculare, respiratorii, depresia sistemului nervos central (SNC), risc crescut de cancer.
Acoperiri	Rășini epoxidice – diglicidil eteri de bisfenol A (BADGE).	Acoperiri interne pentru conserve, rășini epoxidice.	Migrarea grupărilor epoxidice nerealizate, accentuată de degradarea UV.	Dereglări hepatice, hematopoietice, oboseală, dureri gastrice.
Hârtie	Dioxine, benzofenonă, nitrozamine, clorofenoli și cloroanizoli.	Ambalaje din hârtie; foto-inițiator pentru cerneluri; hârtie și containere cerate; fungicide, biocide, erbicide.	Migrare influențată de conținutul de grăsimi, pH, temperatură, timp de contact și reciclare.	Carcinogenic, boli cardiovasculare, endocrine, tulburări de dezvoltare în sarcină, hipercolesterolemie, leziuni necrotice.
Alți contaminanți	Difeniltiouree, peroxid de hidrogen, lubrifianți.	Stabilizatori termici, genți de procesare, miros străin în conserve.	Contaminare accidentală prin practici incorecte de procesare.	Expunerea cronică conduce la afectarea SNC, rinichilor și sistemului reproducător.

Polistirenul (PS) este utilizat pe scară largă în diverse forme pentru ambalarea multor produse alimentare, cum ar fi carnea, lactatele și produsele de panificație. Există o potențială migrare a monomerului de stiren din ambalajele PS în alimentele care intră în contact cu acestea (farfurii, cești, recipient pentru carne). Astfel de caracteristici ale alimentelor, precum conținutul de grăsimi, pH, condițiile de păstrare și vehiculare pot afecta semnificativ migrarea stirenului. Migrarea stirenului în alimente poate afecta proprietățile senzoriale, precum și cauza probleme de sănătate. În unele cazuri, prezența stirenului în alimente poate cauza probleme cancerigene, hematologice, citogenetice și neurotoxice [24]. PS a cauzat o migrare rapidă în uleiul de măsline [25], în lapte, iaurt, înghețată [26], sucuri, băuturi răcoritoare [27].

Polietilen tereftalatul (PET) prezintă rate de migrare scăzute în condiții tipice de utilizare, dar nivelurile de migrare cresc odată cu temperaturile mai ridicate, depozitarea prelungită și expunerea la lumina soarelui [28]. Migranții cheie includ monomeri reziduali (acidul tereftalic și etilen glicolul), oligomerii și reziduurile de catalizator (antimoniul) etc [29]. Alimentele și băuturile cu conținut ridicat de grăsimi prezintă un potențial mai mare de migrare. Condițiile de procesare, în special în cazul PET-ului reciclat (rPET), pot influența, de asemenea, semnificativ cantitatea și tipurile de substanțe care migrează din ambalajele PET. Spre exemplu, acetaldehida, care poate fi periculoasă pentru consumatori, a fost găsită atât

în soluție de acid acetic apos 3%, cât și în uleiul de măsline, după 10 minute de încălzire la microunde în PET.

O analiza sistematică a publicațiilor (91 de studii) privind migrarea componentelor din sticle de polietilen tereftalat în diferite medii alimentare a arătat, că din 193 de substanțe chimice investigate, 150 au fost detectate în băuturi: apă, sucuri, suc, lapte etc [30]. Nivelurile de migrare variază în funcție de durata de depozitare, numărul de reutilizări și conținut. Dintre cele 150 de substanțe chimice găsite în băuturi, 18 au avut niveluri care depășesc limitele de reglementare ale UE, inclusiv reziduuri de ftalați și nichel, în special în alimente grase sau simulanți alimentari. Doar 41 din cele 150 de substanțe chimice detectate sunt incluse în regulamentul UE privind „lista pozitivă” a materialelor din plastic MCA. Unele dintre substanțele chimice care migrează din PET prezintă substanțe adăugate neintenționat, contaminanți suplimentari care intră în plastic în timpul procesului de reciclare [31].

Plasifianții au fost detectați frecvent în băuturi și produse alimentare [32]. Deoarece ftalații nu sunt legați chimic de plastic, aceștia pot migra în apă sau alimente în timp atunci când intră în contact cu recipientul de plastic. Analiza reziduurilor de ftalați din băuturile răcoritoare depozitate în sticle de PET arată că valorile medii cuantificate ale ftalaților pot ajunge la 542,6 $\mu\text{g/L}$. După depozitarea în aer liber timp de patru luni, migrarea, în special pentru ftalatul de dibutil (DBP) și ftalatul de di[2-etilhexil] (DEHP), a crescut de până la 24 de ori [33]. Astfel, siguranța și calitatea băuturilor răcoritoare carbogazoase au fost serios compromise de compușii ftalați din sticlele PET. Condițiile și timpul de depozitare sunt stabilite ca fiind principalele cauze ale migrării ftalaților în băuturile răcoritoare carbogazoase îmbuteliate [34].

În Figura 2 este prezentat diapazonul reziduurilor de ftalați depistați în diferite categorii de alimente și băuturi.

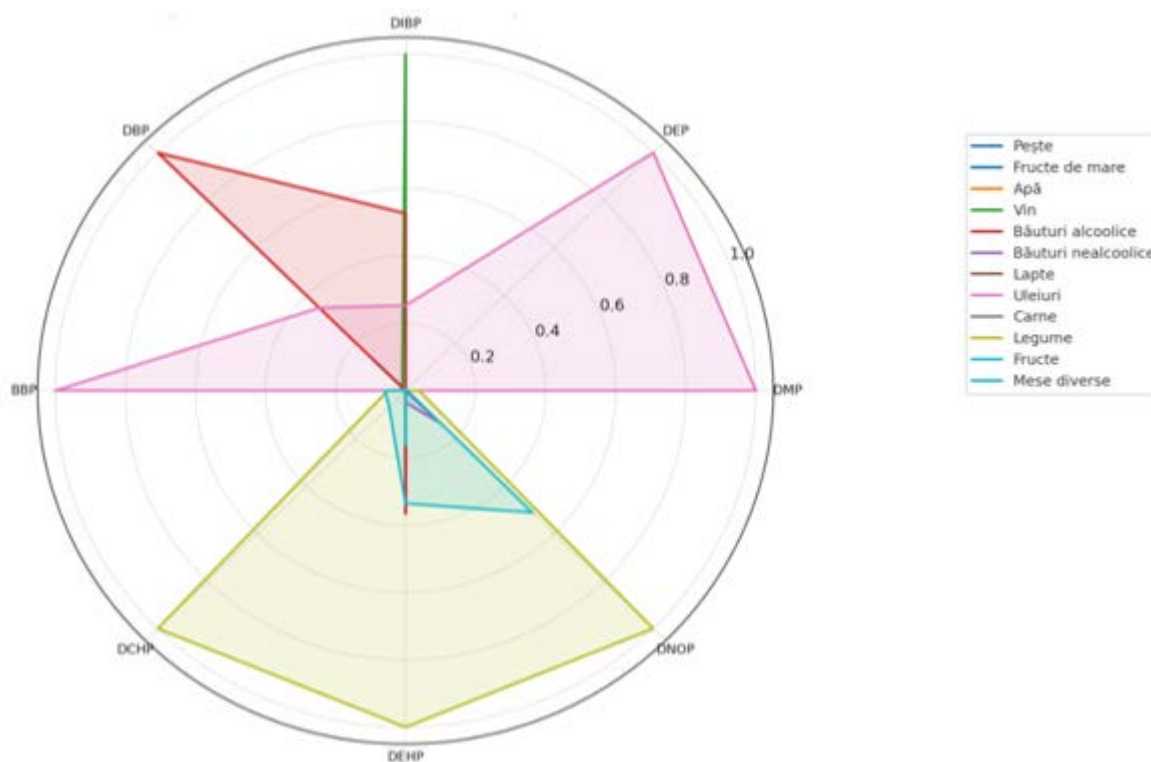


Figura 2. Contaminarea diferitor categorii de produse alimentare cu reziduuri de ftalați - analiză comparativă, conform [32-40].

O contaminare majoră este atestată în cazul uleiurilor, migranții principali fiind di(2-etilhexil) ftalat (DEHP), ftalat de dicitlohexil (DCHP) și ftalat de di-n-octil (DNOP), urmată de băuturile nealcoolice, vinuri și băuturi alcoolice. Autorii unui studiu recent [35] au analizat conținutul reziduurilor de ftalați (ftalat de dimetil, ftalat de dietil, ftalat de diizobutil, ftalat de dibutil, ftalat de bis(2-etilhexil), ftalat de di-n-octil) și de BPA în berea ambalată în sticle PET și depozitată la două temperaturi (4 °C și 20 °C) timp de patru luni. Datele obținute arată că berea ambalată în sticle PET poate conține cantități semnificative de BPA și că concentrația acestora crește odată cu timpul de depozitare. În probe s-au identificat și ftalați, cea mai mare concentrație de ftalat de bis(2-etilhexil) fiind găsită în proba păstrată la 20 °C după 1 lună de depozitare, concentrație a fost de 164,814 μg/L. BPA a fost înregistrat cu cea mai mare concentrație în proba depozitată timp de 4 luni la o temperatură de 20 °C.

În ceea ce privește analiza ftalaților din vinuri, numeroase studii arată, că majoritatea vinurilor îmbuteliate conțin cantități variabile [36-42]. Nivelurile mediane de ftalați din vinurile comerciale (0,385 μg/mL) au fost mai mari decât cele din vinurile neîmbuteliate (0,204 μg/mL) [36]. Rezultatele studiului [37] denotă prezența DBP în 85% din probele de vinuri studiate, adică un conținut de DBP mai mare decât limita de cuantificare (0,01 μg/mL). S-a stabilit că contaminarea cu ftalați are un caracter tehnogen și este rezultatul contactului cu materiale polimerice. DBP, DEHP și BBP au fost compușii cel mai frecvent detectați în vinurile franceze analizate [43]. În timp ce doar 15% dintre probele examinate conțineau concentrații cuantificabile de DEHP și BBP, 59% dintre vinuri conțineau cantități semnificative de DBP, cu o valoare mediană de până la 0,0587 μg/mL. Doar 17% dintre probe nu conțineau nicio cantitate detectabilă din cel puțin unul dintre ftalați, iar 19% conțineau doar urme necuantificabile.

Acoperirile cu rășină epoxidică utilizate în vinării au reprezentat principala sursă de contaminare [44]. Evaluarea analitică a reziduurilor de ftalați din resursele de apă în scopuri industriale, soluri și materii prime vegetale a arătat că există poluare, în special pe terenurile agricole [45,46]. În timpul tratării apei potabile, contaminarea cu ftalați apare din cauza contactului cu diverse materiale plastice, cauciuc, materiale de umplură etc. Principalii contaminanți din grupa ftalaților sunt DEHP și DBP. În cazul materiilor prime vegetale, contaminarea cu ftalați apare predominant la suprafața fructelor, mai degrabă decât în vrac. Acest lucru sugerează că contaminarea poate fi asociată cu operațiuni agricole și/sau poluarea aerului (precipitații). Studiile efectuate pentru a determina rata de migrare a ftalaților din acoperirile polimerice, PVC și obiectele din cauciuc în soluții model care simulează medii alimentare au arătat că acestea își păstrează capacitatea de a elibera ftalați chiar și după o utilizare prelungită. Rata de migrare a ftalaților din materialele plastice depinde de compoziția chimică a mediului de extracție. Mediile cu polaritate ridicată sunt cele mai contaminate, în special atunci când sunt implicați factori termici.

Probele de apă potabilă conțin mai puțini ftalați decât vinurile [47]. Conținutul de ftalați din apa îmbuteliată, provenit în principal din sticlele de plastic PET, variază de la <0,026 μg/L la peste 279 μg/L în funcție de marcă, timpul de depozitare și temperatură [48-50]. Creșterea temperaturii și a timpului de depozitare conduc la o migrare mai mare a ftalaților din plastic în apă. Deși concentrațiile sunt în general mai scăzute decât în alte tipuri de băuturi, sunt mai mari în apa îmbuteliată decât în apa de la robinet [49]. Totuși există o diferență semnificativă între nivelurile de reziduuri de ftalați din apa depozitată în PET, policarbonat și sticlă. Ftalații precum DEHP și DBP au fost detectați în cantități de aproximativ 0,104 μg/L și, respectiv, 0,082 μg/L. S-a constatat, că contaminarea din producție, nu

migrarea, a fost cauza concentrațiilor mari de ftalați în sticlele de polycarbonat [50]. Reutilizarea sticlelor de apă din materiale plastice crește riscul ca suprafața interioară să se deterioreze și să elibereze mai mulți ftalați, ceea ce ridică îngrijorări cu privire la siguranța apei potabile din sticle de plastic.

DEP, DEHP, DBP și BBP sunt principalii ftalați detectabili în apa potabilă. Conform rezultatelor unui studiu recent [46], temperatura de păstrare, iluminarea și tipul de ambalaj sunt responsabile de nivelul de ftalați din apa potabilă. Gradul de uzură al sticlei contribuie esențial la creșterea numărului de ftalați detectați în apa îmbuteliată; potențialul de migrare a esterului ftalat în apă crește odată cu grosimea sticlei. S-a considerat că există mai multe motive ale migrării materialelor potențial dăunătoare în apa îmbuteliată: deplasarea internă a componentelor din recipiente; contaminarea în timpul îmbutelierii în fabricile care utilizează tuburi de plastic, poluarea accidentală din cauza utilizării frecvente a uneltelor din plastic, dar și datorită omniprezenței și ecotoxicității ftalaților [47]. Se recomandă ca apa îmbuteliată să fie depozitată corespunzător, cu o expunere minimă la lumina soarelui și fără expunere la căldură [48-49].

BP sunt utilizați pe scară largă ca monomeri în producția de materiale plastice din polycarbonat și rășini epoxidice, care sunt comune în ambalajele alimentare, acoperiri și adezivi. Conform unui studiu recent [51], prezența BP a fost atestată în diverse produse alimentare (Figura 3).

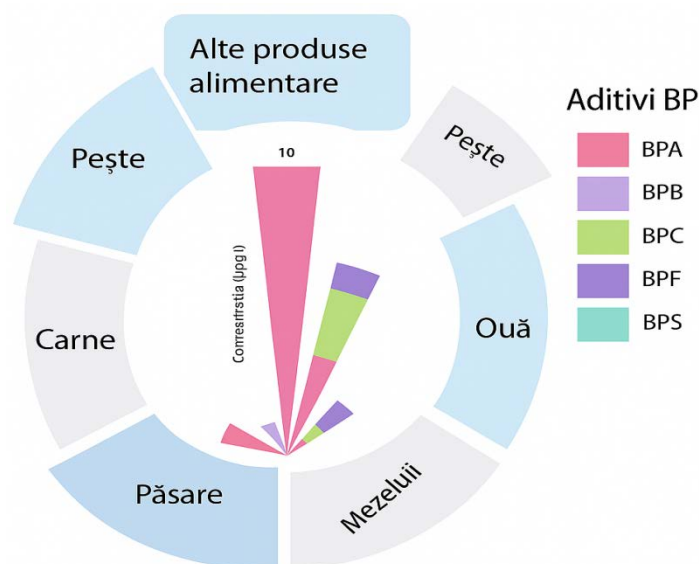


Figura 3. Distribuția bisfenolilor în diferite categorii de alimente [52]:

BPA - 4,4'-dihidroxi-2,2-difenilpropan; BPB - 4-[2-(4-hidroxifenil)butan-2-il]fenol; BPC - 2,2-bis(3-metil-4-hidroxifenil)propan; BPF - 4,4'-metilendifenol; BPS - 4,4'-(propan-2,2-diil)difenol; BPAF - 4,4'-[2,2,2-trifluoro-1-(trifluorometil)etiliden]difenol.

BP au fost detectați în diverse produse marine, inclusiv pește proaspăt, crustacee și conserve. BPA, BPF și BPS au fost găsite în 96,2%, 46,2% și, respectiv, 42,3% din probele de fructe de mare conservate analizate (n = 26), cu o concentrație totală medie de BP de 46,72 ng/g [53]. Alți autori au raportat concentrații de 50,9 ng/g [54], 109,43 ng/g [55] și 168 ng/g [56] în probele de pește, creveți și calmar colectate din supermarketuri. BPA și BPS au fost găsite atât în compozitele de pește ambalate, cât și în cele neambalate, BPS fiind prezent în 50% din probele ambalate și 24% din cele neambalate [57].

BP au fost detectați într-o gamă largă de produse din carne, inclusiv carne proaspătă, carne de pasăre, mezeluri și conserve, cu concentrații cuprinse între 2,7 și 12,22 ng/g [58]. BPS a fost găsit în 50% din probele de piept de pui la niveluri de până la 18,7 ng/g [59]. În China, BPA, BPF și BPS au fost identificate în produse din carne conservate, concentrațiile totale de BP ajungând la 43,1 ng/g și BPA, prezent în toate probele la o medie de 77 ng/g [60].

Studiul efectuat asupra conservelor de carne din Portugalia, Spania și Franța a arătat concentrații medii de 49,22 ng/g (BPA), 19,34 ng/g (BPB), 15,05 ng/g (BPF) și 10,83 ng/g (BPAF) [61]. În Africa de Sud, BPA a fost detectat în probele de carne de vită conservată în saramură, cu concentrații de până la 191 ng/g [62]. BP au fost detectați în produse lactate, cu o medie de 22,49 ng/g în lapte [63], iaurt (10,29 ng/g) și brânză (0,35 ng/g) [64], în principal BPA, BPB și BPF, proveniți din ambalajele de plastic. În ouă, reziduuri de BP au fost identificate cu o concentrație medie de 1,98 ng/g, posibil din cauza expunerii prin furaje sau materiale de ambalare contaminate [60]. BP au fost detectați în uleiuri, cu o medie de 7,86 ng/g și alte categorii de alimente - supe, jeleuri, gemuri, sirop de clătite și pudră de cremă de vanilie, ambalate în recipiente de plastic, BPA fiind identificat în concentrații de până la 25,67 ng/g. În alimentele pentru bebeluși s-au găsit BP la 25,88 ng/g, BPS fiind compusul dominant [61]. În cereale, fructe și legume, au fost raportate concentrații medii de 0,034 ng/g s.u., 0,028 ng/g s.u. și 0,023 ng/g s.u. respectiv [62].

BPA a fost detectat în băuturi răcoritoare și sucuri de fructe, ceea ce reflectă prezența lor pe scară largă [63-65]. În Italia, BPA a fost găsit în 57% din băuturi răcoritoare și 50% din băuturi necarbogazoase consumate de copii, cu o concentrație medie de 2,12 μg/L, acest lucru fiind atribuit rășinilor epoxidice utilizate ca acoperiri interne în ambalaje [64]. În Malaezia, BPA a fost poluantul predominant în băuturi, cu o concentrație medie de 2,46 μg/L [65].

Aditivii plastici prezenți în materialele de ambalare pot migra în alimente în timpul tratamentelor termice (de exemplu, cuptorul cu microunde, încălzirea convențională) și al depozitării. Acest fenomen depinde în primul rând de natura chimică a alimentului (apoasă, acidă, alcoolică sau grasă), de durata și temperatura contactului, precum și de structura chimică a polimerului utilizat [66]. Procesul de migrare a aditivilor din materialul de ambalare pentru microunde în alimente poate fi separat în trei stări: difuzie în polimer, dizolvare la interfața polimer-aliment și dispersie în alimente în vrac. Difuzia este transferul de masă datorat mișcării aleatorii a moleculelor din regiunile cu concentrație mai mare către regiunile cu concentrație mai mică [66]. Cu toate acestea, rata de difuzie depinde doar de factorul termic și nu este afectată de concentrație. Spre exemplu, când se introduc alimente congelate în cuptorul cu microunde, activitatea structurilor moleculare macroscopice din interiorul plasticului începe să crească din ce în ce mai mult; cu cât temperatura de încălzire este mai mare, cu atât flexibilitatea moleculelor de polimer este mai mare și, prin urmare, ratele de migrare sunt mai mari.

Toate materialele plastice utilizate în ambalajele alimentare sunt transparente pentru microunde. Cele mai comune materiale plastice utilizate în ambalajele pentru microunde sunt PP sau PET, datorită punctului lor de topire ridicat. Autorii [68] au stabilit, că pe măsură ce timpul de încălzire la microunde crește, acetaldehida s-a format atât în soluție apoasă de acid acetic (3%), cât și în ulei de măsline. În acest caz, chiar deși PET este admis de reglementări, aceste recipiente PET pentru microunde ar putea conduce la niveluri critice odată cu creșterea temperaturii, în special când alimentul are un conținut ridicat de acid sau grăsime [69].

Pentru a evalua și gestiona aceste riscuri, se efectuează în mod curent teste de reglementare care utilizează simulanți alimentari standardizați (cum ar fi etanolul sau acidul

acetic) [70]. Aceste teste vizează stabilirea unor limite specifice de migrare pentru fiecare compus chimic potențial migrator, asigurând astfel conformitatea cu standardele de siguranță stabilite de autoritățile de reglementare. Deși Comisia Europeană a definit limitele de migrare specifice, concentrațiile maxime admise de substanțe pe care materialele plastice le pot elibera în alimente, doar pentru opt dintre cei cincizeci și doi de aditivi analizați sunt reglementați [71]. În prezent, compararea concentrațiilor de aditivi a fost extinsă pentru a include toate studiile relevante, nu doar pe cele care implică alimente ambalate [72].

Concluzii

Având în vedere numeroasele avantaje și proprietățile structurale unice ale plasticului, eliminarea completă a acestuia din viața de zi cu zi este nerealistă. Cu toate acestea, utilizarea greșită a plasticului de către consumatori poate crește semnificativ riscurile potențiale pentru sănătate.

În ciuda progreselor în înțelegerea contaminării cu aditivi din plastic, persistă lacune semnificative, în special în mecanismele care guvernează migrarea acestora de la ambalaje la alimente în condiții realiste. Natura multifactorială a migrării împiedică prezicerea precisă a comportamentului aditivilor și a expunerii consumatorilor. În plus, datele privind aditivii emergenți și recent introduși rămân limitate. Peste 1800 de substanțe au fost identificate ca potențiali migranți din materialele care intră în contact cu alimentele. Multe dintre acestea nu sunt încă listate ca aditivi autorizați și rămân slab caracterizate atât în ceea ce privește comportamentul lor migrator, cât și efectele toxicologice.

Cadrele de reglementare prezintă, de asemenea, limitări. Reglementările actuale evaluează în mare măsură substanțele individuale. De asemenea, acestea rareori iau în considerare efectele amestecurilor, în ciuda dovezilor tot mai mari că expunerile combinate la mai mulți aditivi pot duce la efecte toxice aditive sau sinergice - un fenomen cunoscut sub numele de „*cocktail effects*”.

Provocările analitice complică și mai mult peisajul. Metodele convenționale, cum ar fi cromatografia cuplată cu spectrometria de masă, sunt concepute în principal pentru analize specifice și pot trece cu vederea contaminanți necunoscuți sau nespecificați. Testele de migrare sunt efectuate în condiții de laborator standardizate, utilizând simulanți alimentari, care pot să nu reflecte cu exactitate scenariile de utilizare din viața reală, putând duce la subestimări sau supraestimări ale expunerii.

Care ar fi soluțiile pentru diminuarea impactului migrator al contaminanților din ambalaje de plastic? Cele mai eficiente măsuri combinate sunt: selectarea materialelor și formulărilor sigure, bariere fizice/coatinguri, reducerea temperaturii/timpului de expunere, control analitic strict și politici care limitează substanțele cu risc.

Procesatorii de alimente ar trebui să selecteze ambalajele cu risc scăzut de migrație pentru tipul de produs, să evite utilizarea plastifiantilor agresivi, inclusiv folosind straturi-barieră, de exemplu, bariere siliconice sau pelicule comestibile/biopolimeri pentru reducerea migrației. Evitarea concentrațiilor mari de aditivi „funcționali” (antioxidanți, plastifianți, stabilizanți); utilizarea formulărilor în care substanțele active sunt fixate, pentru a limita eliberarea. Encapsulările (ciclodextrine, liposomi) reduc migrația pentru agenți activi. Proiectarea ambalajelor în funcție de condițiile reale, limitarea reutilizării ambalajelor de unică folosință pentru încălzire, deoarece la încălzirea în microunde se atestă o migrație accelerată.

Consumatorii ar trebui să evite încălzirea alimentelor direct în recipiente din plastic, mai ales alimentele grase, în favoarea vaselor de sticlă sau ceramică. Alimentele trebuie păstrate la temperaturi recomandate, fără a prelungi timpul de contact înainte de consum, deoarece temperaturile ridicate și timpul de păstrare prelungit cresc migrația. În general, trebuie citit cu atenție simbolurile și de urmat instrucțiunile producătorului.

Deoarece rămân încă o serie de incertitudini: multe substanțe detectate în biomonitoring nu au un profil toxicologic complet; efectele expunerii la amestecuri de migrați (*cocktail effects*) sunt insuficient cunoscute; există lacune în regimul testelor pentru materiale reciclate și pentru substanțele adăugate neintenționat, există o serie de priorități pentru asigurarea inofensivității ambalajelor din plastic: testarea compușilor cunoscuți și screening non-target a produselor alimentare în programele de control alimentar; aplicarea unor reguli stricte pentru utilizarea materialelor reciclate în ambalaje alimentare, asigurarea trasabilității ambalajelor; informarea publică privind evitarea încălzirii în plastic, preferința pentru recipiente adecvate, etc. Deoarece biopolimerii și filmele comestibile sunt promițătoare, dar au limitări (performanța de barieră, stabilitate, posibile riscuri chimice proprii etc.), evaluarea riscului pentru acestea trebuie făcută la fel de riguros ca pentru recipientele din plastic fără acoperiri.

Direcțiile de cercetare ar trebui să includă prioritar biomonitoringul extins, deoarece studii recente arată prezența a mii de substanțe provenite din ambalaje plastice în probe umane (bisfenoli, ftalați), ceea ce indică, că reglementările trebuie adaptate la expuneri reale. Pentru identificarea substanțelor adăugate neintenționat și a efectelor combinatorii a migrației este necesară adaptarea metode analitice non-target și modele toxicologice noi, pentru a nu pierde contaminanți relevanți.

Acknowledgments: Această lucrare a fost susținută printr-un grant de la ANCD, proiect numărul 25.80012.5107.19SE Evaluarea riscurilor asociate migrației unor componente potențial toxice din ambalaje alimentare din plastic pe piața Republicii Moldova, realizat în cadrul UTM.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest

References

1. Pascall, M.A.; DeAngelo, K.; Richards, J.; Arensberg, M.B. Role and Importance of Functional Food Packaging in Specialized Products for Vulnerable Populations: Implications for Innovation and Policy Development for Sustainability. *Foods* 2022, 11, 3043.
2. Maddela, N.R.; Kakarla, D.; Venkateswarlu, K.; Megharaj, M. Additives of plastics: Entry into the environment and potential risks to human and ecological health. *J. Environ. Manag.* 2023, 348, 119364.
3. Ashrafy, A.; Liza, A.A.; Islam, M.N.; Billah, M.M.; Arafat, S.T.; Rahman, M.M.; Rahman, S.M. Microplastics pollution: A brief review of its source and abundance in different aquatic ecosystems. *J. Hazard. Mater. Adv.* 2023, 9, 100215.
4. Tajeddin, B.; Arabkhedri, M. Polymers and food packaging. In: *Polymer Science and Innovative Applications*; Al Maadeed, M.A.A.; Ponnamma, D.; Carignano, M.A., Eds.; Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2020, pp. 525–543.
5. Ramanayaka, S.; Zhang, H.; Semple, K.T. Environmental fate of microplastics and common polymer additives in non-biodegradable plastic mulch applied agricultural soils. *Environ. Pollut.* 2024, 363, 125249.
6. Amirullah, N.; Samsudin, M.; Norrrahim, M.; Ilyas, R.; Nurazzi, N.; Jenol, M.; Hawanis, H.; Gunny, A. Regulations for food packaging materials. *Phys. Sci. Rev.* 2024, 9, pp. 2711–2735.
7. Gupta, R.K.; Pipliya, S.; Karunanithi, S.; Eswaran, U.G.M.; Kumar, S.; Mandliya, S.; Srivastav, P.P.; Suthar, T.; Shaikh, A.M.; Harsányi, E.; et al. Migration of chemical compounds from packaging materials into packaged foods: Interaction, mechanism, assessment and regulations. *Foods* 2024, 13, 3125.

8. Sturza, R.; Lazacovich, D. Monitoring the overall phthalate burden—A public health problem. *RIVEMed* 2017, 2, pp. 73–86.
9. Sturza, R.; Melenciuc, M.; Nistor, D.; Boudissa, F.; Terkani, T.; Abdelkader, N.-H.H.; Abdelkrim, A. Recyclable porous materials for the uptake of Bisphenol A. *Food Environ. Saf.* 2017, 16(4), pp. 282–286.
10. Davoodi, S.; Al-Shargabi, M.; Wood, D.A.; Rukavishnikov, V.S.; Minaev, K.M. Synthetic polymers: A review of applications in drilling fluids. *Petroleum Sci.* 2024, 21(1), pp. 475–518.
11. Depczynska, E.; Burawska, I. Overview and evaluation of chemicals and methods for flame retardancy in glued laminated wood systems. *Polymers* 2025, 17, 1459.
12. Key, S.; Ryan, P.G.; Gabbott, S.E.; Allen, J.; Abbott, A.P. Influence of colourants on environmental degradation of plastic litter. *Environ. Pollut.* 2024, 347, 123701.
13. Mazitova, A.K.; Zaripov, I.I.; Aminova, G.K.; Ovod, M.V.; Suntsova, N.L. Fillers for polymer composite materials. *Nanotechnol. Constr.* 2022, 14(4), pp. 294–299.
14. Andrady, A.L.; Heikkilä, A.M.; Pandey, K.K.; Bruckman, L.S.; White, C.C.; Zhu, M.; Zhu, L. Effects of UV radiation on natural and synthetic materials. *Photochem. Photobiol. Sci.* 2023, 22(5), pp. 1177–1202.
15. Stanciu, I. A review: Other types of esters used as plasticizers. *Int. J. Chem. Stud.* 2025, 13(1), pp. 46–47.
16. Huang, L.; Zhu, X.; Zhou, S.; Cheng, Z.; Shi, K.; Zhang, C.; Shao, H. Phthalic acid esters: Natural sources and biological activities. *Toxins* 2021, 13(7), 495.
17. Giuliani, A.; Zuccarini, M.; Cichelli, A.; Khan, H.; Reale, M. Critical review on the presence of phthalates in food and evidence of their biological impact. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 5655.
18. Hahladakis, J.N.; Velis, C.A.; Weber, R.; Iacovidou, E.; Purnell, P. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *J. Hazard. Mater.* 2018, 344, pp. 179–199.
19. Lau, O.-W.; Wong, S.-K. Contamination in food from packaging material. *J. Chromatogr. A* 2000, 882(1–2), pp. 255–270.
20. Farrell, R.; Cortese, Y.J.; Devine, D.; Pezzoli, R. The function and properties of common food packaging materials and their suitability for reusable packaging: The transition from a linear to circular economy. *Curr. Res. Green Sustain. Chem.* 2024, 9(21), 100429.
21. Senthilkumar, P.; Barani Kumar, S.K.; Aishwarya, V.; Rahul Jacob Michael, R.J.; Nivethitha, B.; Sanjay Sharan Nallamuthu, S.S.; Kokila, S.; Shanmugam, V.; Naveen Kumar, R.J.; Gayathri Devi Selvaraju, G.D.; Rajendran K. Selvakesavan, R.K.S.; Jintae, L.; Devaraj, B. Nanoplastics in heat-sensitive food packaging: A review of migration, detection, health, and environmental impacts. *Food Control* 2025, 169, 111002.
22. Sanches-Silva, A.; Cruz Freire, J.M.; Sendón, R.; Paseiro Losada, P. Time–temperature study of the kinetics of migration of DPBD from plastics into chocolate, chocolate spread and margarine. *Food Res. Int.* 2007, 40, pp. 679–686.
23. Duncan, B.; Urquhart, J.; Roberts, S. Review of Measurement and Modelling of Permeation and Diffusion in Polymers. NPL REPORT DEPC MPR 012, January 2005. Available online: https://eprintspublications.npl.co.uk/3221/1/DEPC_MPR12.pdf (accessed on 29 August 2025).
24. Pilevar, Z.; Bahrami, A.; Beikzadeh, S.; Hosseini, H.; Jafari, S.M. Migration of styrene monomer from polystyrene packaging materials into foods: Characterization and safety evaluation. *Trends Food Sci. Technol.* 2019, 91, pp. 248–261.
25. Cai, R.; Nthoiwa, K.K.M.; Ge, C. Effect of microwave heating on the migration of additives from PS, PP and PET containers into food simulants. *J. Appl. Packag. Res.* 2014, 6, pp. 1–14.
26. Guazzotti, V.; Hendrich, V.; Gruner, A.; Fiedler, D.; Störmer, A.; Welle, F. Migration of Styrene in Yogurt and Dairy Products Packaged in Polystyrene: Results from Market Samples. *Foods* 2022, 11, 2689.
27. Vallejos, S.; Trigo-López, M.; Arnaiz, A.; Miguel, Á.; Muñoz, A.; Mendía, A.; García, J.M. From Classical to Advanced Use of Polymers in Food and Beverage Applications. *Polymers* 2022, 14, 4954.
28. Takahashi, N.; Miyanishi, Y.; Kato, R.; Amimoto, T.; Iwamoto, Y.; Takeda, K. Migration of terephthalate from scraps of poly(ethylene terephthalate) (PET) in water and artificial seawater. *Sci. Total Environ.* 2022, 838, 156053.
29. Mousavi Khaneghah, A.; Limbo, S.; Shoeibi, S.; Mazinani, S. HPLC Study of Migration of Terephthalic Acid and Isophthalic Acid from PET Bottles into Edible Oils. *J. Sci. Food Agric.* 2014, 94, pp. 1552–1558.
30. Gerassimidou, S.; et al. Unpacking the complexity of the PET drink bottles value chain: A chemicals perspective. *J. Hazard. Mater.* 2022, 412, 128410.

31. Hazira, A.R.; Ungku Zainal Abidin, U.F.; Selamat, J.; Syaliza, O.; Maimunah, S. Effect of contact time on the level of phthalates in polyethylene terephthalate-bottled water from the point of sale. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 2021, 44, pp. 389–400.
32. Arrigo, F.; Impellitteri, F.; Piccione, G.; Faggio, C. Phthalates and their effects on human health: Focus on erythrocytes and the reproductive system. *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.* 2023, 270, 109645.
33. Yousefi, Z.; Ala, A.; Babanezhad, E.; Mohammadpour, R.A. Evaluation of exposure to phthalate esters through the use of various brands of drinking water bottled in polyethylene terephthalate (PET) containers under different storage conditions. *Environ. Health Eng. Manag. J.* 2019, 6, pp. 247–255.
34. Gambino, I.; Bagordo, F.; Grassi, T.; Panico, A.; De Donno, A. Occurrence of microplastics in tap and bottled water: Current knowledge. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 5283.
35. Mastanjević, K.; Kartalović, B.; Kovačević, D.; Krstanović, V.; Habschied, K. Migration of phthalates and bisphenol A from polyethylene terephthalate bottles into beer during storage at controlled temperatures. *Foods* 2025, 14, 2689.
36. Iannone, A.; Di Fiore, C.; Carriera, F.; Avino, P.; Stillittano, V. Phthalates: The main issue in quality control in the beverage industry. *Separations* 2024, 11, 133.
37. He, N.X.; Bayen, S. An overview of chemical contaminants and other undesirable chemicals in alcoholic beverages and strategies for analysis. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2020, 19, pp. 3916–3950.
38. Cinelli, G.; Avino, P.; Notardonato, I.; Centola, A.; Russo, M.V. Rapid analysis of six phthalate esters in wine by ultrasound-vortex-assisted dispersive liquid–liquid micro-extraction coupled with gas chromatography–flame ionization detector or gas chromatography–ion trap mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta* 2013, 769, pp. 72–78.
39. Montevecchi, G.; Masino, F.; Di Pascale, N.; Vasile, S.G.; Antonelli, A. Study of the repartition of phthalate esters during distillation of wine for spirit production. *Food Chem.* 2017, 237, pp. 46–52.
40. Carrillo, J.D.; Salazar, C.; Moreta, C.; Tena, M.T. Determination of phthalates in wine by headspace solid-phase microextraction followed by gas chromatography–mass spectrometry: Fibre comparison and selection. *J. Chromatogr. A* 2007, 1164, pp. 248–261.
41. Duca, G.H.; Sturza, R.; Lazakovich, D. The study of the phthalates migration in wine products by GC-MS method. *Chem. J. Moldova* 2012, 7, pp. 98–102.
42. Chatonnet, P.; Boutou, S.; Plana, A.; Plana, A. Contamination of wines and spirits by phthalates: Types of contaminants present, contamination sources and means of prevention. *Food Addit. Contam. Part A* 2014, 31, pp. 1–11.
43. Sturza, R.; Lazacovici, D. Monitoring of phthalate contamination in the wine industry in the Republic of Moldova. In: *Ecological Chemistry*. CEP USM, Chisinau, Moldova, 2022, pp. 314–330. ISBN 978-9975-159-05-0. Available online: <https://ichem.md/sites/default/files/2022-05/Monografia-Duca.pdf> (accessed on 29 August 2025).
44. Han, Y.; Zhang, C.; Yang, Y.; Weng, Y.; Ma, P.; Xu, P. Epoxidized isosorbide-based esters with long alkyl chains as efficient and enhanced thermal stability and migration resistance PVC plasticizers. *Polym. Test.* 2023, 123, 108048.
45. Farhadi, M.; Sepahvand, A.; Beiranvand, B.; Soleimani, F. Phthalate concentrations in drinking water in WPRO regions: A systematic review and meta-analysis. *Desalination Water Treat.* 2025, 322, 101217.
46. Mrema, E.E.; Chaula, D.N.; Chove, B. Levels of phthalate acid esters in drinking water bottled in PET (Polyethylene Terephthalate) and PC (Polycarbonates) bottles - stored under different storage conditions. *Chem. Sci. Int. J.* 2024, 33, pp. 11–24.
47. Lu, M.; Jones, S.; McKinney, M.; Kandow, A.; Donahoe, R.; Faulk, B.C.; et al. Assessment of phthalic acid esters plasticizers in sediments of coastal Alabama, USA: Occurrence, source, and ecological risk. *Sci. Total Environ.* 2023, 897, 165345.
48. Wang, C.; Huang, P.; Qiu, C.; Li, J.; Hu, S.; Sun, L.; Bai, Y.; Gao, F.; Li, C.; Liu, N.; Wang, D.; Wang, S. Occurrence, migration and health risk of phthalates in tap water, barreled water and bottled water in Tianjin, China. *J. Hazard. Mater.* 2021, 408, 124891.
49. Rekibi, S.; Duflos, G.; Grard, T.; Dehaut, A. Exposure to the main organic plastic additives through food contamination. *Environ. Pollut.* 2025, 376, 126359.
50. Rodríguez-Ramos, R.; Santana-Mayor, A.V.; Herrera-Herrera, A.; Socas-Rodríguez, B.; Rodríguez-Delgado, M.A. Recent advances in the analysis of plastic migrants in food. *TrAC Trends Anal. Chem.* 2024, 178, 117847.
51. Repposi, A.; Farabegoli, F.; Gazzotti, T.; Zironi, E.; Pagliuca, G. Bisphenol A in edible part of seafood. *Ital. J. Food Saf.* 2016, 5, 5666.

52. Cao, X.-L.; Kosarac, I.; Popovic, S.; Zhou, S.; Smith, D.; Dabeka, R. LC-MS/MS analysis of bisphenol S and five other bisphenols in total diet food samples. *Food Addit. Contam.* 2019, 36, pp. 1740–1747.
53. Castro, G.; Fourie, A.J.; Marlin, D.; Venkatraman, V.; González, S.V.; Asimakopoulos, A.G. Occurrence of bisphenols and benzophenone UV filters in wild brown mussels (*Perna perna*) from Algoa Bay in South Africa. *Sci. Total Environ.* 2022, 813, 152571.
54. Shaaban, H.; Mostafa, A.; Alqarni, A.M.; Almohamed, Y.; Abualrahi, D.; Hussein, D.; Alghamdi, M. Simultaneous determination of bisphenol A and its analogues in foodstuff using UPLC-MS/MS and assessment of their health risk in adult population. *J. Food Compos. Anal.* 2022, 110, 104549.
55. Mahlangu, W.B.; Maseko, B.R.; Mongadi, I.L.; Makhubela, N.; Ncube, S. Quantitative analysis and health risk assessment of bisphenols in selected canned foods using the modified QuEChERS method coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *Food Packag. Shelf Life* 2023, 37, 101078.
56. Tian, L.; Zheng, J.; Pineda, M.; Yargeau, V.; Furlong, D.; Chevrier, J.; Bayen, S. Targeted screening of 11 bisphenols and 7 plasticizers in food composites from Canada and South Africa. *Food Chem.* 2022, 385, 132675.
57. Cao, P.; Zhong, H.; Qiu, K.; Li, D.; Wu, G.; Sui, H.; Song, Y. Exposure to bisphenol A and its substitutes, bisphenol F and bisphenol S from canned foods and beverages on Chinese market. *Food Control* 2021, 120, 107502.
58. Cunha, S.C.; Inácio, T.; Almada, M.; Ferreira, R.; Fernandes, J.O. Gas chromatography–mass spectrometry analysis of nine bisphenols in canned meat products and human risk estimation. *Food Res. Int.* 2020, 135, 109293.
59. Grumetto, L.; Gennari, O.; Montessano, D.; Ferracane, R.; Ritiene, A.; Albrezio, S.; Barbato, F. Determination of five bisphenols in commercial milk samples by liquid chromatography coupled to fluorescence detection. *J. Food Protect.* 2013, 76, pp. 1590–1596.
60. Xiao, Z.; Wang, R.; Suo, D.; Li, T.; Su, X. Trace analysis of bisphenol A and its analogues in eggs by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Chem.* 2020, 327, 126882.
61. García-Córcoles, M.T.; Cipa, M.; Rodríguez-Gómez, R.; Rivas, A.; Olea-Serrano, F.; Vilchez, J.L.; Zafra-Gómez, A. Determination of bisphenols with estrogenic activity in plastic packaged baby food samples using solid-liquid extraction and clean-up with dispersive sorbents followed by gas chromatography tandem mass spectrometry analysis. *Talanta* 2018, 178, pp. 441–448.
62. Barghi, M.; Shin, E.; Son, M.-H.; Choi, S.-D.; Pyo, H.; Chang, Y.-S. Hexabromocyclododecane (HBCD) in the Korean food basket and estimation of dietary exposure. *Environ. Pollut.* 2016, 213, pp. 268–277.
63. Fasano, E.; Esposito, F.; Scognamiglio, G.; Di Francesco, F.; Montuori, P.; Amodio Cocchieri, R.; Cirillo, T. Bisphenol A contamination in soft drinks as a risk for children's health in Italy. *Food Addit. Contam.* 2015, 32, pp. 1207–1214.
64. Hassan, N.H.; Othman, H.I.A.A.; Abdul Malek, N.R.; Zulkurnain, M.; Saad, B.; Wong, Y.F. Simultaneous quantitative assessment of ochratoxin A, patulin, 5-Hydroxymethylfurfural, and bisphenol A in fruit drinks using HPLC with diode array-fluorimetric detection. *Foods* 2020, 9, 1633.
65. Regueiro, J.; Wenzl, T. Determination of bisphenols in beverages by mixed-mode solid-phase extraction and liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 2015, 1422, pp. 230–238.
66. Deng, X.; Huang, H.; Huang, S.; Yang, M.; Wu, J.; Ci, Z.; He, Y.; Wu, Z.; Han, L.; Zhang, D. Insight into the incredible effects of microwave heating: Driving changes in the structure, properties and functions of macromolecular nutrients in novel food. *Front. Nutr.* 2022, 9, 941527.
67. Duan, F.; Chen, M.-q.; Zhu, Y.; Zhang, J. Study the migration process of chemical substances through the packaging/food interface during microwave treatment. *Mathematical Problems in Engineering* 2013, 150687.
68. Cai Rochester, R.; Mokwena Nthoiwa, K.; Ge, C. Effect of microwave heating on the migration of additives from PS, PP, and PET containers into food simulants. *J. Appl. Packag. Res.* 2014, 6(1), pp.11-22.
69. Bhunia, K.; Tang, J.; Sablani, S.S. Microwave-based sustainable in-container thermal pasteurization and sterilization technologies for foods. *Sustainable Food Technol.* 2024, 2, pp. 926–944.
70. Kourkopoulos, A.; Sijm, D.T.H.M.; Geerken, J.; Vrolijk, M.F. Compatibility and interference of food simulants and organic solvents with the in vitro toxicological assessment of food contact materials. *J. Food Sci.* 2025, 90, e17659.
71. Grob, K.; Pfenninger, S.; Pohl, W.; Rieger, K. European legal limits for migration from food packaging materials: 1. Food should prevail over simulants; 2. More realistic conversion from concentrations to limits per surface area. PVC cling films in contact with cheese as an example. *Food Control* 2007, 18, pp. 201–210.
72. Seref, N.; Cufaoglu, G. Food packaging and chemical migration: A food safety perspective. *J. Food Sci.* 2025, 90, e70265.

Citation: Sturza, R.; Ghendov-Moșanu, A.; Dragancea, V.; Lazacovici, D. Migration of chemical compounds from food packaging: regulatory aspects and assessment of potential risks. *Journal of Social Sciences*, 8 (3), pp. 151-171. [https://doi.org/10.52326/jss.utm.2025.8\(3\).12](https://doi.org/10.52326/jss.utm.2025.8(3).12).

Publisher's Note: JSS stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright:© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Submission of manuscripts:

jes@meridian.utm.md