

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**SICAK İÇECEKLERDE KULLANILAN BARDAKLARDA BİSFENOL  
MİGRASYONUNUN BELİRLENMESİ**

**CANSU SEZER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Sündüz Sezer KIRALAN (Tez Danışmanı)**

**Prof. Dr. Mustafa KIRALAN**

**Prof. Dr. Ash YORULMAZ**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2024**

## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; “**Sıcak İçeceklerde Kullanılan Bardaklarda Bisfenol Migrasyonunun Belirlenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Balıkesir 2024

Cansu SEZER

## ÖZET

**SICAK İÇECEKLERDE KULLANILAN BARDAKLARDA BİSFENOL  
MİGRASYONUNUN BELİRLENMESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
CANSU SEZER  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SÜNDÜZ SEZER KIRALAN)**

**BALIKESİR, HAZİRAN-2024**

Bu çalışmada, bardaklardan sıcak içeceklere bisfenol analoglarının (Bisfenol A, Bisfenol B, Bisfenol E, Bisfenol F ve Bisfenol S) migrasyon miktarı incelenmiştir. Analizler tüketiciler tarafından sıklıkla tercih edilen karton (baskılı ve baskısız), köpük, kraft ve termo bardak olarak adlandırılan farklı özelliklere sahip bardaklar kullanılarak yapılmıştır. Bardaklar piyasadan rastgele satın alınmıştır. Bardaklardan sıcak içeceklere bisfenol analoglarının migrasyonunu belirlemek amacıyla distile saf su (90-95 °C) örnek bardaklarına koyulduktan sonra 15 dakika süresi boyunca bardakta bekletilmiştir. Sıcak suyun miktarı bardakların üst kısmından 5 mm aşağıda olacak şekilde koyulmuştur. Bardaklardan sıcak suya bisfenol analoglarının migrasyon miktarı LC-MS/MS cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca bardaklara ait ölçümler yapılarak bardakların kalınlık değerleri belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan tüm bisfenol analogları için uygulanan analiz metotları tayin limiti (LOQ), teşhis limiti (LOD) ve geri kazanım gibi performans kriterleri açısından uygun bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde numunelerin hepsinde BPA miktarının ölçülebilir limit (LOQ) üzerinde olduğu görülmektedir. En yüksek BPA konsantrasyonu 15,04 µg/kg olarak baskılı karton bardaklarda belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların yasal sınırların altında olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonuçları, numunelerden BPB, BPE, BPF ve BPS migrasyonun tespit edilebilir limit (LOQ) altında olduğunu göstermektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Sıcak içecek, bisfenoller, migrasyon, LC-MS/MS

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF BISPENOL MIGRATION IN CUPS USED FOR HOT DRINKS**

**MSC THESIS**

**CANSU SEZER**

**BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**FOOD ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SÜNDÜZ SEZER KIRALAN)**

**BALIKESİR, JUNE - 2024**

In this study, the migration amount of bisphenol analogs (Bisphenol A, Bisphenol B, Bisphenol E, Bisphenol F and Bisphenol S) from cups to hot drinks was examined. The analyzes were conducted using different kind of cups called cardboard (printed and unprinted), foam, kraft and thermo cups, which are frequently preferred by consumers. The cups were purchased randomly from the market. In order to determine the migration of bisphenol analogues from cups to hot drinks, distilled pure water (90-95 °C) was poured into the sample cups and left in the cups for 15 minutes. The amount of hot water was placed 5 mm below the top of the cups. The migration amount of bisphenol analogues from the cups to hot water was determined using an LC-MS/MS device. In addition, measurements of the glasses were made and the thickness values of the glasses were determined.

The analysis methods applied for all bisphenol analogues used in the study were found to be appropriate in terms of performance criteria such as limit of quantification (LOQ), limit of detection (LOD) and recovery. When the results are examined, it is seen that the amount of BPA in all samples is above the detectable limit (LOQ). The highest BPA concentration was determined as 15,04 µg/kg in printed paper cups. It was determined that the results obtained were below legal limits. Analysis results show that migration of BPB, BPE, BPF and BPS from the samples is below the detectable limit (LOQ).

**Keywords:** Hot drink, bisphenol, migration, LC-MS/MS

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>TABLOLAR DİZİNİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KURUMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETİ</b> .....	<b>2</b>
2.1 Ambalaj.....	2
2.2.1 Gıdalarda Ambalaj Materyali.....	3
2.2.1.1 Tek Kullanımlık Gıda Ambalajları.....	5
2.2.2 Ambalaj ve Gıda Etkileşimi.....	7
2.3 Bisfenoller.....	9
2.4. Bisfenollerin Migrasyon Mekanizması.....	13
2.4.1 Malzemelerde Kullanım Durumunun BPA Migrasyonuna Etkisi.....	15
2.4.2 Bisfenol Maruziyeti.....	16
2.4.3 Sağlık Üzerine Etkileri.....	17
2.4.4 Yasal Düzenlemeler.....	22
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>23</b>
3.1 Materyal.....	23
3.1.1 Bardak Örnekleri.....	23
3.1.2 Kimyasal Malzemeler.....	24
3.1.3 Kullanılan Enstrümental Cihazlar.....	24
<b>3.2 YÖNTEM</b> .....	<b>26</b>
3.2.1 Örnek Hazırlanması.....	26
3.2.2 Bisfenol Analoglarına Ait Standart Çözeltilerinin Hazırlanması.....	28
3.2.3 Bisfenol Analoglarının Tayini.....	31
3.2.4 Yöntem Çalışmaları.....	32
3.2.4.1 Tayin Limiti (LOQ) ve Tespit Limiti (LOD).....	32
3.2.4.2 Geri Alma/ Geri Kazanım.....	33
3.3 Bardaklarda Kalınlık Ölçümü.....	33
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>34</b>
4.1 Bardaklardan Sıcak İçeceklerle BPA, BPS, BPE, BPF ve BPB Migrasyon Düzeylerinin Değerlendirilmesi .....	34
4.2 Bardaklara Ait Kalınlık Ölçüm Değerleri.....	38
<b>5.SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>41</b>
<b>6.KAYNAKLAR</b> .....	<b>42</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>50</b>

## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Ana ambalaj malzemeleri, ambalajlar ve ambalajların hammaddeleri.....	4
<b>Tablo 2.2:</b> Yaygın olarak kullanılan kullan-at ürünler ve hammaddeleri.....	6
<b>Tablo 2.3:</b> Metal, kağıt ve plastik malzemedeki geçen kontaminantlar.....	8
<b>Tablo 2.4:</b> Bisfenol bileşiklerinin isimlerinin kısaltmaları ve kimyasal şekilleri.....	10
<b>Tablo 2.5:</b> Farklı firmalara ait PC biberonlarda tespit edilen BPA kalıntı miktarları.....	14
<b>Tablo 2.6:</b> Farklı PC biberonlarda BPA kalıntı miktarları.....	15
<b>Tablo 2.7:</b> Hayvanlarda düşük doz Bisfenol A maruziyetinin etkileri.....	21
<b>Tablo 3.1:</b> Bardaklara ait örnek kodları ve bardak özellikleri.....	23
<b>Tablo 3.2:</b> Bisfenol analoglarının analizinde kullanılan elüsyon profili.....	31
<b>Tablo 3.3:</b> Bisfenol analoglarının analizinde kullanılan cihaz çalışma koşulları.....	32
<b>Tablo 3.4:</b> Bisfenol türevlerinin tayin limitleri.....	33
<b>Tablo 3.5:</b> Bisfenol türevlerinin geri kazanım değerleri.....	33
<b>Tablo 4.1:</b> Bardak örneklerinden sıcak suya bisfenol esterleri migrasyon konsantrasyonları.....	35
<b>Tablo 4.2:</b> Farklı firmalardan temin edilen bardaklara ait kalınlık ölçüm değerleri.....	39

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1: Bardaklara koyulacak su miktarının belirlenmesi.....	26
Şekil 3.2: Örnek sıcaklıklarının ölçümü.....	27
Şekil 3.3: Bardaklarda bekletilen sıcak suların örnek şişelerine alınması.....	27
Şekil 3.4: Hazırlanan örnekler ve kullanılan bardaklar.....	28
Şekil 3.5: BPA standart eğrisi.....	29
Şekil 3.6: BPB standart eğrisi.....	29
Şekil 3.7: BPE standart eğrisi.....	30
Şekil 3.8: BPF standart eğrisi.....	30
Şekil 3.9: BPS standart eğrisi.....	31



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>BADGE</b>	: Bisfenol A Diglisidil Eter
<b>BBP</b>	: Bütil Benzil Fitalat
<b>BPA</b>	: Bisfenol A
<b>BPB</b>	: Bisfenol B
<b>BPC</b>	: Bis(4-hydroxyphenyl)-2,2-dichloroethylene
<b>BPE</b>	: Bisfenol E
<b>BPF</b>	: Bisfenol F
<b>BPG</b>	: Bisfosfogliserat
<b>BPS</b>	: Bisfenol S
<b>CAS</b>	: Chemical Abstracts Service
<b>DEHA</b>	: Di-2-etilhegzil Adipat
<b>DEHP</b>	: Dikkat Eksikliği Hiperaktivite Bozukluğu
<b>DİB</b>	: Deskuamatif İnterstisyel Phomoni
<b>DIPN</b>	: Diisononilfitalat
<b>DNA</b>	: Deoksiribonükleik asit
<b>EFSA</b>	: Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
<b>FDA</b>	: Gıda ve İlaçlama Konseyi
<b>HDPE</b>	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
<b>HPLC</b>	: Yüksek Performanslı Kromatografi Cihazı
<b>KG</b>	: Kilogram
<b>L</b>	: Litre
<b>LDPE</b>	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
<b>LOD</b>	: Tespit Limiti
<b>LOQ</b>	: Tayin Limiti
<b>M.Ö</b>	: Milattan Önce
<b>mg</b>	: Miligram
<b>ml</b>	: Mililitre
<b>PET</b>	: Polietilen Tereftalat
<b>PC</b>	: Polikarbon
<b>PH</b>	: Potansiyel Hidrojen
<b>PMV</b>	: Perifal Kan Mononükleer
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>ppm</b>	: Milyonda bir
<b>ppb</b>	: Milyarda bir
<b>PS</b>	: Polistiren
<b>PVC</b>	: Polivinil Klorür
<b>SCF</b>	: Bilimsel Gıda Komitesi
<b>SML</b>	: Limit Değeri
<b>µl</b>	: Mikrolitre



## ÖNSÖZ

Sıcak İçeceklerde Kullanılan Bardaklarda Bisfenol Migrasyonunun Belirlenmesi konulu yüksek lisans tez çalışmasının seçiminde ve yürütülmesinde hem üniversite hayatım da hem yüksek lisans tez çalışmam boyunca bilgi, görüş, deneyim ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen her konuda destek olan kıymetli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Sündüz Sezer KIRALAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Yardımlarını esirgemeyen ve her konuda destek vererek değerli vaktini ayıran Sayın Prof. Dr. Mustafa KIRALAN' a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Analiz sürecinde desteklerini bizden esirgemeyen Doç. Dr. İsra Toptancı'ya teşekkürlerimi borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim değerli arkadaşım Şeyhmus YEL'e teşekkür ederim.

Her konuda maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen canım annem Bedriye SEZER ve canım babam İbrahim SEZER, harcamış olduğunuz emekleriniz için sizlere sonsuz teşekkür ediyorum.

**Balıkesir, 2024**

**Cansu SEZER**

## 1.GİRİŞ

Gıda ambalajları, gıda ile temas eden malzemeler, çoğunluğu plastikler olmak üzere kağıt, cam ve metal gibi maddelerden oluşur (Doğan, 2009). İnsanların artan ihtiyaçları ve tüketim alışkanlıklarındaki değişimler kullanımı daha basit ve kolay ulaşılabilir ürünlere yönlendirmiştir. Pandeminin küresel bir etki gösterdiği bu süreçte, bulaşıcı hastalıkların etkisini ve tüketim esnasında oluşabilecek riski en aza indirmek amaçlı tek kullanımlık ürünlerin kullanımını artmıştır (Erçetin ve Güneş, 2023).

Ambalajdan esas beklenen görevse mikrobiyolojik olarak gıdayı bulaşmalara karşı korumak, gıdanın kalitesi ile güvenliğini sağlamaktır. Fakat gıda ambalaj malzemesi doğru seçilmediğinde gıdaya çeşitli kimyasal maddeleri bulaştırma riski de beraberinde gelebilir bu da insanlarda oldukça büyük sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Coles, McDowell & Kirwan, 2023).

Ambalaj malzemelerine üretim sırasında farklı katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bu katkı maddeleri ambalajdan gıda maddelerine geçiş özelliğine sahiptir. Bu geçişe migrasyon, geçen maddelere migrant adı verilir (Çalışkan, 2001).

Ambalaj malzemesinden gıdaya geçiş yapan migrantların en önemlileri arasında bisfenoller yer almaktadır. Bisfenoller genellikle plastikleştirme, bağlama, sertleştirme, vernikleme ve dolgu materyali olarak farklı birçok malzemenin üretiminde kullanılmaktadır. Gıda sanayinde ambalaj ve gıda pişirme/servis materyali olarak kullanılan birçok malzemenin hammaddesinde bisfenoller yer almaktadır. (Öksüz vd. 2012).

Bu çalışmada karton bardaklardan sıcak içeceklere geçen toplam migrasyon göçünü tespit etmek amacıyla distile saf su (90-95 °C) örnek bardaklarına koyulduktan sonra 15 dakika süresi boyunca bardakta bekletilmiştir. Süre sonunda örnekler LC/MSMS cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, analiz edilen numunelerde BPA tespit edilirken, BPS, BPE, BPF, BPB miktarlarının tespit edilebilir limit altında olduğu görülmüştür.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETİ

### 2.1. Ambalaj

Ambalaj, gıda ürünlerinin korunması, taşınması ve muhafazası nedeniyle uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ambalajın ortaya çıkışı, insanlığın özellikle yiyeceklerini taşıma ve koruma ihtiyacıyla başlamıştır. İnsanlık tarihinde kullanılan ilk ambalajlara örnek olarak yaprak ve ağaç kabukları verilebilir. Arkeolojik bulgularda M.Ö. 8000 yıllarında ambalaj olarak doğal malzemeleri kullanıldığını göstermektedir (İlisulu, 2019). Cam ve ahşabın yaklaşık 5000 yıldır ambalaj malzemesi olarak kullanıldığı tahmin edilmektedir. İngiliz Peter Durand, sac levhadan yapılmış ilk metal ambalaj olan "canister" in patentini 1823 yılında almıştır. 1900'lü yıllarda kâğıt ve karton sık kullanılan ambalaj materyali haline gelmiştir. Plastik malzemenin keşfinden sonra kâğıt ambalajın kullanımını azalmış ve zamanla plastik ambalajlar kâğıt ambalajın yerini almıştır (Ambalaj Sanayicileri Derneği, 2023).

Ambalajlar kullanım alanlarına göre gruplara ayrılmaktadır. Tüketicie satılma aşamasında ürünü sarıp sarmalayan ve koruyan ambalaj birincil ambalaj olarak adlandırılır. Ürünle doğrudan temas halinde olan ambalajı örneğin, kapak ve etiketi kapsamaktadır. İkincil ambalaj ya da grup ambalajı olarak adlandırılan, satış ortamında kolay taşıma uygulamaları için kullanılan ambalajdır. Shrink film ve oluklu mukavva kutu gibi ürünleri gruplamak ve satış işlemlerini kolaylaştırmak için kullanılan bu ambalajlar ikincil ambalaja örnek olarak verilebilir (Ambalaj Sanayicileri Derneği, 2023). İhtiyaçların doğması, toplumların gelişmesi ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte ambalajın fonksiyonları da değişimler göstermektedir (Kocamanlar, 2009).

Ambalajların farklı işlevleri bulunmaktadır,

- *Koruyuculuk işlevi;* ambalajın içerisinde bulundurduğu ürünü daima koruma imkanına sahip olmasıdır. Ambalajlar ürünü fiziksel ve mekanik etkilere karşı koruduğu gibi ürünün kaliteli kalması içinde korumaktadır. Ürünlerin raf ömrü boyunca sağlam, nem ve atmosferik etkilerden koruma, fiziksel kayıpları ve bozulmaları önleme, koku, ısı ve ışık geçirgenliği önleme, mikrobiyolojik koruma gibi özelliklere de sahiptir.

- *Kolaylık işlevi;* kaba istenilen miktarda ürün doldurup boşaltabilme, açma ve kapama, taşıma, depolama ve rafa yerleştirme, çeşitli ölçülerde satış yapabilmek için ambalaj boyutunu ayarlama ve porsiyonlama gibi kolaylıkları sağlama görevidir.
- *Fiyat ayarlama işlevi,* bir firmanın satışa sunduğu hizmet veya ürüne hedef tüketicinin ödemesini istediği bedeldir. Ambalajın büyüklüğünde yapılan değişikliklerle birlikte ürünün fiyatını ayarlama fonksiyonu vardır.
- *Bilgi verme ve iletişim fonksiyonu;* ambalaj, ürünü koruma ve saklama fonksiyonu dışında tüketici ile ürün arasında iletişim sağlamaktadır, yapılan bazı araştırmalar sonucu tüketicilerin %73'ü satın alma anında hangi ürünü alacaklarına karar verdiği ve bu satın alma süresinin 7 saniye sürdüğü bir durumda ambalajın raflarda satın almada ne kadar önemli bir rol oynadığı anlaşılmaktadır.
- *Görsellik işlevi;* iyi bir ambalaj iyi bir imaja sahip olması ve hedef müşterinin dikkatini ve ilgisini her seviyede çekmesi beklenir. Ambalajın grafik tasarımı, şekli, rengi ve baskısı imajını yansıtmaktadır (Kocamanlar, 2009).

### **2.2.1 Gıdalarda Ambalaj Materyali**

Günümüzde ambalaj sadece gıda ürünlerini muhafazasında kullanılan bir materyal olarak kullanılmamanın dışında tüketicinin ürünü satın almasında ve ürün beğenmesini sağlamasında önemli bir parametre haline gelmiştir (Dilber, Dilber, & Karakaya, 2012). Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak gıda ambalajları ürünün korunması ve muhafazası dışında birçok olumlu özellik kazanmıştır. Özellikle son yıllarda sıklıkla araştırmalara konu olan aktif ve akıllı ambalajlar ürüne birçok yenilikçi çözüm sağlamaktadır (Dobrucka, 2013).

Ambalaj maddeleri seçimi ürüne uygun olarak yapılmalıdır. Ambalaj maddeleri seçimini yaparken göz önünde bulundurabileceğimiz bazı hususlar vardır. Ambalaj malzemesi içerisinde yer alan ürüne zarar vermemelidir (Çelik & Tümer, 2016). Aroma tat ve kokunun ürüne ve üründen dışarıya olan temasını minimuma indirmelidir, ekonomik olmalıdır, tasarımı bakımından dikkat çekmelidir, ambalaj üzerinde ürünün bilgileri bulunmalıdır (Üçüncü, 2011). Ambalaj üzerinde yer alan bazı işaretler bulunmaktadır. Bunlar depolama hakkında, taşıma hakkında, saklama ve raf ömrü konusunda, tüketiciye ve kullanıldıktan sonra çevre ile olan etkileşimleri hakkında bilgiler verebilmektedir (Karakuş & Ayhan,

2019). Gıdaların muhafazası ve sunumunda farklı ambalaj materyalleri kullanılmaktadır. Kullanılan bu materyaller Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

**Tablo 2.1:** Ana ambalaj malzemeleri, ambalajlar ve ambalajların hammaddeleri (Barnes, Sinclair, & Watson, 2007).

<b>Ambalaj Malzemesi</b>	<b>Hammadde</b>	<b>Ambalaj</b>
Cam	Silisyum	Cam şişe, cam kavanoz
Kağıt/Pano	Selüloz	Kağıt ambalaj, kağıt karton kutu, oluklu mukavva
Metal	Aliminyum, demir, teneke	Konserve, teneke alüminyum folyo
Plastik	Polimer (düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC), polietilen tereftalat (PET))	Elastik ambalaj, sert ambalaj
Tahta	Ağaç	Kürek, kutu

Cam ham maddesi kum olan geçmişten günümüze insanların çeşitli şekiller ve ebatlar halinde kullandığı bir ambalaj çeşididir. Cam ambalajın tercih sebeplerinden en önemlisi içeriğinin dışarıdan görülebilmesidir (Üçüncü, 2011).

Kağıt en çok tercih edilen ambalaj çeşididir. Kağıdın ham maddesi selüloz olarak bilinen maddedir. Selüloz ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> bitkilerde sert ve kuvvetli olmasını sağlamaktadır (Bayraktar, 2004). İçecek kartonları ve süt gibi sıvı ürünlerin ambalajlarında çokça tercih edilmektedirler. Bu tercihin sebebi ise bu tür sıvıların güneş ışığına karşı duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır (Üçüncü, 2011). Kağıt ambalajlar sayesinde gün ışığından korunarak daha uzun süreler saklanabilmektedir. Ayrıca kağıt ambalajlar da cam ambalajlar gibi çoğunluğunun geri dönüştürülebildiği ambalaj türleri arasında yer almaktadır (Bayraktar, 2004).

Yeryüzündeki çeşitli minerallerin işlenmesi sonucu üretilen malzemeye metal adı verilmektedir. Metaller element veya elementlerden oluşmaktadır. İçeceklerin saklanması veya uzun süreli saklama koşulları için tercih edilen ambalaj türüdür. Krom kaplamalı çelik, alüminyum kaplamalı çelik, alüminyum kaplar gibi ürünün özelliklerine ve saklama koşullarına göre çeşitlilik göstermektedirler (Üçüncü, 2011).

Plastik ambalaj, ham maddesi petrol ve çeşitli kimyasallar olan ambalajlama çeşitlerinden biridir. Hafif olmaları, kırılma olmamaları, paslanmaz olmaları, izolasyon sağlamaları, yumuşak olmaları gibi özelliklerinden ötürü ambalaj sektöründe plastik ambalajlar öne çıkmaktadır (Çelik & Tümer, 2016).

### **2.2.1.1 Tek Kullanımlık Gıda Ambalajları**

Dünya üzerinde nüfus oranındaki artış, beraberinde teknolojinin hızla gelişmesi ve sanayileşme tüketimi giderek fazlaştırmaktadır. İnsanların artan ihtiyaçları ve tüketim alışkanlıklarındaki değişimler kullanımı daha basit ve kolay ulaşılabilir ürünlere yönlendirmiştir. Pandeminin küresel bir etki gösterdiği bu süreçte, bulaşıcı hastalıkların etkisini ve tüketim esnasında oluşabilecek riski en aza indirmek amaçlı tek kullanımlık ürünlerin kullanımı artmıştır (Erçetin & Güneş, 2023).

Kullan-at ürünlerin 20. yüzyıldan itibaren, yaygın olarak kullanılmasının en büyük sebepleri kullanım kolaylığı, ucuzluğu ve temizliğidir. Plastik ambalajlar ilk kez kullan-at ürün olarak 1957 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Ardından pet şişeler soda içeceklerinde 1973 yılında kullanılmaya başlanmış ve ilk patent alma işlemi pet soda şişelerinde gerçekleşmiştir (Tütüncü & Deniz, 2008). 1960'larda ise bardak, tabak, kaşık, çatal, gibi tek kullanımlık ürünler tüketiciye sunulmuştur (Kayahan & Küçük, 2020).

Kullan-at ürünler, tüketicilerin günlük hayatta sıklıkla kullandığı tek kullanımlık ürünler olarak bilinmektedir. Tek kullanımlık ürünler sadece gıda ambalajı veya gıda saklama materyali olmayıp temizlik ürünleri için kullanılan ambalajlar ve taşıma işlemi için kullanılan poşetler de bu gruba dahil edilmektedir. Tablo 2.2'de gösterildiği üzere tek kullanımlık ürünlerin malzemeleri ve kullanıldığı yerler belirtilmiştir (Özer, 2016).

**Tablo 2.2:** Yaygın olarak kullanılan kullan-at ürünler ve hammaddeleri (Durusoy & Karababa, 2011).

<b>Kullan-at ürün malzemesi</b>	<b>Kullanım Alanları</b>
Polietilen tereftalat/Polietilen ftalatpolimerleri	İçme suyu, meyve suyu ve bitkisel yağ ambalajları
Yüksek yoğunluklu polietilen	Süt, su ve meyve suyu ambalajları, deterjan ambalajları, motor yağı bidonları, şampuan ve losyon kapları
Polivinilklorür	Bitkisel yağ şişeleri, sıvı deterjan kapları, sıvı motor yağı şişeleri, temizleme ürünleri, taze et kapları, ketçap ve mayonez kapları, folyolar, çikolata ve pralin gibi maddelerin ayırıcı bölmeleri
Düşük yoğunluklu polietilen	Çuval, büzgü ve germe ipleri, çöp torbası, ekmek ve sandviç paketleri, alışveriş poşetleri, margarin tüpleri, hardal ve kahve kapları
Polipropilen	Margarin tüpleri, ketçap şişeleri, yoğurt kapları ve şişe kapakları
Polistiren	Yumurta kartonları, fast-food paketleme kapları ve tepsileri, plastik ve karton su bardakları
Polikarbonatlar	Su, meyve suyu, kuru-katı gıdalar, tuzlu baharatlı gıdalar, asitli içecek ambalajları
Akrilonitril-butadien-stiren polimerleri	Su ve meyve suyu kapları, kuru ve katı gıda ambalajları, şeker ve şekerli gıda madde ambalajları, yağ ve yağlı gıda ambalajları
Doymamış polyester reçineleri	Stiren monomer kullanılmamak koşuluyla alkollü maddelerde, su, meyve suyu ve süt kaplarında, yağ ve yağlı, şeker ve şekerli gıda maddeleri ambalajlarında
Asetal reçineler	Kullanım alanı en dar olan plastik türüdür. Dış hekimliği malzemeleri yapımında
Poliamitler	Naylon olarak bilinmekte ve gıda maddelerinin vakumlu saklanabilmesini sağlamaktadır

Gıda işleme sektörlerinde kullanılan çoğu ambalaj malzemesi biyolojik olarak parçalanmamakla birlikte telafi edilemeyen doğası nedeniyle organik atık yönetiminde büyük bir zorluk oluşturabilmektedir. Gıda sektöründe kirleticiler arasında plastik, köpük veya tek kullanımlık gıda ambalajları yer almaktadır (Trabold, Win & Hegde, 2018). Tek kullanımlık ambalajlar kısa ömürlerinden dolayı, kaynakların zamanından önce çöplere gitmesine neden olmaktadır (Ersan, 2021).

Gıda endüstrisindeki gelişmeler giderek daha fazla hazır gıda tüketimine ortam sağlamaktadır. Hazır gıdaların çoğu paket içerisinden direk tüketilmektedir, bundan kaynaklı ambalaj materyali özenle seçilmelidir. Yapılan bir çalışmada katılımcılar cam, metal, seramik, karton, plastik ve köpükten yapılmış olan bardaklardan çay içmişlerdir. Çay içmek için en uygun materyalin seramik olduğu belirleyen katılımcılar en sevilen çayın da seramikte sunulan çay olduğunu söylemişlerdir. Kullan-at bardaklar kategorisinde çay içimin en uygun olduğu tek kullanımlık karton bardak olduğuna karar vermişlerdir (Schifferstein, 2009).

### **2.2.2 Ambalaj ve Gıda Etkileşimi**

Ambalajlama gıdaların tüketiciye güvenli bir şekilde ulaştırılabilmesi için çok büyük önem taşımaktadır. Gıda ambalajı; ambalaj malzemesinin özellikleri ve gıdanın özellikleri, ultraviyole ışık maruziyeti ve ürünün depolama süresi, ambalajlama ve depolama sıcaklığı gibi bazı koşullara bağlı olarak gıda ile sürekli etkileşim halindedir (Meiron & Saguy, 2007). Ancak ambalaj malzemelerinin hazırlanmasında kullanılan bazı kimyasal bileşikler nedeniyle, insan sağlığına zararlı olabilecek bileşenlerin gıdaya olan migrasyonu yani geçişi, gıdaların güvenliğini olumsuz şekilde etkilemektedir. Tüketicilerin sağlığı açısından da tehlike oluşturmaktadır (Gölge, Demirağ & Ova, 2005).

Gıdalara kimyasal maddelerin geçişi olarak tanımlanan migrasyon terimi toplam migrasyon ve spesifik (özel) migrasyon olarak iki şekilde ifade edilmektedir. Ambalaj materyalinden gıdaya geçen maddelerin tamamı toplam migrasyon olarak tanımlanırken, spesifik (özel) migrasyon olarak bilinen ise, toksikolojik açıdan çok önemlidir. Spesifik migrasyonda belirlenen kimyasal maddelerden bir veya birkaçı önem kazanmaktadır ve yapılan araştırmalar bu maddeler üzerine yoğunlaşmaktadır (Petersen, Naamansen & Nielsen, 1995). Migrasyon olayı sadece ambalajdan gıdaya doğru şekillenme göstermez, gıdadan ambalaja doğru da şekillenebilir. Ambalajdan gıdaya farklı özellikte maddelerin geçişi olabilirken



uçucu bileşenler ve lipofilik maddeler ambalaj materyali tarafından absorbe olabilir (Üçüncü, 2000).

Migrasyona bazı faktörler etki etmektedir. Bu faktörler farklı gruplara ayrılmıştır. Bunlar; gıdanın özelliği, gıdanın fiziksel durumu, gıdanın bileşenlerinin migrasyona yakınlığı, ambalajın fizikokimyasal özellikleri, ambalajın sahip olduğu migrantlar ve bunların miktarı, ambalaj gıda arasında gerçekleşen temas süre ve sıcaklığıdır (Goulas vd., 2007).

Gıda ambalaj malzemesi olarak kullanılan metal, kağıt ve plastik malzemeden gıda maddesine geçen kontaminantlar Tablo 2.3'te verilmiştir. Teneke kutu ve konservelerden gıdaya BADGE (Bisfenol A Diglisidil Eter) ve Bisfenol A, geri dönüşümlü kağıt ve kartonlardan gıdaya DIPN (Diisononilfitalat), alüminyum ve alüminyum tabakalı kartonlardan gıdaya alüminyum geçişi, polikarbonat malzemeden yapılmış ürünlerden içme suyuna geçen Bisfenol A, polistiren malzemeden süt ve süt ürünlerine, bebek mamalarına geçen monostiren ve stiren kontaminantlar yer almaktadır.

**Tablo 2.3:** Metal, kağıt ve plastik malzemeden geçen kontaminantlar (Rahman, 2007).

<b>Ambalaj Malzemesi</b>	<b>Kontaminant</b>	<b>Gıda maddesi</b>
Teneke kutu	BADGE	Konserve gıdalar
Metal/plastik/cam/aseptik ambalaj, geri dönüşümlü kağıt ve karton, laklanmış konserveler	DIPN, Epiklorhidrin	Domates
Alüminyum folyo laminatları	Fitalat esterleri (DPB, BBP,DEHP)	Tereyağı, margarin
Konserve kutusu	BADGE (laktan) Bisfenol A	Su bazlı gıda benzerleri, konserve gıdalar
Alüminyum	Alüminyum	Yiyecek ve içeceklerde (süt vb.)
Kağıt ve karton	Metaller (Zn, Sn, Al, Mn) Benzofenon, 4-4 Metilbenzofenon	Süt ürünleri, Kuru gıdalar

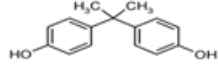
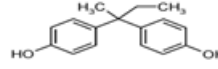
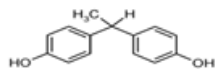
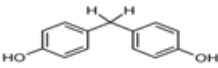
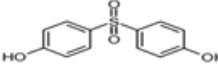
Karton (Alüminyum tabakalı)	Alüminyum	Yağsız süt, ayran
Kağıt bazlı ambalaj mateyalleri (baskılı)	Polikloro dibenzofuran, Mineral yağlar	Yağlı ve yağsız gıdalar
Polistiren (PS)	Stiren, etil benzen, Monostiren	Bebek maması, su, süt, sıcak-soğuk içecekler, zeytinyağı, süt ürünleri
Polistiren (PS+geri dönüştürülmüş malzeme)	Monostiren	Süt ürünleri
Polistiren (PS+ABS+vakslanmış karton)	Mineral hidrokarbonlar	Süt ürünleri
Polyester pişirme kabı	Benzen	Zeytinyağı
Polimerik malzeme	Stiren	Süt ürünleri
Polipropilen (PP) kap	DEHA, 2-dekanon, monomerler	Süt ürünleri, peynir sosu
Vaks kaplamaları	Mineral hidrokarbonlar	Peynir, soslar
Polimer	Dioktil fitalat	Süt
Düşük yoğunluklu polietilen	Naftalin	Süt
ABS (Akrilonitril-bütadiensitren)	Mineral hidrokarbonlar	Süt ürünleri
Polikarbonat	Bisfenol A (BPA)	İçme suları

### 2.3 Bisfenoller

Bisfenol bileşikleri, karbon atomu ve fenol grubunun birbirine bağlanması ile oluşan kimyasal bileşiklerdir (Tablo 2.4). Bu bileşikler yapılarında hidroksifenil işlevsel grubunu barındırırlar (Sür vd., 2017).

Bisfenoller genellikle plastikleştirme, bağlama, sertleştirme, vernikleme ve dolgu materyali olarak farklı birçok malzemenin üretiminde kullanılmaktadır. Gıda sanayinde ambalaj ve gıda pişirme/servis materyali olarak kullanılan birçok malzemenin hammaddesinde bisfenoller yer almaktadır. Bu maddeler sadece gıda ekipmanlarında değil oyuncaklar, su boruları ve medikal tübajlar gibi pek çok malzemenin içerisinde yer almaktadır (Öksüz vd. 2012).

**Tablo 2.4:** Bisfenol bileşiklerinin isimlerinin kısaltmaları ve kimyasal şekilleri (Frankowski vd. 2020).

Bisfenol	Kısaltma	Kimyasal şekli
Bisfenol A	BPA	
Bisfenol B	BPB	
Bisfenol E	BPE	
Bisfenol F	BPF	
Bisfenol S	BPS	

Bisfenollerin farklı analogları bulunmaktadır ve bunlar bisfenol kelimesinin arkasından büyük harfler kullanılarak isimlendirilirler (Sur vd., 2017). Bisfenollerin farklı analoglar olarak doğada yer almalarında bunların kimyasal yapısında yer alan reaktan grup görevlidir. Doğada yaygın olarak bulunan bisfenollere örnek olarak, bisfenol A (BPA), bisfenol B (BPB), bisfenol E (BPE), bisfenol F (BPS) ve bisfenol S (BPS) verilebilir (Tablo 2.4).

- *Bisfenol A (BPA)* dünyada yaygın olarak kullanılan kimyasalların başında yer almaktadır. BPA ilk olarak A. P. Dianin tarafından 1891 yılında sentezlenmiştir. 1930'lu yıllarda ise sentetik östrojen eldesi için yapılan bazı çalışmalarda araştırılmıştır. Plastik yapımında BPA'nın kullanılabileceği öne sürülmüş ve 1940'lı yıllarda reçine yapımında kullanılmasına başlanmıştır. 1957 yılında BPA polimerizasyonunu olan polikarbonat (PC) keşfedilmiştir. Bu gelişme plastik yapımındaki BPA kullanımının hızlı bir şekilde artışına sebep olmuş ve BPA'yı dünyada en çok kullanılan ticari ürün haline getirmiştir (Vogel, 2009).

Yaklaşık olarak üretilen BPA'nın %70'i polikarbonat plastiklerin, %25'i epoksi reçinelerin üretiminde kullanılmaktadır. Endüstriyel olarak en sık kullanılan bisfenol esteri Bisfenol A'dır. Bisfenol A, 2,2-bis(4-hidroksifenil) propan olarak da

adlandırılır (Gölge, Demirağ, & Ova ). İnsanların Bisfenol A'ya maruziyeti en fazla ambalajdan gıdaya Bisfenol A'nın geçişi sonrasında olmaktadır (Paepke vd., 2015).

Bisfenol A renksiz ve katı bir yapıya sahiptir. Sudaki çözünürlüğü organik çözücülere karşı çok daha küçüktür. Bisfenol A plastik sanayinde çok sık kullanılan bir maddedir ve özellikle polikarbonat ve epoksi reçinelerin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır (Fernandez vd., 2007).

Yapılan çalışmalar migrasyon miktarını etkileyen birçok faktörün olduğunu ortaya koymaktadır. Gıdaya ambalaj materyalinden geçen bisfenol A miktarının temas süresine bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ambalaj materyali ile gıda arasındaki temasın uzaması gıdaya geçen BPA miktarını arttırırken migrant ile gıda arasındaki etkileşim de artmaktadır. Özellikle mutfak ekipmanlarında bulunan BPA'lar bu araç ve gereçlerin tekrarlı kullanımı sonucu migrasyon miktarını arttırmaktadır. Ayrıca plastik tabak ve bardak gibi malzemelerde bulunan bu maddelerin geçiş miktarı tekrar tekrar kullanmaya bağlı olarak artmaktadır (Biles vd., 1997).

- *Bisfenol B (BPB)* (2,2-bis(4-hidroksifenil)bütan), BPA'nın bir analogudur ve çoğunlukla fenolik reçinelerin üretiminde kullanılır. BPB bu özelliğini kimyasal yapısının ve bağlarının bağlanma biçiminin BPA'ya benzemesi sayesinde kazanmaktadır (Cunha & Fernandes, 2010).

2012 Yılında Gıda ve İlaçlama Konseyi (FDA) tek kullanımlık bardaklarda, biberonlarda ve termal fatura kağıtlarında BPA'yı yasakladığını belirtmiştir. Bu yasa bisfenol B gibi BPA alternatiflerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Liao & Kannan , 2014).

İtalyan süpermarketlerinden alınan gıda örnekleriyle yapılan bir çalışmada BPB oranı %21,4 konsantrasyonda (Cunha & Fernandes, 2010), kadınların endometriozisinde %0,88 ila %11,94 ve serumlarda %27,6 konsantrasyonda bulunmuştur (Cobellis vd., 2009).

Yapılan bir başka çalışmada, test amaçlı alınan 20 insan idrar örneklerinden sadece ikisi BPB için pozitif sonuç göstermiştir (Cunha & Fernandes, 2010). BPB BPA ile karşılaştırıldığında biyolojik bozulmaya karşı daha dirençlidir ve östrojenik etkiye

sahiptir (Ike, Chen, Danzl, Sei, & Fujita, 2006) ve DNA hasarına, kortizol ve kortikosteron düzeylerinde azalmaya neden olur. BPA ile karşılaştırıldığında BPB çok daha yüksek akut toksisiteye sahiptir (Rosenmai vd., 2014).

- *Bisfenol F (BPF)* bisfenol A'ya benzemekle birlikte bisfenol türevidir. Bisfenol F bis(4-hidroksifenil)metan olarak da adlandırılmaktadır ve endokrin sistem üzerine olumsuz etkileri yapılan çalışmalarla bildirilmiştir. Fiziksel özellikleri incelendiğinde, renginin saydam ve pembe renk arasında olduğu bilinmektedir. Yapısının bisfenol A'ya benzemesi sayesinde BPA yerine birçok malzemenin üretiminde bisfenol F kullanılmaktadır. Bisfenol F özellikle birçok inşaat malzemesinin üretiminde ve elektriksel aksamların üretilmesinde hammadde olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Voges, ve diğerleri, 2000). Aynı zamanda günlük hayatta sıklıkla kullanılan kozmetik ürünlerde, diş yapımında kullanılan malzemelerde, plastik mutfak malzemelerinde ve gıda ambalajlarında yoğun olarak Bisfenol F bulunmaktadır (Rochester & Bolden, 2015).

Araştırmacılar, ev tozunda Bisfenol F maddesini bulmuşlardır ve miktarını 0,054 µg/g olarak belirlemişlerdir (Liao vd., 2012b).

Yapılan bir çalışmada, ABD'de yaşayan 100 yetişkine ait idrar numuneleri alınmış ve bunlarda Bisfenol F miktarı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, idrar numunelerinde ortalama 212 ng/ml Bisfenol F olduğunu göstermektedir. BPF'ye mesleki olarak maruz kalmadıklarını da belirtmişlerdir (Liao vd., 2012b).

- *Bisfenol S (BPS)*, son yıllarda sıklıkla kullanılan bir bisfenol türevidir. Bisfenol S (BPS)'nin reaktan grubu kükürt trioksittir. Yüksek sıcaklığa ve güneş ışığına dayanıklı bir madde olarak bilinmektedir. Sıcaklığa olan bu stabilitesi Bisfenol S'yi birçok endüstriyel üründe hammadde olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bisfenol S yaygın olarak, gıda ambalajlarında, farklı amaçla kullanılan etiket ve dergi kağıtlarında hammadde olarak kullanılmaktadır (Vandenberg, 2014).

Liao vd., (2012a) tarafından yapılan bir çalışmada, Amerika ve Asya ülkelerinde yaşayan insanların %81'in idrar örneklerinde serbest ve konjuge halde BPS bulunduğu, yapılan çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Hindistan, Malezya, Japonya, Kore, Kuveyt ve Vietnam dahil olmak üzere 7 Asya ülkesinden

toplam 315 gönüllüden toplanan idrar örneklerinde, ölçülen idrar konsantrasyonlarına göre potansiyel BPS maruziyet değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda ortalama insanların günlük BPS maruziyet değeri 0,930 mg/gün olarak bulunduğu bildirilmiştir.

#### **2.4. Bisfenollerin Migrasyon Mekanizması**

Gıdalara ambalaj materyalinden bisfenollerin migrasyonunda sıcaklık önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmakta ve 30°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda migrasyon miktarında artışlar görülmektedir ( Barnes, Sinclair & Watson, 2007). Migrasyon başlangıç sıcaklığı gıdanın içinde bulunduğu kap veya ambalaja göre değişiklik göstermektedir. Eğer gıda örneği ambalaj içerisinde ise ambalajın bulunduğu ortam sıcaklığı değerlendirilirken, gıdanın pişirilmesi durumunda pişirme sıcaklığı dikkate alınmaktadır. Gıda sanayinde yüksek sıcaklık işlemleri bazı durumlarda ambalaj içindeki gıdaya uygulanabilmektedir. Bunlara örnek olarak sterilizasyon işlemini verebiliriz. Bu durumda sterilizasyon sıcaklığına bağlı olarak ambalajdan gıdaya migrasyon söz konusu olabilir (Pedersen, Hvilsted & Petersen, 2015).

Bisfenol A'nın bebek biberonlarında migrasyonuna yönelik farklı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada, 5 farklı temas ve dolun sıcaklığında biberonlardan suya bisfenol A geçişi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, BPA migrasyon miktarının yasal limitler altında olduğunu göstermektedir. Yapılan diğer bir çalışmada, bebek biberonlarında farklı temas sıcaklığı ve sürelerinin BPA migrasyonun miktarına etkisi olduğunu göstermiştir. Migrasyon miktarının biberonun markasına göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir (Nam, Seo & Kim, 2010; Kızılırmak Esmer, Çağındı & Şahin, 2017).

Yapılan diğer bir çalışmada, bebek biberonlarından suya BPA miktarındaki geçiş incelenmiş ve burada biberonun mikrodalga fırında ısıtılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga fırında ısıtılan biberonlarda temas süresinin ve sıcaklığının artmasına bağlı olarak bisfenol A miktarında artış olduğu belirlenmiştir (De Coensel, David, & Sandra, 2009).

Yapılan bir çalışmada, farklı markalara ait PC biberonlar piyasadan temin edilmiş ve bu biberonların BPA kalıntı düzeyleri araştırılmıştır. Sekiz farklı firmaya ait bu biberonların BPA miktarlarının 0,60-6,23 ppm aralığında olduğu tespit edilmiştir. Biberonların BPA miktarlarının yasal limitlerin altında olduğu belirlenmiştir (Tablo 2.5).

**Tablo 2.5:** Farklı firmalara ait PC biberonlarda tespit edilen BPA kalıntı miktarları (Kızılırmak, Çağındı & Şahin, 2017).

Marka Numaraları	Kalıntı Miktarı(ppm)
1	1,75 ± 0.15 <sup>b</sup>
2	6,23 ± 0.24 <sup>d</sup>
3	0,60 ± 0.05 <sup>a</sup>
4	5,76 ± 1.08 <sup>d</sup>
5	2,20 ± 0.40 <sup>c</sup>
6	2,79 ± 1.36 <sup>c</sup>
7	1,95 ± 0.60 <sup>b</sup>
8	2,10 ± 0.10 <sup>c</sup>

Bebeklerin toksit maddelere hassasiyetlerinin yüksek olması BPA ile yapılan çalışmaların bebek biberonlarında yoğunlaşmasına sebebiyet vermektedir. PC biberonların BPA kalıntılarında ait birçok çalışma yapılmış ve araştırmacılar tarafından farklı sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 2.6).

**Tablo 2.6:** Farklı PC biberonlarda BPA kalıntı miktarları (Kızılırmak, Çağındı & Şahin, 2017).

Malzeme türü	BPA kalıntı miktarı	Referans
PC biberon	1,4-35,3 ppm	Ehlert ve diğerleri, 2008
PC biberon	6-25 ppb	Biedermann-Brem ve diğerleri, 2008
PC biberon	4,01-141 ppm	Wong ve diğerleri, 2005
PC biberon	7-58 ppm	Biles ve diğerleri, 1997
PC biberon	18-139 ppm	Mountforth ve diğerleri, 1997
PC biberon	16,2-17,6 ppm	Nam ve diğerleri, 2010
PC biberon	5-10 ppb	IAT, 2007

Yapılan bir çalışmada, farklı firmalardan temin edilen su şişelerinden suya bisfenol A migrasyonu miktarı ve artış hızı araştırılmıştır. Deneyler farklı sıcaklık (22°C ve 100°C) ve sürelerde (1, 3, 5 ve 7) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar sürenin artmasına bağlı olarak 22°C’de depolanan su şişelerinden BPA migrasyonunun arttığını göstermiştir. Benzer şekilde 100°C’de depolanan su şişelerinden suya BPA migrasyonunun depolama süresine bağlı

olarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca 100°C’de depolanan su şişelerinden suya BPA migrasyon hızının 22°C’de depolanan su şişelerinden suya BPA migrasyon hızına oranının nerdeyse iki katı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar plastik su şişelerinden suya BPA migrasyonunun sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak arttığı ve migrasyon hızının da sıcaklığın artmasıyla yükseldiği belirlenmiştir (H Le, M Carlson, P Chua & M Belcher, 2008).

#### **2.4.1. Malzemelerde Kullanım Durumunun BPA Migrasyonuna Etkisi**

PC (polikarbon) malzemedan yapılan bir ürünün fiziksel ve kimyasal açıdan iyi bir malzeme olmasından kaynaklı tekrar tekrar kullanımına olanak sağlar. Kullanım amacına göre birden fazla farklı işlemlere tabi tutulabilmekte ve farklı ortam koşullarına maruz kalabilmektedir. Bu ürünler, güneş ışığı, nem ve oksijen gibi dış mekân koşullarda bazı fiziksel ve fizikokimyasal özellikleri değişmekte ve malzemenin ana yapısı bozulmaktadır (Diespens & Gijsman, 2010; Pedersen, Hvilsted & Petersen, 2015). Malzemenin kullanımı esnasında uygulanan farklı koşullar PC malzemenin hidrolitik degradasyonunu arttırmaktadır. Özellikle pH’da meydana gelen artış bisfenoller gibi farklı zararlı maddelerin migrasyonun artmasına sebep olmaktadır. Malzemelerin kullanım durumu polimerin degradasyonunda çok önemli olduğu çok fazla kullanılan PC malzemelerinden BFA geçişinin daha fazla olduğu anlaşılmıştır (Marcea, 2009; Bignardi vd., 2015).

Türkiye’de su şişesi ya da damacana olarak kullanılan PC malzemedan yapılmış, kullanım sonrası yıkama işlemine tabi tutulup tekrar tekrar dolumu yapılan ürünün kullanımı yaygındır. Ülkemizde plastik su damacanelerinin kullanım sıklığına ait sınırlama resmi gazetede yayınlanmıştır ve PC malzemedan yapılan su damacanasının kullanımı için verilen süre 5 yıl ile sınırlandırılmıştır veya en fazla 75 kez kullanılabilir olarak belirlenmiştir (Agric, 2008).

Yapılan bir çalışmada, bebek biberonlarında bisfenol A migrasyonunu araştırmak amacıyla alkali test koşulları uygulanmıştır. Burada uygulama sıcaklığı olarak 90°C ve süre olarak da 14 gün belirlenmiştir. Uygulanan bu süre ve sıcaklıkta BPA migrasyon miktarının 13 ppb değerini aştığı belirlenmiştir. Uygulanan yüksek sıcaklık ve uzun temas süresinin BPA migrasyon miktarının yüksek olmasında rol oynadığı düşünülmektedir (Pedersen, Hvilsted & Petersen, 2015). Kullanım durumunun BPA migrasyonuna etkisi hakkında yapılan bir araştırma da kullanım ömürleri 2 ile 14 yıl arası 11 sofraya eşyası ve hiç kullanılmamış 3 adet sofraya eşyasında test sonucu kullanılan eşyaların BPA migrasyonunun hiç kullanılmamış yeni



sofra eşyalarına oranla daha yüksek gerçekleştiği anlaşılmıştır (Bignardi, Cavazza, Salvadeo & Lagana, 2015). Bu çalışma sonuçlarının aksine yapılan diğer bir çalışmada hiç kullanılmamış su şişeleri ile evde ortalama 5-6 yıl normal kullanım koşullarında kullanılmış su şişeleri arasında BPA migrasyonu açısından çok fark görülmemiştir (H Le, M Carlson, P Chua & M Belcher, 2008).

Bebek biberonlarında yapılan bir çalışmada 4 farklı firmaya ait PC biberonun 80°C sıcaklıkta 1 saat süreyle 30 defa deterjan ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan bu yaşlandırma işleminde malzemedeki BPA miktarının 1-7 ppb olduğu tespit edilmiş hiç kullanılmamış yeni örnekteki BPA miktarından oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir (Biedermann-Brem, Grob & Fjeldal, 2008).

#### **2.4.2 Bisfenol Maruziyeti**

2011 yılında yapılan bir araştırmada BPA'nın atmosfere 100 tonun üzerinde salındığı ve 24 milyarlık BPA üretiminin gerçekleştiği bildirilmiştir (Bloom vd., 2016). Günümüzde birçok insan geri dönüştürülmüş su şişelerde, epoksi reçine ile kaplı teneke kaplarda ve polikarbonat kutulardaki içerisine. BPA sızmış olan gıdaları tüketerek bu kimyasala maruziyet yaşamaktadır (Ludwicka, 2015).

İnsanların bisfenollere maruziyetine en büyük kaynak gıdalardır ve gıdalar dışında bisfenollere en yüksek oranda maruz kalma yolu kişilerin meslekleridir (Dekant & Völkel, 2008). Kişilerin gıda tüketimleri ve vücut ağırlıkları göz önünde bulundurulduğunda yetişkin insanların BFA'ya maruziyetlerinin çocuklara göre dört kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir (European Commission, 2008). Yapılan bir çalışmada, yenidoğan bebeklerde BFA maruziyetleri araştırılmıştır ve elde edilen sonuçların 0,1-13,2 ppb aralığında olduğu bildirilmiştir. Elde edilen bu sonuçların oldukça yüksek olduğu ve 1 ng/L'den yüksek olan maruziyetin risk oluşturabileceği düşünülmektedir (Rykowska & Wasiak, 2016).

BPA maruziyetin büyük bir miktarı da doğadaki su kaynakları, hava, toz, termal kâğıt, diğer kâğıt türleri, dental malzemeler, kozmetik, tıbbi cihazlar ve diğer sağlık uygulamaları gibi yollarla da olduğu bilinmektedir (Geens, 2012). Doğadaki su kaynaklarına BPA içeren ürünlerden BPA sızabildiği gibi arıtma tesisleri ve depolama sitelerinden çıkan atık suların da karışabilmektedir. Yapılan çalışmalara göre atık su arıtma tesislerinden çıkan suların BPA düzeyi 370 µg/L'ye çıkabilmektedir. Yüzey sularındaki BPA düzeyinin ise 56 µg/L'ye kadar çıkabildiği tespit edilmiştir (Geens, 2012).

### 2.4.3 Sağlık Üzerine Etkileri

Son yıllarda yapılan çalışmalar, genç yaştaki bireylerin hastalıklara yakalanma riskinin arttığını göstermektedir. Özellikle kanser ve kronik birçok hastalığın genç yaştaki bireylerde görülme oranının oldukça arttığı ve şeker hastalığı gibi hastalıkların çocuk yaştaki bireylerde görülmeye başladığı bilinmektedir. Yapılan araştırmalar, bu hastalıklara yakalanma riskinde beslenme ve çevresel faktörlerin etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle ambalajlı gıdaların tüketiminde meydana gelen artış ambalajdan gıdalara geçen zararlı maddelerin insanları olumsuz etkilemesine yol açmaktadır (Fernandez vd., 2007).

- *Endokrin, üreme sistemi ve tiroid hormonu üzerine etkilerinde;* Endokrin sistemine hasar veren kimyasallar vücutta birçok hastalığa neden olmaktadır. Bu kimyasallar özellikle hormonlarla etkileşime girerek üreme sisteminde birçok hasara sebebiyet vermektedir (Zama & Uzumcu, 2010). Bisfenollerin endokrin sistem üzerine birçok olumsuz etkisi olduğu araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Bu olumsuz etkileri sonucunda, endometriyo, adet düzensizlikleri, hamilelerde düşüklükler, prostat kanseri, kadın ve erkeklerde üreme sorunları gibi birçok hastalığa neden olmaktadır. (Bourguignon & Parent, 2010).

Yapılan bir çalışmada, farelere ağızdan tüp yolu ile BPA verilmiş ve farelerin üreme sistemlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, farelerin sperm kalitesinin oldukça düştüğünü göstermiştir (Salian, Doshi, & Vanage, 2009b).

Yapılan bir çalışmada vücuda alınan yüksek konsantrasyonlardaki bisfenollerin östrojen reseptörlerine bağlanıp östrojenik etki göstererek endometriyal hiperplaziyi arttırdığını bulmuşlardır. Bisfenoller ve östrojen bağlantılı hastalıklar arasında kompleks bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Hiroi vd., 2004).

Yapılan bir diğer çalışmada deney farelerine BPA verilmiş ve farelerin üreme sistemleri incelenmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, farelerin yumurtalıklarında kanser oluşumunun gösterdiği belirlenmiştir (Salian, Doshi & Vanage, 2009a).Yapılan çalışmalar, bisfenollerin tiroid hormonu üzerine olumsuz etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Bisfenol A'nın özellikle testosteron hormonun çalışmasını olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir (Ballesteros-Gomez, Rubio & Perez-Bendito, 2009).Takeuchi vd., 2004 yapmış olduğu bir çalışma sonucunda,

bisfenol A miktarındaki artışın hormonal dengeyi olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

Yapılan çalışmalar, BPA'nın sadece bireyler değil fetus üzerine de olumsuz etkileri olduğunu göstermektedir. Hamile bir bireyin bisfenollere maruz kalmasının fetusun özellikle üreme sisteminde gelişim bozukluklarına sebep olduğu belirlenmiştir (Sajiki vd., 2007).

BPA insan rahmindeki dokulara geçebilmektedir. Yapılan araştırmada anne ve fetus serumunda ve plasentada tespit edilmiş ve plasenta bariyerini geçtiği anlaşılmıştır (Vandenberg vd., 2007).

Bisfenoller, diyetle alım sonrasında hem normal bireylerde hem de fetusta DNA hasarına yol açmaktadır. DNA bazı durumlarda onarılabilmektedir ancak burada meydana gelen kopmalar geri dönüşüzdür. Karaciğer bisfenollerin bir kısmını metabolize etme özelliğine sahiptir ancak metabolizasyon sonrasında ortaya çıkan ara ürünler DNA'da hasara yol açmaktadır. Ayrıca BPA vücutta kalsiyum dengesinde de olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Jalal vd., 2018).

Yapılan bir çalışmada, insan kan hücrelerine bisfenol S'nin etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kan hücrelerinde yer alan kapaz moleküllerinin yapı ve işleyişlerinde olumsuz etkiye sebep olduğu ve kalsiyum dengesini de olumsuz etkilediği belirlenmiştir (Mokra, Kocia & Michalowicz, 2015).

2014 yılında yapılan bir çalışmada BPS'nin üreme hücreleri ve hormonal denge üzerindeki etkilerini görmek amacıyla deney hayvanı olarak zebra balığı kullanılmıştır. Erkek ve dişi zebra balıkları ilk aşamada iki hafta boyunca bisfenolce temiz suda beslenmişlerdir ve süre sonunda embriyolar oluşmuştur. Sonrasında suya kademeli olarak artan konsantrasyonlarda BPS eklenmiş ve balıklar gruplar haline yaşamaya başlamışlardır. Balıklar yetmiş beş gün burada tutulduktan sonra cinsiyetlerine göre ayrılan zebra balıkları 14 gün boyunca temiz suda bakılmıştır. Bu süre zarfında her bir konsantrasyon grubunun yumurtaları toplanıp sayılmış zebra balıklarının üreme organı, karaciğer, vücut ağırlıkları ve uzunlukları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar dişi ve erkek balıkların boy uzunluklarını olumsuz etkilediği ve balıkların kısa kaldıklarını göstermektedir. Erkek zebra balıklarında testosteron

değerlerinde ve plazma tiroid hormon seviyelerinde önemli ölçüde azalma görülmüştür. Çalışma sonucunda düşük dozlardaki BPS maruziyetinin, hormonal dengesizliğe ve üreme bozukluklarına neden olabileceği iddia edilmiştir (Naderi, Wong & Gholami, 2014).

- *Bağışıklık Sistemi Üzerine Etkileri;* Hayvanlarla yapılan bazı çalışmalar bisfenollerin bağışıklık sistemini düşürdüğünü göstermektedir. Yapılan bir çalışmada, fareler anne karnında bisfenole maruz bırakılmış ve farenin bağışıklık sisteminde meydana gelen değişiklikler izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu farelerin lenfositlerinde hastalıkların ortaya çıktığını göstermektedir (Yan, Taka oto & Sugane, 2008). Yapılan diğer bir çalışmada bisfenol A'nın antikor seviyeleri üzerine tepkisi incelendiğinde, BPA'ya maruz kalan hayvanlarda antikor üretiminin normal düzeyin üzerinde arttığı gözlemlenmiştir (Goto vd., 2007).
- *Karsinojenik Etkileri;* Yapılan çalışmalar bisfenollerin birçok kanser türünün ortaya çıkmasında rol aldığını göstermektedir (Ballesteros-Gomez, Rubio & Perez-Bendito, 2009). Özellikle endokrin sistemin bozulması sonucu ortaya çıkan birçok kanser türünde bisfenoller rol oynamaktadır. Bisfenollerin üreme organlarında yol açtığı hasar, rahim, meme ve prostat gibi birçok kanser türünü tetiklemektedir (Darbre & Charles, 2010; Meeker, 2010; Walvoord, 2010).
- *Obeziteye Etkileri;* Bisfenollerin yağ dokularının oluşumunda rol oynadığı bilinmektedir. Ancak bisfenollerin yağ dokularının oluşumunda ne gibi bir rol oynadığı henüz bilinmemektedir. Bu konuya netlik getirmek amacıyla bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada, belli süre boyunca bisfenol A verilen hayvanlarda beslenme bozukluğu yaşanmıştır. Yapılan diğer bir çalışmada, BPA verilen hayvanların trigliserit seviyelerinde herhangi bir değişiklik görülmemiştir (Ben- Jonathan, Hugo & Brandebourg, 2009). Bazı çalışma sonuçları ise bisfenollerin insanların insülin seviyeleri üzerine olumsuz etkisi olduğunu belirtmektedir (Alonso-Magdalena vd., 2010).

Yapılan bir çalışmada, bisfenol A'ya maruz kalmış obez ve obez olmayan polisiklik over sendromu olan kadınlar incelenmiştir. Bu kadınların kanlarında BPA miktarının sağlıklı kadınlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kadınlara ait beden kitle indeksi incelendiğinde, kandaki bisfenol A miktarı yüksek olan kadınların

benzer şekilde beden kitle indekslerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir (Takeuchi, Tsutsumi, Ikezuki, Takai & Taketani, 2004).

Denek hayvanları üzerinde yapılan bir çalışmada günde en düşük 0,025 µg/kg ile en yüksek 50 µg/kg doz aralığında BFA'ya maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda doz miktarlarının yoğunluklarına göre hayvanlardaki etkileri Tablo 2.7'da belirtilmiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada bisfenollerde akut oral toksisitesinin belirlenmesi amacıyla erkek ve dişi fareler kullanılmıştır. Erkek ve dişi farelere ağızdan farklı dozlarda (2000 mg/kg ve 5000 mg/kg) BPA verilmiştir. Düşük dozda alan erkek ve dişi farelerin yaşadığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yüksek konsantrasyonda BFA alan erkek ve dişi farelerin öldüğünü göstermektedir. Ayrıca erkek farelerin BFA'ya dayanımının dişi farelere göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, BPA'nın ölümcül risk oluşturmasında alınan BPA miktarının ve cinsiyetin önemli olduğunu ortaya koymaktadır (ECB, 2003).

**Tablo 2.7:** Hayvanlarda düşük doz Bisfenol A maruziyetinin etkileri (Huang vd., 2011).

<b>Doz(µg/kg/gün)</b>	<b>Etki (Hayvan Çalışmalarında Ölçülen)</b>	<b>Kaynaklar</b>
<b>0,025</b>	Genital kanalda kalıcı değişiklikler	Markey vd., (2005)
<b>0,025</b>	Meme dokusunda hücrelerin hormonlar ve karsinojenlere yatkınlığının artması	Muñoz-de-Toro vd., (2005)
<b>1</b>	Uzun dönem olumsuz üreme ve karsinojenik etkile	Newbold vd., (2009)
<b>2</b>	Prostat ağırlığında %30 artış	Nagel vd., (1997)
<b>2</b>	Vücut ağırlığında azalma, her iki cinsiyette de anogenital farklılıkta artış, erken puberte belirtileri	Honma vd., (2002)
<b>2,4</b>	Testiküler testosteronda azalma	Akingbemi vd., (2004)
<b>2,5</b>	Meme hücrelerinin kansere yatkın hale gelmesi	Murray vd., (2007)
<b>10</b>	Prostat hücrelerinin hormonlar ve kansere daha duyarlı hale gelmesi	Ho vd., (2006)
<b>10</b>	Maternal davranışların azalma	Palanza vd., (2002)

30	Beyin yapısı ve davranışlarda cinsiyet farkının tersine dönmesi	Kubo vd., (2003)
50	İnsan olmayan primatlarda ters nörolojik etki	Leranth vd., (2008)
50	Overlerin gelişiminde bozukluk	Adewale vd., (2009)

#### 2.4.4 Yasal Düzenlemeler

Tüketici sağlığını korumak amacıyla Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) Bisfenol A günlük tolere edilebilir alım değerini ve migrasyon sınırını (SML) sınırlandırmaktadır. 1986 yılında Bilimsel Gıda Komitesi (SCF) Bisfenol A'nın günlük alım değerini, gıdayla temasta bulunan plastik malzemeler için 50 µg/kg olarak belirlemiştir (EFSA, 2002). 2002 yılında EFSA bu değeri 10 µg/kg olarak değiştirmiştir. Daha sonra 2006 yılına geldiğinde EFSA bu değeri tekrar 50 µg/kg olarak belirlemiştir. İlerleyen yıllarda EFSA'nın yayınladığı raporlarda 50 µg/kg olan günlük Bisfenol A alım değerini yenilemeye gerek olmadığı belirlenmiştir (EFSA, 2006; EFSA, 2014).

Türk Gıda Kodeksinde bisfenol A ile ilgili yapılan düzenlemeler EFSA'da yer alan limit değerler ile uyumludur. Türk Gıda Kodeksi, Gıda Maddeleri ile Temasta Bulunan Plastik Madde ve Malzemeler Hakkındaki Tebliğ'de Plastik madde ve malzemelerin bileşenlerinin gıda maddesine toplam geçiş miktarı madde veya malzemenin yüzey alanının desimetre karesinde 10 miligramdan fazla olamayacağı belirtilmiştir. Bu değer plastik madde veya malzemenin toplam migrasyon limiti olarak tanımlanmaktadır (mg/dm<sup>2</sup>) (Türk Gıda Kodeksi. Gıda maddeleri ile temasta bulunan plastik madde ve malzemeler tebliği- 2005/31, 2024).

Amerika Birleşik Devletleri dünya BPA üretiminde dünyada ilk sıralarda yer almaktadır. Ancak BPA üretiminin ABD'de yüksek olmasına rağmen bisfenollere ait limit değerlerin yer aldığı geçerli yasal düzenlemeler ABD'de bulunmamaktadır (NTP-CERHR Monograph on the Potential Human Reproductive and Developmental Effects of Bisphenol-A, 2008).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Bardak Örnekleri

Araştırmada kullanılan bardak çeşitleri Eskişehir ilinde yer alan farklı firmalardan tedarik edilmiştir. Firmaların gizlilik haklarının korunması sebebiyle firma isimleri verilmemiştir. 80 adet bardak migrasyon analizlerinde kullanılmış ve örneklere ait kodlar Tablo 3.1’de verilmiştir. Bardaklar analiz yapılmaya kadar oda sıcaklığında (yaklaşık 20 °C) muhafaza edilmiştir.

**Tablo 3.1:** Bardaklara ait örnek kodları ve bardak özellikleri.

<b>Örnek kodları</b>	<b>Bardak çeşidi</b>	<b>Bardak Hacmi (ml)</b>
A1	Baskısız	200
A2	Beyaz	200
A3	Beyaz kalın	200
A4	Siyah	200
A5	Ekolojik Beyaz	200
A6	Kırmızı renkli	200
A7	Altın renkli	200
A8	Gümüş renkli	200
B1	Baskılı	200
B2	Baskılı	200
B3	Baskılı	200
B4	Baskılı	200
B5	Baskılı	200
B6	Baskılı	200
B7	Baskılı	200
B8	Baskılı	200
B9	Baskılı	200
B10	Baskılı	200
B11	Baskılı	200
B12	Baskılı	200
B13	Baskılı	200

B14	Baskılı	200
B15	Baskılı	200
B16	Baskılı	200
B17	Baskılı	200
B18	Baskılı	200
B19	Baskılı	200
B20	Baskılı	200
B21	Baskılı	236
B22	Baskılı	206
B23	Baskılı	192
C1	Köpük Bardak	200
C2	Köpük Bardak	200
C3	Köpük Bardak	200
D1	Kraft Bardak	236
D2	Kraft Bardak	236
D3	Kraft Bardak	236
E1	Termo Bardak	400
E2	Termo Bardak	400
E3	Termo Bardak	400

### 3.1.2 Kimyasal Malzemeler

Metanol ve su HPLC saflığında olup Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir. 2,2-bis(4-hydroxyphenyl)propane; (BPA) (CAS: 80-05-7), 2,2-Bis(4-hydroxyphenyl)butane; (BPB): (CAS: 77-40-7), Bis(4-hydroxyphenyl)-2,2-dichloroethylene; (BPC): (CAS: 14868-03-2), 4,4'-Ethylidenebisphenol, 1,1-Bis(4-hydroxyphenyl)ethane; (BPE): (CAS: 2081-08-5), Bis(4-hydroxyphenyl)methane, 4,4'-Methylenediphenol; (BPF): (CAS: 620-92-8), 2,2-Bis(4-hydroxy-3-isopropylphenyl)propan; (BPG): (CAS: 127-54-8) ve 4,4'-Sulfonyldiphenol; (BPS): (CAS: 80-09-1) Dr. Ehrenstorfer GmbH (Augsburg, Germany) firmasından temin edilmişlerdir.



### **3.1.3 Kullanılan Enstrümental Cihazlar**

Çalışmada, Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi- kütle spektrometrisi (LC/MS/MS) (Binary gradient LC-40D XS- Autosampler Model SIL-40C XS- Oven Model CTO-40S- Shimadzu 8050 model sıvı kromatografi cihazı ve triple kuadropol MS/MS dedektörü) aygıtları kullanılmıştır.

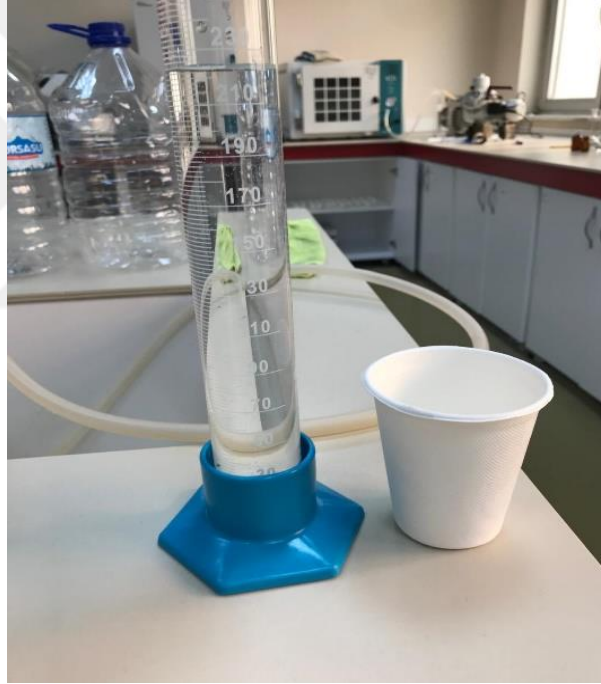


## 3.2 YÖNTEM

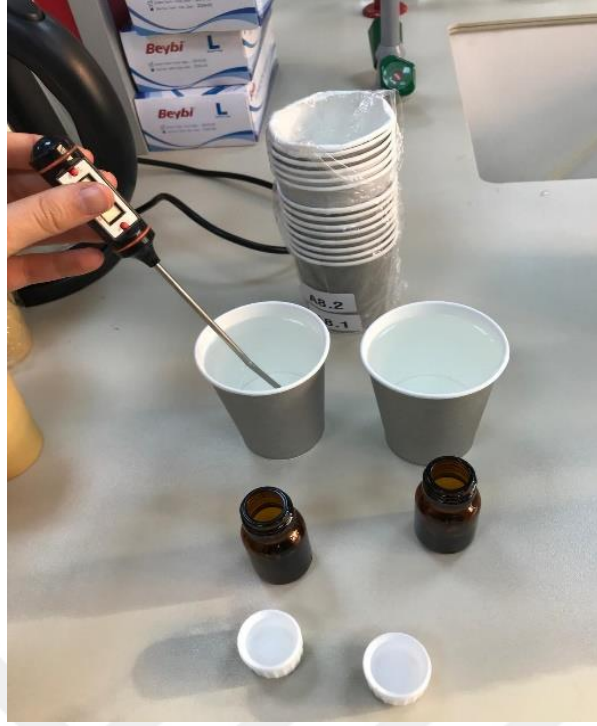
### 3.2.1 Örnek Hazırlanması

Numunelerin hazırlanmasında Ranjan (2021) tarafından yayınlanan yöntem esas alınmış olup uygulamada bazı değişiklikler yapılmıştır.

Bardaklardan sıcak içeceklere bisfenol analoglarının migrasyonunu belirlemek amacıyla distile saf su (90-95 °C) örnek bardaklarına koyulduktan sonra 15 dakika süresi boyunca bardakta bekletilmiştir. Sıcak suyun bardakta bekleme süresi günlük kullanımda kişilerin yaklaşık olarak 15 dakika içeceği bardakta beklettiği düşünülerek seçilmiştir. Sıcak suyun miktarı bardakların üst kısmından 5 mm aşağıda olacak şekilde koyulmuştur. Süre sonunda örneklerin 1 ml si LC/MSMS enjeksiyonu için uygun vial içerisine koyulmuştur.



**Şekil 3.1:** Bardaklara koyulacak su miktarının belirlenmesi.



**Şekil 3.2:** Örnek sıcaklıklarının ölçümü.



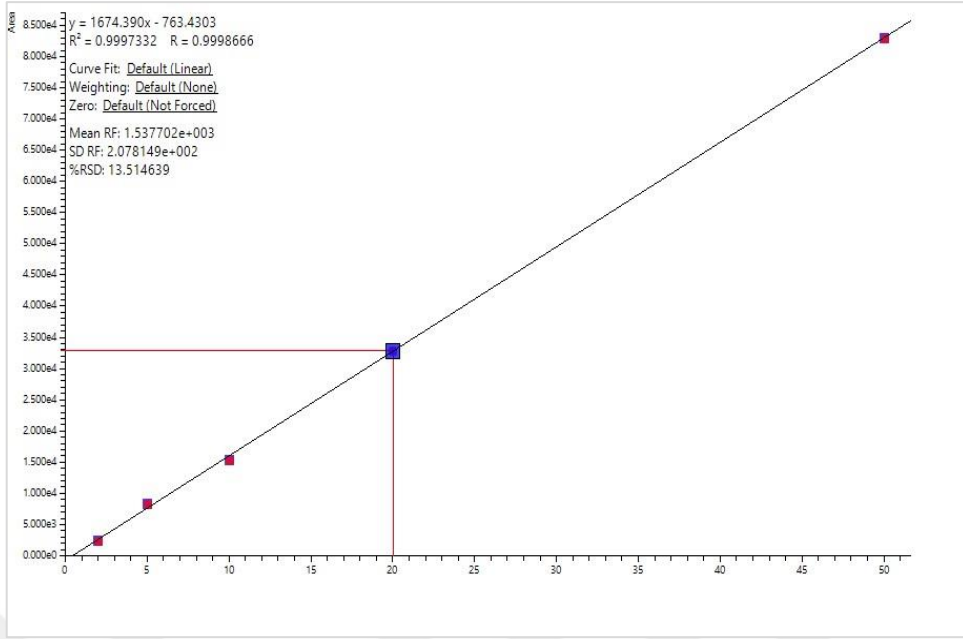
**Şekil 3.3:** Bardaklarda bekletilen sıcak suların örnek şişelerine alınması.



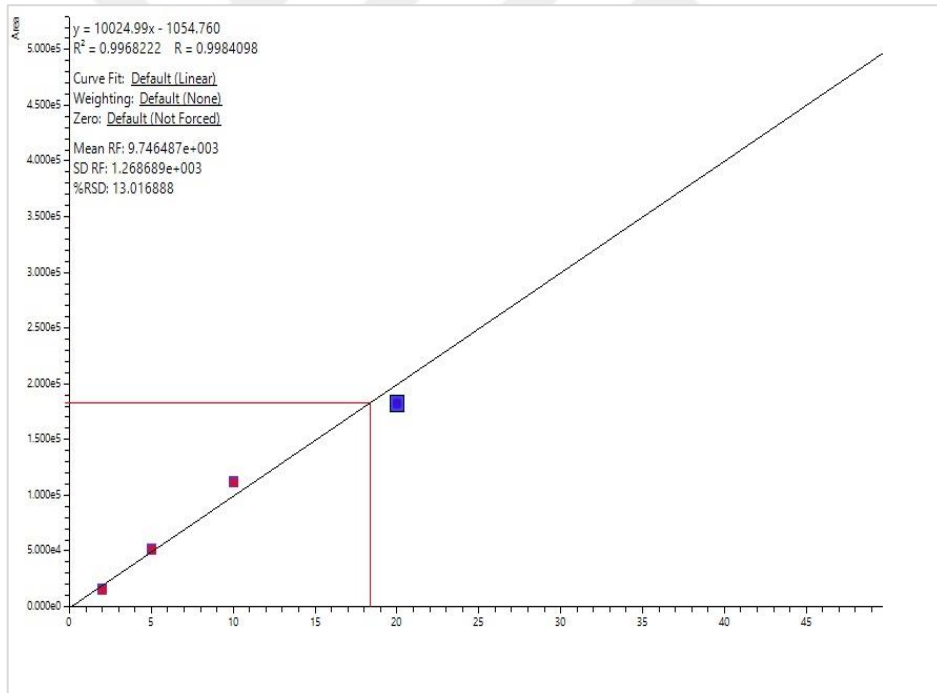
**Şekil 3.4:** Hazırlanan örnekler ve kullanılan bardaklar.

### **3.2.2 Bisfenol Analoglarına Ait Standart Çözeltilerinin Hazırlanması**

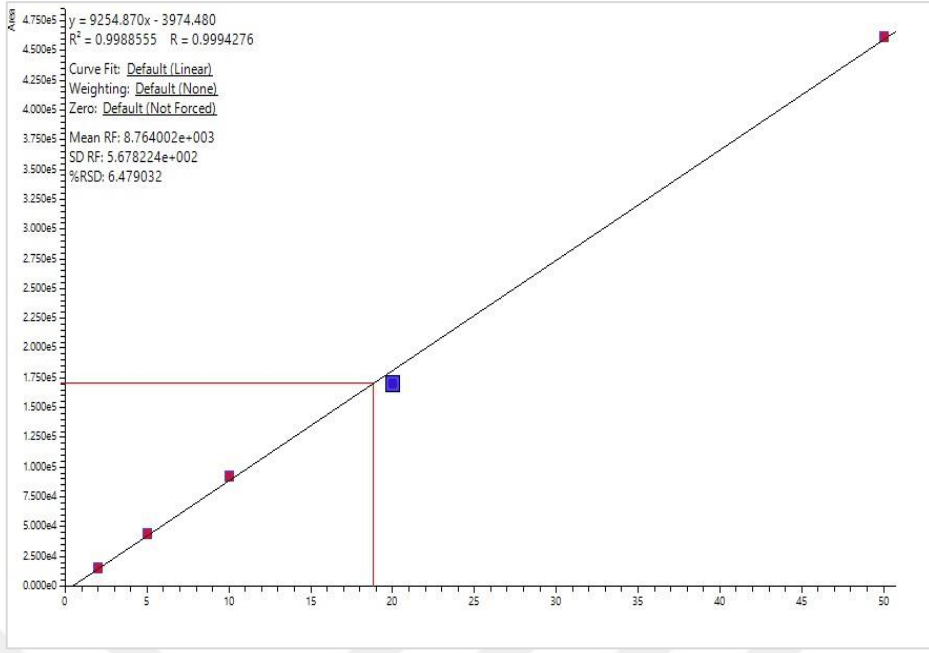
Her bir bisfenol analoguna ait standart çözeltiler bisfenol standardının uygun miktarda metanolde çözülmesi ile hazırlanmıştır. Kalibrasyon eğrisinin çizilmesinde 7 farklı konsantrasyon olmak üzere 5-100 ppb aralığında farklı konsantrasyonlarda standart çözeltiler hazırlandı. Hazırlanan stok çözeltiler LC/MSMS cihazında analiz edildikten sonra kalibrasyon eğrileri (Şekil 3.5- 3.6- 3.7- 3.8- 3.9) hazırlanmıştır.



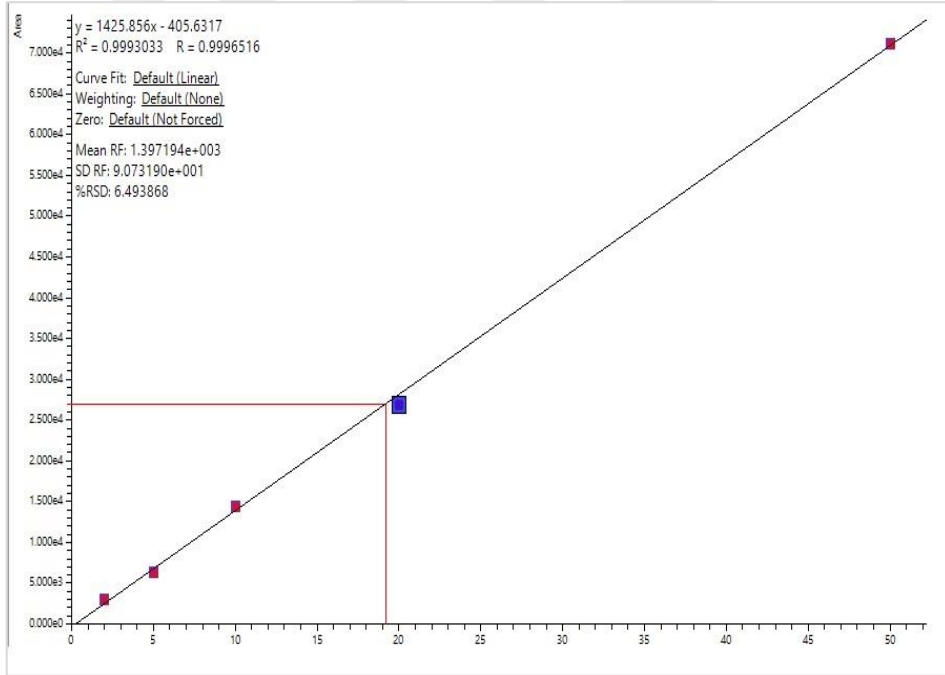
**Şekil 3.5:** BPA standart eğrisi.



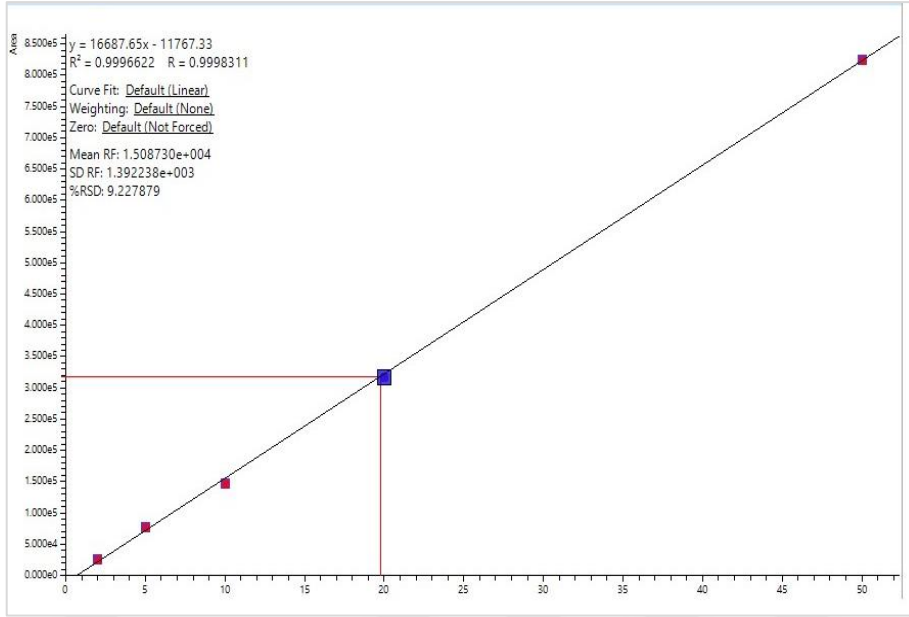
**Şekil 3.6:** BPB standart eğrisi.



Şekil 3.7: BPE standart eğrisi.



Şekil 3.8: BPF standart eğrisi.



**Şekil 3.9:** BPS standart eğrisi

### 3.2.3 Bisfenol Analoglarının Tayini

Numunelerde bisfenol analoglarının belirlenmesinde LC/MSMS cihazı kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te verilen çalışma koşullarında analiz edilmişlerdir.

**Tablo 3.2:** Bisfenol analoglarının analizinde kullanılan elüsyon profili.

Süre (Dakika)	Mobil Faz A (%)	Mobil faz B (%)
0	65	35
0.3	65	35
7	0	100
9	0	100
9.10	65	35

**Tablo 3.3:** Bisfenol analoglarının analizinde kullanılan cihaz çalışma koşulları.

<b>Parametreler</b>	
Mobil faz A	Su
Mobil faz B	Metanol
Kolon	GL Science InertSustain Swift C18 (2.1mm* 100mm, 3 um) (UP) Cat no:5020-88127-Raptor Biphenyl (2.1mm* 100mm, 2.7 um)
Kolon sıcaklığı	40 °C
Enjeksiyon hacmi	2 ul
İçyüzey sıcaklığı	300 °C
DL sıcaklığı	250 °C
Nebulizör gaz akış hızı	3.00 L/dk
Sıcak gaz akış hızı	10.00 L/dk
Heat Block	400 °C
Kuru hava akış hızı	10.00 L/dk
Akış hızı	0.3 ml/dk
Analiz süresi	12 dk.

### 3.2.4 Yöntem Çalışmaları

Yapılan çalışmada performans kriterlerinin belirlenmesi amacıyla tayin limiti (LOQ), tespit limiti (LOD) ve geri kazanım/geri alma değerleri belirlenmiştir.

#### 3.2.4.1 Tayin Limiti (LOQ) ve Tespit Limiti (LOD)

Tayin limiti (LOQ), analitin en güvenilir şekilde ölçülebildiği, kabul edilebilir gerçeklik ve tekrarlanabilirlik kesinliğinde belirlendiği en düşük konsantrasyon seviyesidir. Tespit limiti (LOD) ise analitin uygulanan analiz prosedürü sonucunda tespit edilen makul kesinlikteki en düşük miktardır. Bisfenol türevlerinin tayin (LOQ) ve tespit (LOD) limitlerine ait değerler Tablo 3.4'te verilmiştir.



**Tablo 3.4:** Bisfenol türevlerinin tayin limitleri.

<b>Madde</b>	<b>Tayin limiti (LOQ) (ppb)</b>	<b>Tespit limiti (LOD) (ppb)</b>
BPA	1,77	0,53
BPS	3,87	1,16
BPE	2,18	0,66
BPF	1,69	0,51
BPB	1,31	0,39

#### 3.2.4.2 Geri alma/Geri kazanım

Geri kazanım analiz edilen örnekte tespit edilen konsantrasyonun örnekte var olan veya eklenen analit konsantrasyonuna oranıdır ve % olarak ifade edilir. Bisfenol türevlerinin geri kazanım değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

**Tablo 3.5:** Bisfenol türevlerinin geri kazanım değerleri.

<b>Madde</b>	<b>Geri kazanım (%)</b>		
	<b>0,01 mg/kg</b>	<b>0,05 mg/kg</b>	<b>0,1 mg/kg</b>
BPA	97	99	101
BPS	90	92	101
BPE	87	91	98
BPF	95	97	101
BPB	91	95	99

#### 3.3 Bardaklarda Kalınlık Ölçümü

Analizlerde kullanılan bardakların kalınlık ölçülerinde dijital kumpas kullanılmıştır. Bardakların kalınlık ölçümleri yapılırken her bir bardağın belli bir kesiti alınmıştır. Her bir çeşit için ölçümler 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1 Bardaklardan Sıcak İçeceklere BPA, BPS, BPE, BPF ve BPB Migrasyon Düzeylerinin Değerlendirilmesi

Farklı özellikte ve farklı firmalardan elde edilen bardaklardan sıcak suya bisfenol türevlerinin (BPA, BPS, BPE, BPF ve BPB) migrasyon miktarı Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 incelendiğinde, analiz edilen numunelerde BPS, BPE, BPF ve BPB bisfenol türevlerinin miktarının ölçüm limiti altında olduğu belirlenmiştir. Türk gıda kodeksi ilgili yönetmelikte BPE, BPF ve BPB türevleri için limit değer belirtilmezken, BPS için limit değer 0,05 mg/kg olarak belirtilmiştir. Bisfenol türevlerinin gıdalara migrasyonunda ambalaj ve gıda arasındaki kontak süresinin migrasyona etki eden en önemli parametre olduğu bilinmektedir. Migrasyon miktarına etki eden diğer önemli parametrelerin ise sıcaklık ve gıdanın pH derecesi olduğu bilinmektedir. Bisfenol migrasyonu bu parametrelerin artmasına bağlı olarak artmaktadır (Priovolos & Samanidou, 2023).

Tablo 4.1 incelendiğinde, analiz edilen numunelerde BPA tespit edilirken, BPS, BPE, BPF, BPB miktarlarının ölçülebilir limit altında olduğu görülmektedir. Bisfenollerin migrasyonunda gıda simulantının özelliği etkili bir faktör olarak burada karşımıza çıkmaktadır. Gıdanın hidrofilik veya lipofilik olması bisfenollerin migrasyonuna etki etmektedir (Priovolos ve Samanidou, 2023). BPA’nın hidrofilik özelliğinin diğer bisfenol türevlerine göre yüksek olması (Priovolos ve Samanidou, 2023) yapılan bu çalışmada numunelerde BPA’nın tespit edilmesinde rol oynamaktadır. Mahlangu vd. (2023) yaptıkları çalışmada, Güney Afrika'nın Ga-Rankuwa kentindeki süpermarketlerden konserve yiyecekler (fırında fasulye, konserve balık ve konserve sığır eti) temin etmişlerdir ve bu örneklerde BPA, BPF, BPB, BPE ve BPS miktarlarını incelemişlerdir. Bisfenol A tüm gıda kategorilerinde tespit edilirken (16,5–191 µg/kg) bisfenol B sadece konserve fasulye örneklerinde 15,4-49,2 µg/kg miktarlarında tespit edilmişlerdir. Analiz edilen örneklerde BPE ve BPF tespit edilememiştir.

Schiano vd., (2023) yaptıkları çalışmada, İtalya’da satışa sunulan farklı markalara ait konserve bakla örneklerinde Bisfenol A (BPA), bisfenol B (BPB), bisfenol F (BPF) ve bisfenol S (BPS) konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Analiz edilen örneklerde BPB, BPS ve BPF tespit edilmezken, analiz edilen örneklerin %91’inde 1,51–21,22 ng/mL aralığında değişen konsantrasyonlarda BPA tespit edilmiştir.

**Tablo 4.1:** Bardak örneklerinden sıcak suya bisfenol esterleri migrasyon konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ).

<b>ÖRNEK KODU</b>	<b>BPA</b>	<b>BPB</b>	<b>BPE</b>	<b>BPF</b>	<b>BPS</b>
A1	5,98±0,51	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
A2	5,68±0,30	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
A3	1,97±1,80	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
A4	4,77±0.35	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
A5	6,32±0.42	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
A6	6,14±0.31	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
A7	5,67±0.46	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
A8	3,30±3.14	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B1	6,84±0.92	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B2	7,68±0.06	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B3	7,52±0.14	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B4	4,37±4.25	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B5	7,44±0.96	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B6	7,44±0.20	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B7	7,89±0.38	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B8	6,92±0.53	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B9	6,33±1.22	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B10	6,58±0.90	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B11	7,62±0.27	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B12	2,84±2.64	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B13	6,79±0.42	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B14	6,15±0.50	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B15	9,73±2.10	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B16	4,09±3.97	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B17	8,73±1.20	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B18	15,04±2.29	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B19	13,98±7.43	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B20	7,45±0.36	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B21	3,20±3.03	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

B22	13,27±5.42	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
B23	14,46±6.76	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
C1	9,29±1.04	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
C2	6,69±0.46	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
C3	3,98±3.66	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
D1	6,34±0.21	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
D2	7,33±0.73	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
D3	7,75±0.06	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
E1	0,15±0.01	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
E2	9,70±0.10	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
E3	0,23±0.05	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

LOQ: tayin limiti

Tablo 4.1 incelendiğinde analiz edilen numunelerin tümünde BPA tespit edilmesine rağmen, belirlenen BPA miktarının Türk Gıda Kodeksinde belirtilen limit değerin (SML) altında olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada, farklı özelliklere sahip bardaklarda BPA migrasyonu incelenmiş ve en yüksek BPA miktarı B18 kodlu örnekte 15,04 µg/kg olarak tespit edilmiştir. En düşük BPA miktarı ise 0,15 µg/kg olarak E1 kodlu örnekte tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, baskılı karton bardakların BPA miktarlarının ortalamalarının diğer gruplardaki bardaklardan yüksek olduğunu gösterirken, termo bardakların BPA migrasyon miktarının ortalamalarının en düşük değerde olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.1'e göre, A kodu ile gösterilen baskısız bardaklardan BPA migrasyon miktarlarının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, 1,97 µg/kg (A3) ve 6,32 µg/kg (A5) olarak belirlenmiştir. Baskılı bardaklarda BPA migrasyon miktarı 2,84- 15,04 µg/kg aralığında değişen miktarlarda tespit edilirken, köpük bardaklarda bu miktar 3,98-9,29 µg/kg olarak tespit edilmiştir. Kraft bardak çeşitlerinin BPA migrasyon miktarları birbirine çok yakın değerdedir ve 6,34-7,75 µg/kg olarak belirlenmiştir. Üç farklı firmadan temin edilen termo bardaklardan BPA geçiş miktarları ise 0,15-9,70 µg/kg olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler farklı özelliğe sahip bardaklardan BPA migrasyonun değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Wang vd., (2023) yaptıkları çalışmada teneke ve teneke olmayan kutularda ambalajlanmış kırmızı etlere ambalaj materyalinden BPA migrasyonunu incelemişlerdir. Analiz sonuçları

değerlendirildiğinde et örneklerinde tespit edilen BPA miktarının %3'ünden ambalaj materyalinin sorumlu olduğu görülmüştür. Bu sonuç gıdalara BPA geçişinden sadece ambalaj materyalinin sorumlu olmadığını göstermektedir.

Almeida Soares vd., (2023) yaptıkları çalışmada UHT sütlerde ve süt ambalajlarında BPA ve BPS miktarlarını incelemişlerdir. Analiz edilen süt örneklerinde 60-150 ng/mL aralığında değişen oranlarda BPA ve BPS konsantrasyonu tespit edilmiştir. BPA için LOD ve LOQ değerleri sırasıyla 1,5 ve 4,8 ng/mL olarak belirlenirken, BPS için bu değerler sırasıyla 4.8 ve 16 ng/mL olarak belirlenmiştir. Kesinlik değeri %20'nin altında tespit edilirken, geri kazanım %100'e yakın değerde bulunmuştur. Linerity değeri her bir bileşen için  $R^2 > 0.98$  olarak tespit edilmiştir.

Dehdashi vd., (2023) yaptıkları çalışmada 10 ülkede bulunan bebek biberonlarında BPA miktarı ve günlük BPA alımlarını incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada, BPA'nın günlük alım yoluyla ilişkili potansiyel risklerinin yanı sıra 0 ila 6, 6 ila 12 ve 12 ila 24 ay olmak üzere 3 yaş grubundaki bebekler üzerindeki östrojenik etkisi Monte Carlo simülasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca BPA'nın migrasyon sürecinin kinetiğini tahmin etmek için kinetik modeller uygulanmıştır. 3 yaş grubu için ortalama günlük alım sırasıyla 191,1, 161,37 ve 153,76 µg/kg/gün olarak elde edilmiştir.

Souza vd., (2023) yaptıkları çalışmada, Brezilya'nın Rio de Janeiro şehrinde farklı üreticilerden temin ettikleri 51 adet UHT süt ve süttozuna ait BPA konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Analiz ettikleri 51 örnekten yalnızca ikisinin (%3,9) sınırının üzerinde BPA seviyeleri içerdiği görülmüştür. Bu örneklerde BPA konsantrasyonu tam yağlı süt tozu ve tam yağlı süt için sırasıyla 1,75 ve 0,50 ng/g olarak belirlenmiştir. Analiz edilen 44 örneğin BPA miktarlarının LOD'un altında olduğu belirlenirken, 5 örneğin LOD'un üstünde olduğu belirlenmiştir.

Baz vd., (2023) yaptıkları çalışmada, Suudi Arabistan'ın Cidde kentinden temin edilen şişelenmiş içme sularında BPA'nın suya migrasyonunu yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC) cihazı kullanılarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada, içme suları oda koşullarında (23-25 °C), güneş ışığında (40-43 °C) ve su banyosunda (100 °C 30 dakika, 30 gün oda sıcaklığında) depolanarak BPA miktarlarındaki değişim gözlemlenmiştir. PET ambalajlarda bulunan tüm suların BPA analiz sonuçlarının düşük olduğu belirlenmiştir. Oda sıcaklığında 30 gün depolanan sulardaki ortalama BPA konsantrasyonun 9.46 ng/L olduğu

belirlenirken, güneş ışığında depolanan su örneklerinde ve su banyosunda depolanan örneklerde belirlenen BPA miktarlarının sırasıyla 16.13 ve 14.7 ng/L olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ışığa uzun süre maruz kalan şişelerdeki suların BPA miktarının risk oluşturabileceğini göstermektedir.

Kumar vd., (2023) yaptıkları çalışmada, Hindistan'ın Punjab şehrinden temin ettikleri konserve alkolsüz içecek, plastik ambalajda su ve ev tipi su depolarından alınan sularda BPA miktarını belirlemiştir. Çalışmanın sonunda, konserve alkolsüz içeceklerde iz miktarda BPA belirlemiştir. Konserve alkolsüz içeceklerde ve plastik ambalajda bulunan sularda BPA konsantrasyonları sırasıyla 8,2-14,01 ng/mL ve 60-90 ng/ mL olarak belirlenmiştir.

#### 4.2 Bardaklara Ait Kalınlık Ölçüm Değerleri

Farklı firmalardan temin edilen karton, kraft, köpük ve termo bardakların kalınlıkları dijital kumpas kullanılarak ölçülmüş, bardaklara ait kalınlık ölçüm sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablo 4.2'de görüldüğü gibi farklı firmalardan temin edilen bardakların kalınlıkları 0,20 mm (A2 ve B21) ile 2,56 mm (E1) arasında değişmektedir. Farklı ve aynı grupta yer alan bardaklara ait kalınlık ölçümleri değişkenlik göstermektedir. Özellikle baskılı karton bardakların kalınlıklarının diğer grupta yer alan bardakların kalınlıklarından daha düşük olduğu görülürken, termo bardaklara ait kalınlık verilerinin diğer gruplarda yer alan bardakların kalınlıklarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Sıcak içeceklerde kullanılan bardakların kalınlıklarının farklı olmasını ambalajın üretim şartlarının, ambalaj materyalinin özelliklerinin ve üretimde kullanılan malzemenin farklılığından etkilediği düşünülmektedir.

**Tablo 4.2:** Farklı firmalardan temin edilen bardaklara ait kalınlık ölçüm değerleri.

Bardak Türü	ÖRNEK KODU	Kalınlık (mm)
	A1	0,49 ± 0.01
	A2	0,20 ± 0.01
	A3	0,33 ± 0
<b>BASKISIZ</b>	A4	0,35 ± 0
	A5	1,09 ± 0.02
	A6	0,35 ± 0.02
	A7	0,35 ± 0.03
	A8	0,42 ± 0.04

	B1	0,36 ± 0.03
	B2	0,40 ± 0.02
	B3	0,40 ± 0.05
	B4	0,31 ± 0.01
	B5	0,38 ± 0.02
	B6	0,36 ± 0.03
	B7	0,35 ± 0.02
	B8	0,33 ± 0.01
	B9	0,31 ± 0.01
	B10	0,48 ± 0.01
	B11	0,37 ± 0.01
<b>BASKILI</b>	B12	0,34 ± 0.01
	B13	0,31 ± 0.02
	B14	0,33 ± 0.01
	B15	0,37 ± 0.01
	B16	0,34 ± 0.01
	B17	0,36 ± 0.03
	B18	0,34 ± 0.01
	B19	0,35 ± 0.01
	B20	0,55 ± 0.02
	B21	0,20 ± 0.02
	B22	0,24 ± 0.04
	B23	0,34 ± 0
	C1	2,15 ± 0.01
<b>KÖPÜK</b>	C2	1,74 ± 0.09
	C3	2,04 ± 0.04
	D1	0,78 ± 0.02
<b>KRAFT</b>	D2	1,19 ± 0.01
	D3	0,82 ± 0
	E1	2,56 ± 0
<b>TERMO</b>	E2	2,30 ± 0
	E3	2,35 ± 0

Yapılan bir alışmada, gazlı iecekler PET ambalajlarda farklı srelerde depolanmıştır ve depolama sonrasında ambalaj materyalinden gazlı ieeklere fitalat esteri migrasyonu incelenmiştir. Bu çalışmada, kullanılan PET şişelerin kalınlık ölçümleri yapılmış ve kalınlık ölçüm değerlerinin 0,21 mm ile 0,49 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. İçeceklerde kullanılan ambalaj materyali kalınlığının kullanılan ieeğin özelliğine göre farklılık gösterdiği belirtilmiştir (İşçi, 2023).





## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tek kullanımlık gıda ambalajlarının günlük hayata getirdiği rahatlık ve konfor sebebiyle her geçen gün bu ambalajların kullanımı artmaktadır. Gıdaların servis ve sunumunda plastik, karton ve farklı özellikte birçok tek kullanımlık tabak, bardak, çatal, kaşık gibi malzemeler kullanılmaktadır. Özellikle tek kullanımlık bardaklar bu ambalajların en sık tüketilen grubunu oluşturmaktadır. Yoğun iş temposunda insanlara konfor ve rahatlık sağlayan bu bardakların insan sağlığı açısından ne gibi riskler oluşturabileceği henüz tam olarak bilinmemektedir. Yaptığımız çalışmada, baskılı kağıt/karton, baskısız kağıt/karton, kraft, köpük ve termo bardak olarak tanımlanan beş farklı özellikte sıcak içeceklerde kullanılan bardaklarda sıcak içecek kullanılması durumunda içeceğe bisfenol türevlerinin (BPA, BPB, BPE, BPF ve BPS) migrasyonu araştırılmıştır. Numunelerde bisfenol türevlerin belirlenmesinde LC/MS/MS cihazı kullanılmıştır. Ayrıca bardaklara ait ölçümler yapılarak bardakların kalınlık değerleri belirlenmiştir. Bardaklara ait kalınlık değerleri ile bisfenol türevlerinin içeceğe migrasyonu arasında herhangi bir ilişki gözlemlenmemiştir. Analizler için kullanılan analitik prosedür performansının belirlenmesi amacıyla yapılan metot validasyon çalışmaları, doğrulama parametrelerinin ve metot hassasiyetinin oldukça iyi olduğunu göstermektedir.

Farklı özelliğe sahip bardaklardan BPA migrasyonu sonuçları incelendiğinde numunelerin hepsinde BPA miktarının tespit edilebilir limit (LOQ) üzerinde olduğu görülmektedir. En yüksek BPA konsantrasyonu 15,04 µg/kg (B18) olarak baskılı bardaklarda belirlenmiş olup, en düşük BPA miktarı 0,15 µg/kg (E1) olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların yasal sınırların altında olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonuçları, numunelerden BPB, BPE, BPF ve BPS migrasyonun tespit edilebilir limit (LOQ) altında olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, piyasada sıcak içeceklerin kullanımı için satılan bu bardaklardan BPB, BPE, BPF ve BPS migrasyonun belirlenemediği görülürken, farklı miktarlarda BPA migrasyonun olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, BPA migrasyonun yasal limitler altında olduğunu göstermesine rağmen bu bardakların günlük hayatta çok sık kullanılması sağlık açısından risk oluşturabileceğini düşündürmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Agric, J. (2008). Migration of Bisphenol A from Polycarbonate Baby and Water Bottles into Water under Severe Conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (s. 6378-6381). içinde
- Almeida Soares, D., Pereira, I., Sousa, J., Bernardo, R., Simas, R., Vaz, B., & Chaves, A. (2023). Bisphenol determination in UHT milk and packaging by paper spray ionization mass spectrometry. *Food Chemistry*, 400, 134014.
- Alonso-Magdalena, P., Vieira, E., Soriano, S., Menes, L., Burks, D., Quesada, I., & Nadal, A. (2010). Bisphenol A exposure during pregnancy disrupts glucose homeostasis in mothers and adult male offspring. *Environmental Health Perspectives*, 1243–1250.
- Ambalaj Sanayicileri Derneği. (2023). *Ambalaj Sanayicileri Derneği*.
- Ballesteros-Gomez, A., Rubio, S., & Perez-Bendito, D. (2009). Analytical methods for the determination of bisphenol A in food. *Journal of Chromatography*, 449 – 469.
- Barnes, K., Sinclair, R., & Watson, D. (2007). *Chemical Migration and Food Contact Materials*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Bayraktar, H. (2004). *Kağıda Dayalı Ambalaj Malzemeleri Sektör Araştırması*. Ankara: Araştırma Müdürlüğü.
- Baz, L., Alharbi, A., Al-Zahrani, M., Alkhabbaz, S., Alsousou, R., & Aljawadri, H. (2023). The Effect of Different Storage Conditions on the Levels of Bisphenol A in Bottled Drinking Water in Jeddah City. *Advances in Public Health*.
- Ben-Jonathan, N., Hugo, E., & Brandebourg, T. (2009). Effects of bisphenol A on adipokine release from human adipose tissue: Implications for the metabolic syndrome. *Molecular and Cellular*, 49–54.
- Biedermann-Brem, S., Grob, K., & Fjeldal, P. (2008). Release of bisphenol A from polycarbonate baby bottles: Mechanisms of formation and investigation of worst case scenarios. *European Food Research and Technology* (s. 227-1053). içinde
- Bignardi, C., Cavazza, A., Salvadeo, P., & Laganà, C. (2015). UHPLC-high-resolution mass spectrometry determination of bisphenol A and plastic additives released by

- polycarbonate tableware: influence of ageing and surface damage. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (s. 7917-7924). içinde
- Biles, J., White, K., McNeal, T., & Begley, T. (1997). Determination of Bisphenol-A in Reusable Polycarbonate Food-Contact Plastics and Migration to Food-Simulating Liquids. *Journal Of Agriculture And Food Chemistry* (s. 3541-3544). içinde
- Bloom , M., Mok-Lin, E., & Fujimoto, V. (2016). Bisphenol A and ovarian steroidogenesis. *Fertility and Sterility* (s. 857-863). içinde
- Bourguignon, J., & Parent, A. (2010). Early homeostatic disturbances of human growth and maturation by endocrine disrupters. *Current Opinion in Pediatrics*, 470–477.
- Cobellis , L., Colacurci, N., Trabucco, E., Carpentiero, C., & Grumetto, E. (2009). Measurement of bisphenol A and bisphenol B levels in human blood sera from healthy and endometriotic women. *Biomed. Chromatogr.*, 1186-1190.
- Coles, R., McDowell , D., & Kirwan , M. (2003). Food Packaging Technology. *Blackwell PublishinG*, 1-31.
- Cunha, S., & Fernandes, J. (2010). Quantification of free and total bisfenol A and bisfenol B in hümanist urine by dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME) and heart-cutting multidimensional gas chromatography-mass spectrometry (MD-GC/MS). 117-125.
- Çalışkan, S. (2001). Yağlı Gıdaların Ambalajlanmasında Kullanılan Bazı Plastik Materyallerin Toplam Migrasyon Değerlerinin Saptanmasında Isooktan Kullanılması. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. İzmir.
- Çelik, İ., & Tümer, G. (2016). Gıda Ambalajlamada Son Gelişmeler. *Akademik Gıda*, 180-188.
- Darbre, P., & Charles, A. (2010). Environmental oestrogens and breast cancer: evidence for combined involvement of dietary, household and cosmetic xenoestrogens. *Anticancer Research*, 815–827.
- De Coensel, N., David, F., & Sandra, P. (2009). Study on the migration of bisphenol-A from baby bottles by stir bar sorptive extraction-thermal desorption-capillary GC-MS. *Journal of Seperation Science*, 3829-3836.

- Dehdashti, B., Nikaeen, M., & Mohammadi, F. (2023). Health risk assessment of exposure to bisphenol A in polymeric baby bottles. *Environmental Health Insights*, 17, 11786302231151531.
- Dekant, W., & Völkel, W. (2008). Human exposure to bisphenol A by biomonitoring: Methods, results and assessment of environmental exposures. *Toxicol Appl Pharm*, 114-134.
- Diepens, M., & Gijsman, P. (2010). Photodegradation of bisphenol-A polycarbonate with different types of stabilizers. *Polymer Degradation and Stability* (s. 811-817). içinde
- Dilber, F., Dilber, A., & Karakaya, M. (2012, Mayıs). Gıdalarda Ambalajın Önemi Ve Tüketicilerin Satın Alma Davranışlarına Etkisi. Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi.
- Dobrucka, R. (2013). The Future of Active and Intelligent Packaging Industry. *Scientific Journal of Logistics*.
- Doğan, C. (2009). Gıda ile temas eden malzemeler, ambalajlar. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 56.
- Durusoy, R., & Karababa, A. (2011). Plastik gıda ambalajları ve sağlık. *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 10(1).
- ECB. (2003). European Chemicals Bureau, european union risk assessment report 4,4'-isopropylidenediphenol(bisphenol-A). *Einecs No: 201-245-8 Office for Official Publications of the European Communities*.
- EFSA. (2006). Opinion of the scientific panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) related to 2,2-bis(4-hydroxyphenyl)propane (Bisphenol A). *EFSA Journal*, 1-75.
- EFSA. (2002). Opinion of the scientific committee on food on.
- EFSA. (2006). Opinion of the scientific panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) related to 2,2-bis(4-hydroxyphenyl)propane (Bisphenol A).
- EFSA. (2014). Draft scientific opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs: EFSA panel on food contact materials, enzymes, flavourings and processing aids.

- Erçetin, H., & Güneş, E. (2023, Haziran 12). Kullan At Ürünler Yerine Eskiye Dönüş. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, s. 865-876.
- Ersan, M. (2021). Ambalaj Tasarımında Sürdürülebilir Bir Alternatif Olarak İleri Dönüşüm. *21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum*, 679-692.
- European Commission SCF/CS/PM/3936 Final. Opinion of the Scientific Committee on food on bisphenol A. Scientific Committee on Food. (2008, 8 1). EC(2002a): <http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out128en.pdf> adresinden alındı
- Fernandez, M., Arrebola, J., Taoufiki, J., Navalón, A., Ballesteros, O., Pulgar, R., . . . Olea, N. (2007). Bisphenol-A and chlorinated derivatives in adipose tissue of women. s. 259-270.
- Frankowski, R., Zgola-Grzeskowiak, A., Smulek, W., & Grzeskowiak, T. (2020). Removal of bisphenol A and its potential substitutes by biodegradation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*.
- Geens, T. A. (2012). A review of dietary and non-dietary exposure to bisphenol-A. *Food and Chemical Toxicology* (s. 3725-3740). içinde
- Goto , M., Takano-Ishikawa, Y., Ono, H., Yoshida, M., Yamaki, K., & Shinmoto, H. (2007). Orally administered bisphenol A disturbed antigen specific immunoresponses in the naive condition. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 71, 2136–2143.
- Goulas, A., Kontominas, M., Zygoura, P., Karatapanis, A., & Georgantelis, D. (2007). Migration of di-(2-ethylhexylexyl)adipate plasticizer from food-grade polyvinyl chloride film into hard and soft cheeses. *Food Chem Toxicol* (s. 1712-1718). içinde
- Gölge, E., Demirağ, K., & Ova, G. (2005, Haziran 1). Bir Gıda Kontaminantı: Bisphenol A. İzmir, Bornovo.
- H Le, H., M Carlson, E., P Chua, J., & M Belcher, S. (2008). Bisphenol A Is Released From Polycarbonate Drinking Bottles And Mimics The Neurotoxic Actions Of Estrogen In Developing Cerebellar Neurons. *Toxicology Letters*, 149-156.
- Hiroi, H., Tsutsumi , O., Takeuchi , T., Momoeda , M., Ikezuk, Y., Okamura , A., . . . Taketani , Y. (2004). Differences in serum bisphenol A concentrations in premenopausal normal women and women with endometrial hyperplasia. *Endocr J*, 595-600.

- Huang, Y., Wong, C., Zheng, J., Bouwman, H., Barra, R., Wahlström, B., . . . M.H., W. (2011). Bisphenol A (BPA) in China: A review of sources. *Environmental International*, 91-99.
- Ike, M., Chen, M., Danzl, E., Sei, K., & Fujita, M. (2006). Biodegradation of a variety of bisphenols under aerobic and anaerobic conditions. *Water Sci. Technol.*, 153-159.
- İlisulu, T. İ. (2019, Eylül). Gıda Ambalajı Tasarımında Değişen . Sanat Tasarım Dergisi.
- İşçi, G. (2023, Mart). Polietilen Tereftalat (PET) Materyaller ile Ambalajlanan İçeceklerin Farklı Depolama Koşullarındaki Migrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi ve Gıda Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi.
- Jalal , N., Surendranathb , A., Pathaka , J., Yua , S., & Chung , C. (2018). Bisphenol A (BPA) the mighty and the mutagenic. *Toxicology Reports*, 76-84.
- Karakuş, E., & Ayhan, Z. (2019). Gıda Atıklarından Çevre Dostu Biyobozunur Ambalaj Malzemesi Üretimi. *Gıda Teknoloji Derneği*, 1008-1019.
- Kayahan , A., & Küçük, A. (2020). Plastik kirliliğin çevresel zararları ve çözüm önerileri. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 403-427.
- Kızılırmak Esmir, Ö., Çağındı, Ö., & Şahin, B. (2017). *Does the realistic contact and daily use conditions limit the use of polycarbonate baby bottles for migration and residue level of Bisphenol*. İzmir: A. Journal of Food and Health Science.
- Kocamanlar, E. (2009). Ambalaj Ve Fonksiyonları. Ambalaj Bülteni.
- Kumar, A., Singh, D., Bhandari, R., Malik, A., Kaur, S., & Singh, B. (2023). Bisphenol A in canned soft drinks, plastic-bottled water, and household water tank from Punjab. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 9, 100205.
- Liao, C., & Kannan , K. (2014). A survey of bisphenol A and other bisphenol analogues in foodstuffs from nine cities in China . *Food Addit. Contam.*, 319-329.
- Liao, C., Liu, F., Alomirah, H., Loi, V., Mohd, M., Moon, H., & Kannan, K. (2012a). Bisphenol S in urine from the United States and seven Asian countries: occurrence and human exposures. *Environmental Science & Technology*, 6860-6866.

- Liao, C., Liu, F., Guo, Y., Moon, H., Nakata, H., Wu, Q., & Kannan, K. (2012b). Occurrence of eight bisphenol analogues in indoor dust from the United States and several Asian countries implications for human exposure. *Environmental Science & Technology*, 9138-9145.
- Ludwicka, K. (2015). Bisphenol A (BPA) in food contact materials - new scientific opinion from EFSA regarding public health risk. *Rocz Panstw Zakl Hig.*
- Marcea, P. (2009). Physicochemical processes involved in migration of bisphenol A from polycarbonate. *Journal of Applied Polymer Science* (s. 579-593). içinde
- Meeker, J. (2010). Exposure to environmental endocrine disrupting compounds and men's health. *Maturitas*, 236–241.
- Meiron, T., & Saguy, I. (2007). Adhesion Modeling on Rough Low Linear Density Polyethylene. *Journal Of Food Science*. içinde
- Mahlangu, W., Maseko, B., Mongadi, I., Makhubela, N., & Ncube, S. (2023). Quantitative analysis and health risk assessment of bisphenols in selected canned foods using the modified QuEChERS method coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *Food Packaging and Shelf Life*, 101078.
- Mokra, K., Kocia, M., & Michałowicz, J. (2015). Bisphenol A and its analogs exhibit different apoptotic potential in peripheral blood mononuclear cells (in vitro study). *Food and Chemical Toxicology*, 79-88.
- Naderi, M., Wong, M., & Gholami, F. (2014). Developmental exposure of zebrafish () to bisphenol-S impairs subsequent reproduction potential and hormonal balance in adults. *Aquatic toxicology*, 148, 195-203.
- Nam, S., Seo, S., & Kim, M. (2010). *Bisphenol A migration from polycarbonate baby bottle with repeated use*. *Chemosphere*.
- NTP-CERHR Monograph on the Potential Human Reproductive and Developmental Effects of Bisphenol-A. (2008). *National Toxicology Program U.S. Department of Health and Human Services*. içinde
- Öksüz, T., Özdal, T., Şahin-Yeşilçubuk, N., & Nilüfer-Erdil, D. (2012). Gıdalara Bisfenol A BPA Migrasyonu ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Akademik Gıda* (s. 10(3), 93-98). içinde

- Özer, D. (2016). Türkiye’de Sürdürülebilir Tüketim: Tek Kullanımlık Kullan-At Ürünler Örneği Üzerinden Bir İnceleme. *UTAK 2016 Bildiri Kitabı Sorumluluk, Bağlam, Deneyim ve Tasarım*, 21-23.
- Paepke, O., Shropshire, W., Schecter, A., Birnbaum, L., Christensen, K., & Lorber, M. (2015). Exposure assessment of adult intake of bisphenol A (BPA) with emphasis on canned food dietary exposures. *Environment International*, 55-62.
- Pedersen, G., Hvilsted, S., & Petersen, J. (2015). Migration of bisphenol A from polycarbonate plastic of different qualities. *Environmental Protection Agency*.
- Petersen, J., Naamansen, E., & Nielsen, P. (1995). PVC cling film in contact with cheese: health aspects related to global migration and specific migration of DEHA. *Food Addit. Contam* (s. 245-253). içinde
- Priovolos, I., & Samanidou, V. (2023). Bisphenol a and its analogues migrated from contact materials into food and beverages: An updated review in sample preparation approaches. *Journal of Separation Science*, 2300081.
- Rahman, M. (2007). Food Packaging Interaction. *Handbook of Food Preservation* (s. 945-951). içinde Taylor and Francis Group.
- Ranjan, V., Joseph, A., & Goel, S. (2021). ). Microplastics and other harmful substances released from disposable paper cups into hot water. *Journal of Hazardous Materials*.
- Rochester, J., & Bolden, A. (2015). Bisphenol S and F: a systematic review and comparison of the hormonal activity of bisphenol A substitutes. *Environmental Health Perspectives*, 123(7), 643.
- Rosenmai, A., Dybdahl, M., Pedersen, M., Alice van Vugt- Lussenburg, B., Wedebye, E., Taxvig, C., & Vinggaard, A. (2014). Are structural analogues to bisphenol a safe alternatives? *Toxicol. Sci.* 139, 35-47.
- Rykowska, I., & Wasiak, W. (2006). Properties, threats, and methods of analysis of bisphenol a and its derivatives. *Acta Chromatogr*, 7-27.
- Sajiki, J., Miyamoto, F., Fukata, H., Mori, C., Yonekubo, J., & Hayakawa, K. (2007). Bisphenol A (BPA) and its source in food in Japanese markets. *Food Addit Contam*, 103-112.



- Salian, S., Doshi, T., & Vanage, G. (2009a). Neonatal exposure of male rats to bisphenol A impairs fertility and expression of sertoli cell junctional proteins in the testis. *Toxicology*, 56–67.
- Salian, S., Doshi, T., & Vanage, G. (2009b). Perinatal exposure of rats to bisphenol A affects the fertility of male offspring. *Life Sciences*, 742–752.
- Schifferstein, H. (2009). The drinking experience: Cup or conten. *Food Quality and Preference*, 268-276.
- Schiano M., Sodano F., Magli E., Corvino A., Fiorino F., Rimoli M., Seccia S., Albrizio S. (2023). Quantitative determination of BPA, BPB, BPF and BPS levels in canned legumes from Italian market. *Food Chemistry*, Volume 416.
- Souza, P., Krauss, T., Sartori, A., & Abrantes, S. (2023). Simplified QuEChERS technique followed by UHPLC-MS/MS analysis for the determination bisphenol A in whole and powdered milk. *Food Research Journal*, 30(2), 524-535.
- Sür, Ü., Oral, D., Erkekoğlu, P., & Koçer-Gümüşel, B. (2017). *Bisfenol Türevleri Daha Güvenli mi?- Bisfenol F ve Bisfenol S'in Toksik Etkileri* (s. 42(3), 225-237). içinde FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences.
- Takeuchi, T., Tsutsumi, O., Ikezuki, Y., Takai, Y., & Taketani, Y. (2004). Positive relationship between androgen and the endocrine disruptor, bisphenol A, in normal women and women with ovarian. *Endocr J*, 165-169.
- Trabold, T., Win, S., & Hegde, S. (2018). Waste Resources in the Food Supply Chain. *Chapter2*, 11-28.
- Türk Gıda Kodeksi. Gıda maddeleri ile temasta bulunan plastik madde ve malzemeler tebliği- 2005/31. (2024, 4 10). TGK: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/07/20050704*
- Tütüncü , K., & Deniz, V. (2008). Hangisi yeşil, hangisi daha çevre dostu? *Geri Dönüşüm Dergisi*, 20-23.
- Üçüncü, M. (2000). *Gıdaların Ambalajlanması*. içinde İzmir: Ege Üniversitesi Basımev.
- Üçüncü, M. (2011). *Gıda Ambalajlama Teknolojisi*. Uğurer Yayıncılık.

- Vandenberg, L. (2014). Non-monotonic dose responses in studies of endocrine disrupting chemicals: bisphenol a as a case study. *Dose-response*, 12(2), dose-response. 13-020.
- Vogel, S. (2009). The politics of plastics: the making and unmaking of bisphenol a “safety”. *American Journal of Public Health (AJPH)*. içinde
- Voges, H., Voges, H., Hamamoto, T., Umemura, S., Iwata, T., & Miki, H. (2000). Phenol derivatives. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
- Walvoord, E. (2010). The Timing of Puberty: is it changing? Does it matter? *Journal of Adolescent Health*, 433–439. .
- Wang, X., Nag, R., Brunton, N., Siddique, M., Harrison, S., Monahan , F., & Cummins , E. (2023). A probabilistic approach to model bisphenol A (BPA) migration from packaging to meat products. *Science of The Total Environment*, 158815.
- Yan, H., Takamoto, M., & Sugane , K. (2008). Exposure to Bisphenol A prenatally or in adulthood promotes T(H)2 cytokine production associated with reduction of CD4CD25 regulatory T cells. *Environmental Health Perspectives*, 514–9.
- Zama, A., & Uzumcu, M. (2010). Epigenetic effects of endocrine-disrupting chemicals on female reproduction: an ovarian perspective. *Frontiers in*, 420-439.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Cansu SEZER

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi / Gıda Mühendisliği	2017-2021
Lise	Eskişehir Şehit Fazıl Yıldırım Anadolu Lisesi	2013-2017

