

## Marzipan Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Feyza CÜRE<sup>ID</sup>, Funda KARBANCIOĞLU-GÜLER<sup>ID</sup>

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, Türkiye

**Özet:** Sanayi devriminden günümüze artan insan faaliyetlerinin çevreye olan zararlı etkileri sürdürülebilirlik kavramını sıkça gündeme getirmiştir. Bu bağlamda sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için çeşitli araç ve metodolojiler geliştirilmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD), dünya genelinde bu yöntemler arasında en çok tanınan ve en sık kullanılan yöntemlerdendir. Bu metodoloji, bir ürün sisteminin yaşam döngüsü boyunca girdilerinin, çıktılarının ve olası çevresel etkilerinin derlenerek değerlendirilmesini öngörmektedir. Badem dünyada en çok tüketilen ağaç kuruyemişidir. Türkiye’de de üretim ve tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Bir badem ürünü olan marzipan, badem unu, şeker ve suyun belirli oranlarda karıştırılmasıyla üretilir. Bu çalışmada bir kuruyemiş fabrikasının marzipan üretim hattı incelenerek elde edilen verilerle marzipan üretimi için yaşam döngüsü değerlendirilmesi yapılmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirilmesi yapılırken ilgili standart olan ISO 14040 standardı dikkate alınmıştır. Bunun için öncelikle çalışmanın amaç ve kapsamı, sistem sınırları ve fonksiyonel birim belirlenmiştir. İş akış şeması çizilerek sistem sınırları bu şema üzerinde gösterilmiştir. Fonksiyonel birim “1 kg marzipan” olarak belirlenmiştir. Envanter analizi aşaması için tüm girdi ve çıktılar belirlenmiş ve 1 kg marzipan üretimi için envanter tablosu oluşturulmuştur. Etki değerlendirme aşamasında elde edilen verilerle Ecochain Mobius yazılımında EF (The Environmental Footprint) v3.1 etki değerlendirme yöntemi ve Ecoinvent v3.9.1 veri tabanı kullanılarak çevresel etkiler belirlenmiştir. Bu kapsamda küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli ve temiz su ötrofikasyon potansiyeli hesaplanmıştır. Küresel ısınma potansiyeli 1,08 CO<sub>2</sub> eş/ kg, asidifikasyon potansiyeli 2,95×10<sup>-2</sup> mol H<sup>+</sup> eş/kg ve temiz su ötrofikasyon potansiyeli 1,55×10<sup>-4</sup> kg P eş/kg olarak belirlenmiştir. Marzipan üretiminde çevresel etkilerin en çok ham madde kullanımından etkilendiği bunu ambalaj kullanımının takip ettiği saptanmıştır. Enerji tüketiminin küresel ısınma potansiyeline etkisi hariç olmak üzere enerji tüketimi ve atıkların etkisinin %1’den daha az olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yaşam döngüsü değerlendirilmesi, badem, marzipan.

## Marzipan Production Life Cycle Assessment

**Abstract:** Since the industrial revolution, the harmful effects of increasing human activities on the environment have frequently has highlighted the concept of sustainability. In this context, various tools and methodologies have been developed to ensure sustainability. Life cycle assessment (LCA) is the most recognized and frequently used method is among the most widely recognized and applied worldwide. This methodology envisages the compilation and evaluation of the inputs, outputs and possible environmental effects of a product system throughout its life cycle. Almonds are the most consumed tree nut worldwide. Its production and consumption in Turkey are also increasing every year. Marzipan, an almond product, is produced by mixing almond flour, sugar and water in certain proportions. In this study, a life cycle assessment was conducted for marzipan production using the data obtained by examining the marzipan production line of an existing nut factory. While making the life cycle assessment, the relevant standard, ISO 14040, was taken into consideration. For this purpose, firstly, the goal and scope of the study, system boundaries and functional unit were determined. A flow chart was drawn and system boundaries were illustrated on it. The functional unit was determined as “1 kg marzipan”. All inputs and outputs were determined for the inventory analysis phase and an inventory table was created for 1 kg of marzipan production. Environmental impacts were determined using the EF (The Environmental Footprint) v3.1 impact assessment method and Ecoinvent v3.9.1 database in the Ecochain Mobius software with the data obtained during the impact assessment phase. In this context, global warming potential, acidification potential and fresh water eutrophication potential were calculated. The global warming potential was determined to be 1.08 kg CO<sub>2</sub> eq/kg, acidification potential as 2.95×10<sup>-2</sup> mol H<sup>+</sup> eq/kg and fresh water eutrophication potential as 1.55×10<sup>-4</sup> kg P eq/kg. It was determined that environmental impacts in marzipan production were mostly affected by raw material use, followed by packaging use. Apart from its contribution to global warming potential, the impact of energy consumption and waste was found to be less than 1%.

**Keywords:** Life cycle assessment, almond, marzipan.

### Araştırma makalesi

**Yazışma yazarı:** Funda KARBANCIOĞLU-GÜLER E-mail: karbanci@itu.edu.tr

**Referans:** Cüre, F. ve Karbancıoğlu Güler. (2025). Marzipan Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, *ITU Journal of Food Science and Technology*, 3(2), 63-70.

**Makale Gönderimi:** 13 Mayıs 2025

**Online Kabul:** 21 Temmuz 2025

**Online Basım:** 30 Eylül 2025

## 1. Giriş

Sanayileşme ve ileri teknolojilerin kullanımıyla birlikte üretim ve tüketimde artış meydana gelmiş, insan faaliyetlerinin çevresel etkisi daha da artmıştır. Tüm bu gelişmeler sonucunda sürdürülebilirlik kavramı ön plana çıkmıştır.

Sürdürülebilirlik kavramı ilk defa "Stockholm Bildirisi"nde yer almışsa da daha sonra yayımlanan "Brundtland Raporu"nda bu kavram "Sürdürülebilir Kalkınma" olarak adlandırılmıştır (Kayışoğlu & Türksöy, 2023). Bu rapora göre sürdürülebilir kalkınma "bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak" biçiminde tanımlanmıştır. Ayrıca bu raporda sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel unsurlar dikkate alınarak üç farklı boyuttan değerlendirilmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır (World Commission on Environment and Development, 1987). Sürdürülebilirliğin çevresel boyutu sağlıklı çevreyi, yenilenebilir kaynakların rasyonel kullanımını ve yenilenemeyen kaynakların korunmasını amaçlamaktadır (Karaboğa, 2022).

Önlenilebilir gıda israfının yılda 113 milyon metrik ton CO<sub>2</sub> ürettiği bildirilmektedir (Chung vd., 2022). Gıda sanayi hammaddeleri profesyonel gıda işleme yöntemleriyle işleyerek katma değeri yüksek ürünlere dönüştürmektedir ve gıdanın raf ömrünü uzatarak bozulma nedeniyle oluşan gıda israfını en aza indirmektedir. Bununla birlikte bu işlemler sırasında yoğun enerji tüketilmekte, havaya, suya ve toprağa emisyonlar gerçekleşmektedir. Ayrıca kullanılan enerjinin genellikle fosil kaynaklı olması bu etkileri daha da arttırmaktadır.

Kuruyemişler, taze, kavrulmuş veya tuzlanmış olarak tüketilebilen, insanlara çeşitli sağlık yararları olan besin değeri açısından zengin gıdalardır (Matos vd., 2024; Polmann vd., 2021). Uluslararası Kuruyemiş ve Kuru Meyve Konseyi (INC, 2024) tarafından bildirilen verilere göre son on yılda ağaç kuruyemişi üretimi yaklaşık iki kat artmıştır. Dünya genelinde en çok tüketilen kuruyemişin badem olduğu (%27) bunu sırasıyla kaju (%21), ceviz (%20), antep fıstığı (%17) ve fındığın (%10) takip ettiği bildirilmektedir (INC, 2024).

Bademin yağ asitleri, karbonhidratlar (lif vb.), proteinler, vitaminler (E vitamini, B vitamini vb.), mineraller (bakır, kalsiyum, magnezyum vb.) ve çeşitli biyoaktif bileşikler (fitosteroller, polifenoller vb.) açısından zengin olduğu ve doğal antioksidan ve antiinflamatuar olarak kullanıldığı bildirilmektedir (Barreca vd., 2020). Bademin organoleptik ve besinsel özellikleri, diğer gıdalarla birlikte kullanılabilme çok yönlülüğü (kavrulmuş veya çiğ olarak püre, pirinç, file, kürdan, tane, toz badem olmak üzere çeşitli şekillerde tatlı ve tuzlu gıdalarda kullanılabilir) ve potansiyel sağlık yararları dünya genelinde tüketiminde etkili olmuştur.

Ülkemizde de badem üretim ve tüketimi giderek artmaktadır. Uluslararası Kuruyemiş ve Kuru Meyve Konseyi'nin 2024 yılı verilerine göre Türkiye badem üretiminde dünyada 4. sıradadır. Ülkemizde badem meyvesi çerez olarak tüketiminin yanı sıra şekerleme, çikolata, pasta endüstrisinde, badem yağı ise kozmetik ve ilaç sanayinde kullanılmaktadır (Emre & Tapkı, 2024). Bununla birlikte badem ve badem ürünlerinin üretimi ve işlenmesi sırasında diğer gıda ürünlerinde olduğu gibi enerji, su, hammadde tüketilmekte, atıklar oluşmakta ve çevreye çeşitli emisyonlar gerçekleşmektedir. Bu bağlamda badem ve badem ürünlerinin çevresel etkilerinin incelenmesi sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir.

Badem ezmesi olarak da bilinen marzipan, öğütülmüş badem ve glikoz şurubunun katı bir karışımıdır (Faid vd., 1995). Marzipan, Güney İtalya'nın geleneksel bir ürünüdür. Bununla birlikte dünya genelinde bilinen bir atıştırmalıktır. Sade olarak tüketilebildiği gibi, keklerde, kurabiyelerde, ekmeklerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Bi vd., 2022).

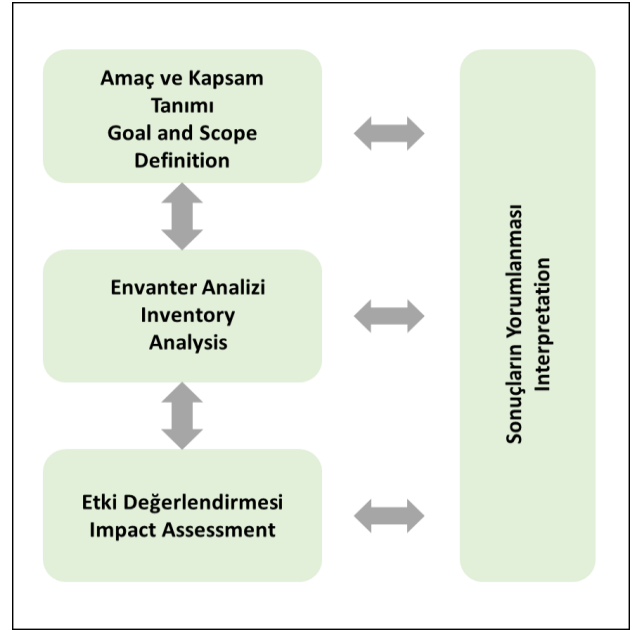
Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD), sürdürülebilirliğin değerlendirilebilmesi amacıyla geliştirilen ve dünya genelinde en yaygın kullanılan metottur (Uysal, 2024). YDD ile ürünlerin, süreçlerin ve faaliyetlerin yaşam döngüsünün çeşitli noktalarında tüketilen enerji ve malzemelerin, oluşan atıkların ve olası çevresel iyileştirmelerin belirlenmesi ve ölçülmesi yoluyla çevresel yüklerin değerlendirilmesi sağlanabilmektedir (Toniolo vd., 2021). Bu sayede ürün ya da hizmetlerin yaşam döngüsündeki sıcak noktalar belirlenerek iyileştirmeler yapılabilmektedir.

Bu çalışmada kuruyemiş üretimi yapan bir işletmenin marzipan üretim hattı sürdürülebilirlik bakış açısıyla incelenmiş ve marzipan üretiminin çevresel etkileri YDD yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

## 2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu yaşam döngüsü değerlendirmesini, bir ürün sisteminin yaşam döngüsü boyunca girdilerinin, çıktılarının ve olası çevresel etkilerinin derlenmesi ve değerlendirilmesi şeklinde tanımlamaktadır (ISO 14040, 2006).

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorum olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları (ISO 14040, 2006)

Figure 1. Phases of life cycle assessment (ISO 14040, 2006)

- **Amaç ve kapsam tanımı:** Çalışmanın amacının, hedef kitlesinin, kısıtlamaların, fonksiyonel birimin, sistem sınırlarının, uygulanacak tahsis metodunun ve varsayımların belirlendiği aşamadır.
  - **Fonksiyonel birim:** Referans birim olarak kullanılmak üzere bir ürün sisteminin ölçülebilir işlevi olarak tanımlanmaktadır (ISO 14040, 2006).
  - **Sistem sınırları:** Hangi birim süreçlerin bir ürün sisteminin parçası olduğunu belirleyen süreçler setidir. Sistem sınırları, beşikten mezara, beşikten kapıya veya kapıdan kapıya olabilir. (ISO 14040, 2006). Burada "beşik" ham madde teminini, "kapı" fabrikaya iletim aşamasını ifade ederken "mezar" ham maddenin bertarafını ifade etmektedir.
- **Envanter analizi:** Sistem sınırları içerisindeki her türlü girdi ve çıktının belirlendiği basamaktır. Envanter verileri enerji girdileri, ham madde girdileri, yardımcı girdiler, diğer fiziksel girdiler, ürünler, yan ürünler ve atıklar,

havaya emisyonlar, suya ve toprağa deşarjlar ve diğer çevresel hususları içermektedir (ISO 14040, 2006).

- **Etki değerlendirmesi:** Envanter sonuçlarını kullanarak potansiyel çevresel etkilerin değerlendirildiği aşamadır. Etki değerlendirmesi zorunlu ve isteğe bağlı unsurlardan oluşmaktadır. Etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması, sınıflandırma ve karakterizasyon zorunlu unsurlarken normalizasyon, gruplandırma ve ağırlıklandırma isteğe bağlı unsurlardır.
- **Sonuçların yorumlanması:** Envanter analizi ve etki değerlendirme aşamalarının hedef ve kapsam doğrultusunda değerlendirildiği aşamadır.

Bu çalışmada gıda üretiminde ortaya çıkan çevresel etkilerin ortaya konması hedeflenmektedir. Bu bağlamda aktif olarak çeşitli kuruyemiş ürünleri üretimi yapan bir işletmede marzipan üretim hattının incelenerek belirlenen fonksiyonel birim başına harcanan ham madde ve enerji tüketimlerinin tespit edilmesi, gerçek veriler ve Ecochain Mobius yazılımı kullanılarak marzipan üretiminin çevresel etkilerinin hesaplanması amaçlanmıştır.

### 3. Materyal ve Metod

#### 3.1. Kapsam

Sakarya ili, Hendek ilçesinde kuruyemiş üretimi yapan işletmeyle görüşülerek marzipan üretimleri hakkında bilgi alınmıştır. Elde edilen gerçek veriler Ecochain Mobius yazılımı kullanılarak Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada EF v3.1 etki değerlendirme yöntemi ve Ecoinvent v3.9.1 veri tabanı kullanılmıştır.

Marzipan üretimi için ham madde olarak kullanılan badem, Amerika Birleşik Devletleri'nden deniz yoluyla ithal edilmektedir. Bademler fabrikaya girdikten sonra kalite kontrolü yapılmaktadır. Kalite kontrolü sonucunda üretim için uygun bulunan ürünler ham madde deposuna alınırken uygun olmayan ürünler satın alma şartnamesine göre iade edilmektedir.

#### 3.1.1 Sistem tanımı ve üretim

Soyma hattında zırları ayrılan bademler öğütülerek badem unu yapılır. Badem unu, şeker ve su ile homojen bir karışım elde edinceye kadar karıştırılır ve pişirilir. Pişirilen karışım (marzipan hamuru) soğutulurak kalıplama bunkerine alınır. Porsiyonlanarak kalıplanan marzipan hamuru son ürün kontrolleri yapıldıktan sonra vakum ambalaj (LDPE, 180 µm) ile paketlenir. Vakum ambalajlı ürün karton kolilere yerleştirilir. Paketleme aşamasında oluşan ambalaj atıkları geri dönüşüme gönderilmek üzere biriktirilmektedir. Ambalajlanan ürünler metal dedektörden geçirilerek depolanır. Dedektörde uygun bulunmayan ürünler tekrar tekrar metal dedektörden geçirilerek metal bulaşan ürün belirlenip imha edilmektedir. Üretim hattını temizlemek için su kullanılır (Şekil 2).

#### 3.1.2 Kısıtlar ve kabuller

Yaşam döngüsü değerlendirmesi farklı yaşam döngülerini kapsayan bütünsel bir yapıya sahiptir. Bu özelliği işlevselliği bakımından avantaj olarak görülmele birlikte bu tür bir yaklaşım yoğun veri ihtiyacını doğurmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde bir ürün ya da sürecin yaşam döngüsünün incelenebilmesi için belirli sadeleştirmelerin

yapılması gerekmektedir. Bu sebeple yaşam döngüsü değerlendirmesi yönteminde kabul ve varsayımların kullanılması çoğunlukla kaçınılmaz olmaktadır (Bruijn vd., 2004; Demirer, 2017).

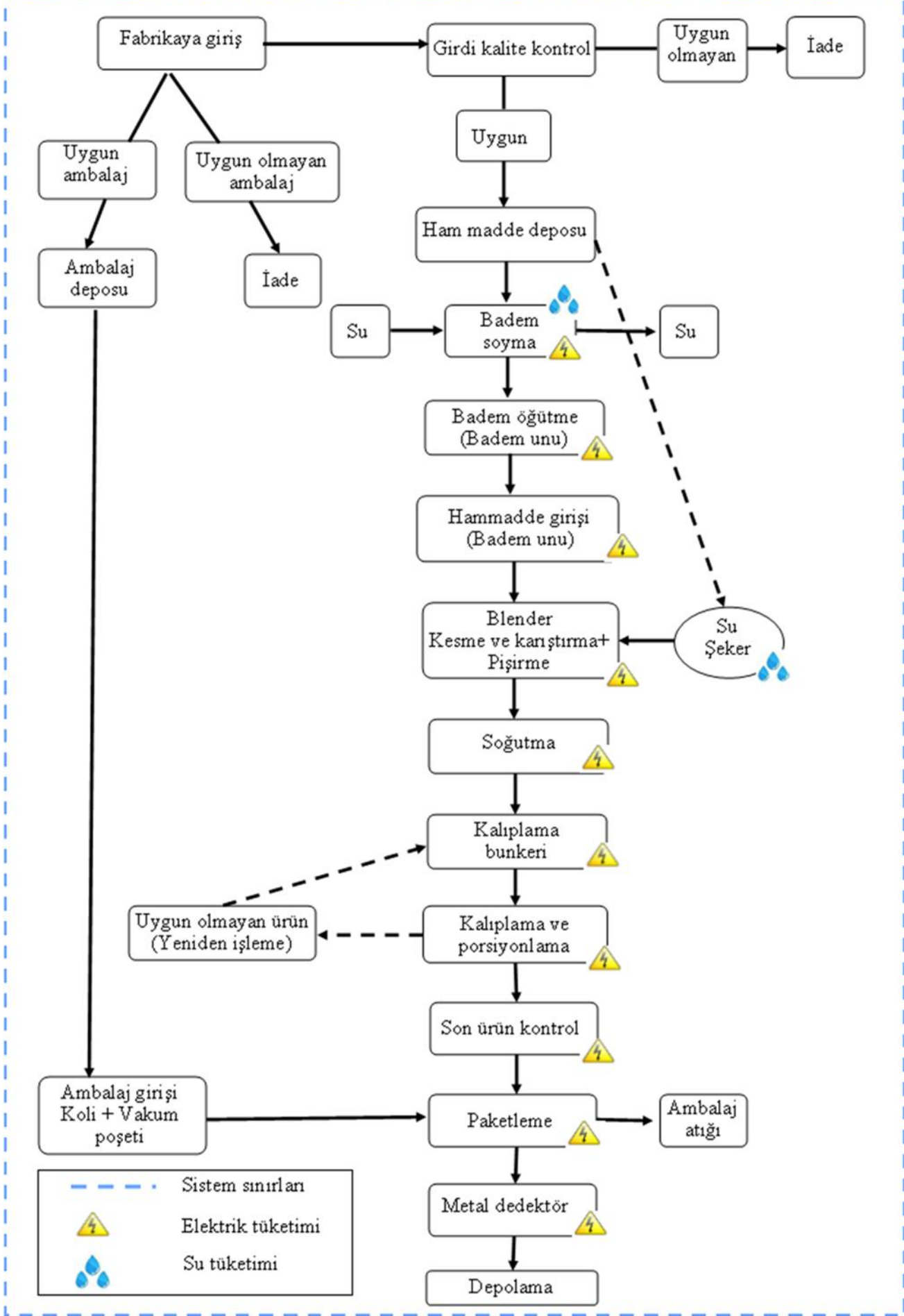
Marzipan üretiminde YDD yapılabilmesi için bazı kabul ve kısıtlar tanımlanmıştır:

- Çalışma kapsamında marzipan üretiminde kullanılan bademler Amerika Birleşik Devletleri'nden deniz yoluyla ithal edilmektedir. Marzipan için ise belirli bir satış noktası bulunmamakta olup ürünler Türkiye'nin çeşitli illerine gönderilmekte ve 57 ayrı ülkeye ihraç edilmektedir. Hammaddenin fabrikaya ulaşması ve ürünlerin tüketiciye ulaşması aşamalarında nakliye için alınan yol ve harcanan enerji çalışma kapsamında net olarak saptanamamıştır. Bu sebeple çalışmada sistem sınırları bademin fabrikaya getirilmesinden nihai ürün olan marzipanın tüm üretim basamaklarını kapsayacak şekilde yani 'kapıdan kapıya' olarak belirlenmiştir. Belirlenen sistem sınırları ve marzipan üretimi akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.
- Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi için fonksiyonel birim "1 kg marzipan" olarak belirlenmiştir.
- Marzipan üretimi için bademler soyulmaktadır. Burada çıkan zar, yem olarak kullanılmak üzere satıldığı için atık olmadığı varsayılmıştır.
- Marzipan ve badem unu üretiminde ürün kayıpları çok az (<%1) olduğu için fire olmadığı kabul edilmiştir. Bu sebeple 1 kg badem unu üretimi için 1 kg zarsız badem kullanıldığı varsayılmıştır.
- Marzipan ve badem unu üretiminde ürün ve ham madde kayıplarının en az seviyede olması için işleme sırasında ürünler tekrar tekrar metal dedektörden geçirilerek metal bulaşan ürün belirlenmektedir. Burada imha edilen ürün %1'in altındadır. Bu sebeple bu aşamada imha edilen ürün hesaplamalara dahil edilmemiştir.

#### 3.2 Envanter analizi

Marzipan üretimi için ham madde miktarları, tüketilen elektriğe bağlı enerji miktarları, su tüketimi ve oluşan atık miktarları detaylıca incelenmiş ve tüm değerler "1 kg marzipan" olarak hesaplanmıştır.

- İşletmede marzipan üretim hattında saatte 100 kg marzipan üretilmektedir. 1 kg marzipan için ise 0,48 kg badem unu, 0,07 L su ve 0,45 kg şeker kullanılmaktadır. Badem unu soyulmuş çiğ bademden üretilmektedir ve bunun için 0,672 kg badem kullanılmaktadır.
- Üretimin her aşamasında elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Tüketilen enerjide %70 oranında yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. 1 kg marzipan üretimi için gerekli elektrik enerjisi 0,030324 kWh şebeke hattından ve 0,070756 kWh güneş enerjisinden sağlanmaktadır.
- Çalışmada üretimde ve hatların temizliğinde kullanılan su da dikkate alınmıştır. Marzipan hattının temizliğinde 1 L su kullanılmaktadır. Marzipan üretiminde kullanılan bademlerin soyulması için 1 L su ve marzipan hamurunun yapım aşamasında 0,07 L su tüketilmektedir. Marzipan üretiminde birim ürün için toplamda 2,07 L su tüketilmektedir.
- Fabrikada her türlü ambalaj atığı geri dönüşüme gönderilmektedir. Birim ürün başına 0,00001 kg vakum poşeti ve 0,00006 kg karton geri dönüşüme gönderilmektedir.



Şekil 2. Marzipan üretim akış şeması ve sistem sınırları  
 Figure 2. Marzipan production flow chart and system boundaries

### 3.3 Etki Değerlendirmesi

Etki değerlendirme aşamasında marzipan üretimi için küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli ve temiz su ötrofikasyon potansiyeli olmak üzere 3 farklı etki kategorisi incelenmiştir. Bunun için Ecochain Mobius yazılımı içinde var olan EF v3.1 etki değerlendirme yöntemi ve Ecoinvent v3.9.1 veri tabanı kullanılmıştır.

Ecochain, çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği konularında yazılımlar üreten bir kuruluştur. Ecochain Mobius, kullanıcıların bir ürünün yaşam döngüsü boyunca veri toplamasını ve analiz etmesini kolaylaştıran kullanıcı dostu arayüzü ve gelişmiş özellikleriyle tanınmaktadır. Ecochain Mobius, yiyecek ve içecek, imalat ve enerji de dahil olmak üzere çeşitli endüstriler tarafından kullanılmaktadır (Yılmaz, 2023).

Yazılımda detaylı bir model oluşturulmuş ve 1 kg marzipan üretimi için veriler sisteme girilmiştir. Gerekli veriler, belirlenen kısıtlar ve kabullere göre seçilmiştir. Marzipan üretimi için belirlenen etki kategorileri hesaplanmıştır.

## 4. Bulgular ve Tartışma

Marzipan üretimi için gerekli ham madde, enerji miktarları ve atıklar dikkate alınarak yaşam döngüsü değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen veriler Ecochain Mobius yazılımında EF v3.1 etki değerlendirme yöntemi ve Ecoinvent v3.9.1 veri tabanı kullanılarak analiz edilmiş ve birim ürün başına çevresel etkiler belirlenmiştir.

### 4.1 Envanter analizi

1 kg marzipan üretimi için tüm girdi ve çıktılar belirlenmiştir. 1 kg marzipan üretimi için 0,48 kg badem unu 0,07 L su ve 0,45 kg şeker kullanılmaktadır. Birim ürün başına tüketilen güneş enerjisi 0,070756 kWh, şebeke hattından kullanılan elektrik enerjisi 0,030324 kWh'tir. Bademlerin zarlarının soyulması için birim ürün başına 0,672 L su harcanırken hattın temizlik için 1 L su harcanmaktadır. Birim ürün başına tüm girdi ve çıktılar Tablo 1'de detaylıca gösterilmiştir.

Tablo 1. Birim marzipan (1 kg) üretimi için envanter tablosu.  
Table 1. Inventory table for unit marzipan (1 kg) production.

GİRİDİ		ÇIKTI	
Ham madde		Son ürün	
➤ 0,48 kg badem unu		➤ 1 kg Marzipan	
➤ 0,07 L su		<b>Atık</b>	
➤ 0,45 kg şeker		➤ 1,672 L su	
Enerji		➤ 0,00001 kg vakum poşeti	
➤ 0,070756 kWh güneş enerjisi		➤ 0,00006 kg koli	
➤ 0,030324 kWh elektrik			
Ambalaj			
➤ 0,01 kg vakum poşeti			
➤ 0,06 kg koli			
Su Tüketimi			
➤ 0,672 L Badem soyma			
➤ 1 L temizlik			

### 4.2 Etki değerlendirme

Envanter tablosundan elde edilen veriler ile Ecochain Mobius yazılımı kullanılarak 1 kg marzipan üretimi için belirlenen etki kategorileri hesaplanmış ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Marzipan üretiminin çevresel etkileri.

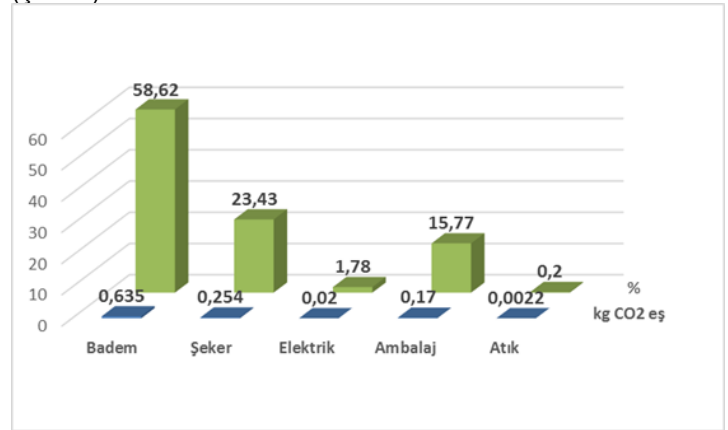
Table 2. Environmental impacts of marzipan production.

ETKİ KATEGORİSİ	BİRİM	MIKTAR
Küresel Isınma Potansiyeli	kg CO <sub>2</sub> eş	1,08
Asidifikasyon Potansiyeli	mol H <sup>+</sup> eş	2,95.10 <sup>-2</sup>
Temiz Su Ötrofikasyon Potansiyeli	kg P eş	1,55.10 <sup>-4</sup>

#### 4.2.1 Küresel ısınma potansiyeli

Karbondioksit, metan, azot oksit gibi gazlar sera gazları olarak adlandırılmaktadır. Bu emisyonların çoğu radyatif zorlamayı (ısı tutma potansiyeli) artırarak, dünyanın yüzeyindeki sıcaklığın artmasına neden olur. Bu durum sera etkisi olarak adlandırılmaktadır. Küresel ısınma potansiyeli ise sera gazlarıyla ilişkili radyatif zorlamayı gösteren etki kategorisidir ve kg CO<sub>2</sub> eş olarak ifade edilmektedir (Bruijn vd., 2004; Yılmaz, 2023).

Çalışma kapsamında marzipan üretimi için küresel ısınma potansiyeli 1,08 kg CO<sub>2</sub> eş olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Marzipan üretimi için alt bileşenler incelendiğinde ise küresel ısınma potansiyeline bileşimde önemli miktarda yer alan bademin (%58,62) en çok ve daha sonra şekerin (%23,43) etki ettiği tespit edilmiştir. Ambalaj kullanımı %15,77 oranında etki ederken elektrik %1,78 oranında etki etmiştir. Atıkların (%0,2) etkisinin ise %1'den daha az olduğu görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Marzipan üretimi alt bileşenleri küresel ısınma potansiyeli.

Figure 3. Global warming potential of marzipan production subcomponents.

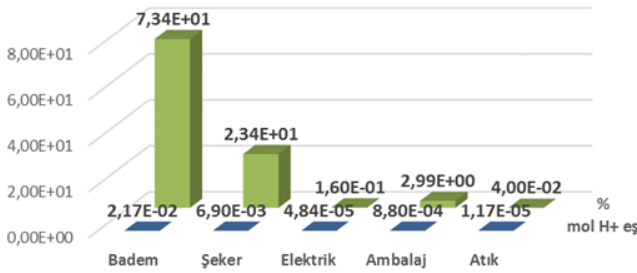
Badem ezmesinin karbon ayak izi (kapıdan kapıya) 8,84 kg CO<sub>2</sub> eş/kg olarak bildirilmiştir. Badem ununun karbon ayak izi (kapıdan kapıya) ise üretildiği coğrafi bölgeye göre 5,53-6,37 kg CO<sub>2</sub> eş/kg olarak değişmektedir. Bununla birlikte literatürdeki veriler detaylıca incelendiğinde bademin tarımsal üretiminin badem ezmesi (%93) ve badem unu üretimine etkisinin (%97-98) bu ürünlerin karbon ayak izini en çok arttıran faktör olduğu görülmektedir (CarbonCloud, 2025). Şekersiz badem sütünün yaşam döngüsü değerlendirmesinin yapıldığı çalışmada bir şişe (1,42 L) şekersiz badem sütünün küresel ısınma potansiyeli 0,71 kg CO<sub>2</sub> eş olarak tespit edilmiştir (Winans vd., 2020). Geleneksel ve organik fındık üretiminin (beşikten kapıya) çevresel etkilerinin incelendiği çalışmada ise küresel ısınma potansiyeli sırasıyla 1,287 kg CO<sub>2</sub> eş/kg ve 1,793 kg CO<sub>2</sub> eş/kg olarak saptanmıştır (Coppola vd., 2022). Başka bir çalışmada ise çeşitli bisküvilerin (kraker, az yağlı/şekerli bisküvi, yarı tatlı bisküvi, çikolata kaplı bisküvi, çikolata kremalı bisküvi ve vanilya kremalı bisküvi) çevresel sürdürülebilirliği incelenmiştir. Çalışmada küresel ısınma potansiyeli en fazla olan ürün çikolata kaplı bisküvilerken (1,81 kg CO<sub>2</sub> eş/kg) küresel ısınma potansiyeli en düşük olan ürün az yağlı/şekerli bisküviler (1,27 kg CO<sub>2</sub> eş/kg) olarak belirlenmiştir. Ayrıca ham maddeler (%41-%61) ve üretimin (%24-%38) ana sıcak

noktalar olduğu saptanmıştır (Konstantas vd., 2019). Patates cipsinin beşikten mezara yaşam döngüsü değerlendirmesinin yapıldığı çalışmada ise 50 gramlık bir paket patates cipsinin küresel ısınma potansiyeli 98,2 g CO<sub>2</sub> eş (1,96 kg CO<sub>2</sub> eş/kg) olarak hesaplanmıştır (Fernández-Ríos vd., 2022).

#### 4.2.2 Asidifikasyon potansiyeli

Asidifikasyon, fosil yakıt yanması ve tarım gibi insan kaynaklı faaliyetler sonucunda azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>) ve amonyak (NH<sub>3</sub>) gibi asitleştirici bileşiklerin atmosfere salınmasıyla oluşmaktadır (Lebrun vd., 2025). Asidifikasyon potansiyeli SO<sub>2</sub> eş veya mol H<sup>+</sup> eş olarak ifade edilmektedir (Dincer & Abu-Rayash, 2020; Ecochain, 2024).

Marzipan üretiminin asidifikasyon potansiyeli 2,95.10<sup>-2</sup> mol H<sup>+</sup> eş olarak saptanmıştır (Tablo 2). Asidifikasyon potansiyeline, badem (%73,38) ve şekerin (%23,39) en fazla etki ettiği tespit edilmiştir. Üretimde kullanılan enerjinin asidifikasyon potansiyeline etkisi incelendiğinde %1'den daha küçük olduğu belirlenmiştir. Marzipan üretimi için ambalaj kullanımının asidifikasyon potansiyeline etkisi incelendiğinde ise %2,99 olduğu görülmektedir. Üretimler sonucu çıkan atıkların asidifikasyon potansiyeline etkileri ise %1'den azdır (Şekil 4).



Şekil 4. Marzipan üretimi alt bileşenleri asidifikasyon potansiyeli.

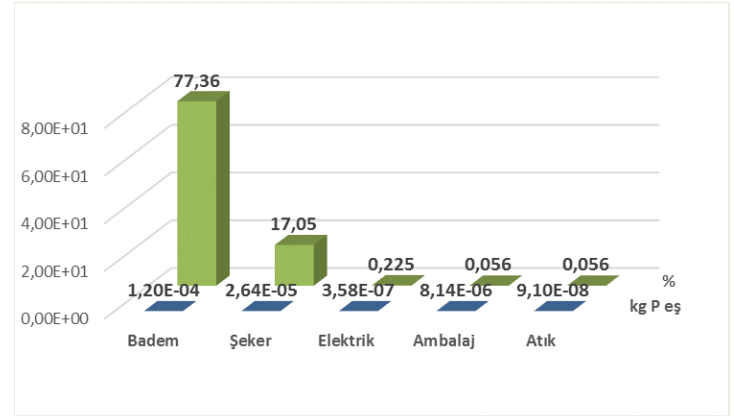
Figure 4. Acidification potential of marzipan production subcomponents.

Bitki bazlı süt ürünlerinin çevresel etkilerinin incelendiği çalışmada badem sütünün asidifikasyon potansiyeli 3,4.10<sup>-3</sup> kg SO<sub>2</sub> eş (4,48.10<sup>-3</sup> mol H<sup>+</sup> eş) olarak bildirilmiştir (Geburt vd., 2022). Kurutulmuş elma dilimi atıştırmalığının çevresel etkilerinin incelendiği başka bir çalışmada ise kurutulmuş elmanın karasal asidifikasyon potansiyelinin 1,49.10<sup>-3</sup> kg SO<sub>2</sub> eş/20 g kurutulmuş elma dilimleri (9.10<sup>-2</sup> mol H<sup>+</sup>/kg kurutulmuş elma dilimleri) olduğu belirlenmiştir (Gonçalves & Neto, 2023). Yedi farklı atıştırmalığın (breadstick, tuzlu kraker, çok tahıllı bisküvi, çikolatalı kahvaltılık gevrek, pandispanya, kuru üzümlü çörek, pretzel) kinoa katkılı ve kinoa katkısız hallerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda %40 kinoa katkılı tuzlu krakerin (6,59.10<sup>-3</sup> mol H<sup>+</sup> eş/kg ürün) en düşük asidifikasyon potansiyeline sahipken kinoa katkısız pandispanyanın (3,91.10<sup>-2</sup> mol H<sup>+</sup> eş/kg ürün) en yüksek asidifikasyon potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Fernández-Ríos vd., 2024). Çeşitli atıştırmalık ürünlerin (kraker, az yağlı/şekerli bisküvi, yarı tatlı bisküvi, çikolata kaplı bisküvi, çikolata kremalı bisküvi ve vanilya kremalı bisküvi) çevresel etkilerinin değerlendirildiği başka bir çalışmada ise çikolata kaplı bisküvilerin düşük yağlı/şekerli bisküvilere göre 4 kat daha fazla asidifikasyon potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca asidifikasyon potansiyeline en fazla ham maddenin (%65-88) etki ettiği saptanmıştır (Konstantas vd., 2019).

#### 4.2.3 Temiz su ötrofikasyon potansiyeli

Azot, fosfor gibi besin kaynaklarının suda artması alglerin çoğalmasına neden olmaktadır. Sayıca artan algler sudaki çözünmüş oksijeni tüketerek suda yaşayan diğer organizmalar için oksijen yetersizliğine yol açmaktadır. Ötrofikasyon potansiyeli, azot ve fosfordan oluşan besin kirliliği nedeniyle sudaki oksijen miktarının azalma potansiyelini gösteren etki kategorisidir (Farinha vd., 2021; Yılmaz, 2023).

Marzipan üretimi için temiz su ötrofikasyon potansiyeli 1,55.10<sup>-4</sup> kg P eş olarak tespit edilmiştir. Ötrofikasyon potansiyelini sırasıyla en fazla badem (%77,36) ve şeker (%17,05) etkilemektedir. Elektrik, ambalaj ve atığın etkisinin ise %1'den daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Marzipan üretimi alt bileşenleri temiz su ötrofikasyon potansiyeli.

Figure 5. Freshwater eutrophication potential of marzipan production subcomponents.

Bitki bazlı süt alternatiflerinin çevresel etkilerinin araştırıldığı çalışmada temiz su ötrofikasyon potansiyeli badem sütü için 2,05.10<sup>-5</sup> kg P eş, soya sütü için 5,55.10<sup>-5</sup> kg P eş ve yulaf sütü için 2,81.10<sup>-5</sup> kg P eş olarak saptanmıştır (Geburt vd., 2022). Jeswani vd., (2015) kahvaltılık gevreğin çevresel sürdürülebilirliğini incelemişlerdir. 1 kg kahvaltılık gevreğin ötrofikasyon potansiyelinin 5,73 g PO<sub>4</sub> eş (1,9.10<sup>-3</sup> kg P eş) olarak belirlenmiştir. Limon ve limon bazlı ürünlerin çevresel etkilerinin incelendiği çalışmada ise konsantre limon suyunun ötrofikasyon potansiyeli 0,0543 kg P eş olarak bildirilmiştir (Machin Ferrero vd., 2022).

### 5. Sonuç

Badem, dünya genelinde en çok tüketilen, Türkiye' de de her geçen yıl üretim ve tüketimi artmakta olan bir kuruyemiş çeşididir. Çalışma kapsamında bir badem ürünü olan marzipanın üretimi yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda marzipan üretiminin küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli ve temiz su ötrofikasyon potansiyeli mevcut bir kuruyemiş fabrikasının marzipan hattı dikkate alınarak sistem sınırları kapıdan kapıya olacak şekilde ve yapılan kabullere göre hesaplanmıştır. Etki değerlendirmesi aşamasında en uygun verinin seçilmesine özen gösterilmiştir. Bununla birlikte çalışmada kullanılan yazılım programı, etki değerlendirme yöntemi, veri türü, veri tabanı, coğrafi konum, envanter ve envanter miktarları gibi faktörlere göre sonuçlar değişkenlik gösterebilmektedir.

Hesaplanan her üç etki kategorisi için sonuçlar incelendiğinde marzipan üretimine ham madde olarak kullanılan tarımsal bileşenlerin en fazla etki ettiği, bunu ambalaj kullanımının takip ettiği görülmektedir. Bu sonucun tarımsal ürünlerin çevresel etkilerini göstermesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

İşletmenin elektrik enerjisi gereksinimi için büyük oranda yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Enerji kullanımının marzipan üretimine etkisi incelendiğinde, küresel ısınma potansiyeline %1'den fazla etki ederken asidifikasyon potansiyeli ve temiz su ötrofikasyon potansiyeline etkisinin %1'den daha az olduğu tespit edilmiştir. İşletmede sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı sağlanarak, enerji tüketiminden kaynaklanan çevresel etkiler azaltılabilir.

İşletmede her türlü ambalaj atığı geri dönüşüme gönderilmektedir. Atıkların marzipan üretimine etkisi %1'den çok küçüktür.

Çalışma kapsamında sistem sınırları hammaddenin fabrikaya ulaşması ve ürünlerin tüketiciye ulaşması aşamalarında nakliye için alınan yol ve harcanan enerji çalışma kapsamında net olarak saptanamadığından "kapıdan kapıya" olarak belirlenmiştir. Nakliye aşamalarındaki bilgiler varlığında sistem sınırları "beşikten kapıya", "kapıdan sahaya" veya "beşikten sahaya" şeklinde seçilerek yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılarak bu aşamaların etkisi de değerlendirilebilir.

## 6. Teşekkür ve Bilgi

Bu çalışmada kullanılan marzipan üretimi verilerini paylaşan Aydın Gıda Pazarlama İmalat San. ve Tic. A.Ş. yetkili ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

## 7. Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemektedir.

## 8. Kaynaklar

Barreca, D., Nabavi, S. M., Suredda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A. S., Annunziata, G., Arnone, A., Tenore, G. C., Süntar, İ., & Mandalari, G. (2020). Almonds (*Prunus Dulcis* Mill. D. A. Webb): A Source of Nutrients and Health-Promoting Compounds. *Nutrients*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/nu12030672>

Bi, X., Yeo, M. T. Y., & Jeyakumar Henry, C. (2022). Almond paste and dietary fibre: A novel way to improve postprandial glucose and lipid profiles? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 73(8), 1124-1131. <https://doi.org/10.1080/09637486.2022.2141207>

Brujin, H., Duin, R., Huijbregts, M. A. J., Guinee, J. B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A., Oers, L., & Wegener Sleswijk, A. (2004). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/0-306-48055-7>

CarbonCloud. (2025). *ClimateHub*. <https://apps.carboncloud.com/climatehub/>

Chung, M. M. S., Bao, Y., Zhang, B. Y., Le, T. M., & Huang, J.-Y. (2022). Life Cycle Assessment on Environmental Sustainability of Food Processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, 13(Volume 13, 2022), 217-237. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-062420-014630>

Coppola, G., Costantini, M., Fusi, A., Ruiz-Garcia, L., & Bacenetti, J. (2022). Comparative life cycle assessment of conventional and organic hazelnuts production systems in Central Italy. *Science of The Total Environment*, 826, 154107. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154107>

Demirer, G. N. (2017). Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Kılavuzu AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu için Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri. *Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-1*, 44.

Dincer, I., & Abu-Rayash, A. (2020). Chapter 6—Sustainability modeling. İçinde I. Dincer & A. Abu-Rayash (Ed.), *Energy Sustainability* (ss. 119-164). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819556-7.00006-1>

Ecochain. (2024). *Environmental Impact Categories (LCA) – The complete overview* [https://ecochain.com/blog/impact-categories-lca/]. Environmental Impact Categories (LCA) – The complete overview.

Emre, İ., & Tapkı, N. (2024). Adıyaman ili badem üretiminde pazarlama yapısının analizi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(2), 409-424. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.1438518>

Farinha, C., Brito, J. de, & Veiga, M. D. (2021). Chapter 8—Life cycle assessment. İçinde C. Farinha, J. de Brito, & M. D. Veiga (Ed.), *Eco-Efficient Rendering Mortars* (ss. 205-234). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818494-3.00008-8>

Fernández-Ríos, A., Laso, J., Aldaco, R., & Margallo, M. (2024). Life cycle assessment and energy return of investment of nutritionally-enhanced snacks supplemented with Spanish quinoa. *Science of The Total Environment*, 954, 176542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176542>

Fernández-Ríos, A., Laso, J., Amo-Setién, F. J., Abajas-Bustillo, R., Ortego-Mate, C., Fullana-i-Palmer, P., Bala, A., Batlle-Bayer, L., Balcells, M., Puig, R., Aldaco, R., & Margallo, M. (2022). Water–Energy–Food Nexus and Life Cycle Thinking: A New Approach to Environmental and Nutritional Assessment of Potato Chips. *Foods*, 11(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/foods11071018>

Geburt, K., Albrecht, E. H., Pointke, M., Pawelzik, E., Gerken, M., & Traulsen, I. (2022). A Comparative Analysis of Plant-Based Milk Alternatives Part 2: Environmental Impacts. *Sustainability*, 14(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su14148424>

Gonçalves, I., & Neto, B. (2023). A Life Cycle Assessment of Dehydrated Apple Snacks. *Sustainability*, 15(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/su152316304>

INC (The International Nuts and Dried Fruit Council) (2024). *Nuts & Dried Fruits Statistical Yearbook 2024*.

ISO, 2006. ISO 14040: Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jeswani, H. K., Burkinshaw, R., & Azapagic, A. (2015). Environmental sustainability issues in the food–energy–water nexus: Breakfast cereals and snacks. *Sustainable Production and Consumption*, 2, 17-28. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.08.001>

Karaboğa, F. (2022). Sürdürülebilirliğin Üç Temel Boyutu: On Birinci Kalkınma Planı İçerik Analizi. *Sürdürülebilir Çevre Dergisi*, 2(2), Article 2.

Kayıoğlu, Ç., & Türksoy, S. (2023). Tarımda Sürdürülebilirlik ve Gıda Güvenliği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), Article 1. <https://doi.org/10.20479/bursauludagziraat.1142135>

Konstantas, A., Stamford, L., & Azapagic, A. (2019). Evaluation of environmental sustainability of biscuits at the product and sectoral levels. *Journal of Cleaner Production*, 230, 1217-1228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.095>

- Lebrun, M. N., Dorber, M., Verones, F., & Henderson, A. D. (2025). Novel Endpoint Characterization Factors for Life Cycle Impact Assessment of Terrestrial Acidification. *Ecological Indicators*, 171, 113241. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113241>
- Machin Ferrero, L. M., Wheeler, J., & Mele, F. D. (2022). Life cycle assessment of the Argentine lemon and its derivatives in a circular economy context. *Sustainable Production and Consumption*, 29, 672-684. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.014>
- Matos, J. da S., Costa, J. E. G., Krichană, D. R. G. C., Azevedo, P. Z., Nascimento, A. L. A. A., Stringheta, P. C., Martins, E., & Campelo, P. H. (2024). Nut Proteins as Plant-Based Ingredients: Emerging Ingredients for the Food Industry. *Processes*, 12(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/pr12081742>
- Polmann, G., Badia, V., Danielski, R., Ferreira, S. R. S., & Block, J. M. (2021). Non-conventional nuts: An overview of reported composition and bioactivity and new approaches for its consumption and valorization of co-products. *Future Foods*, 4, 100099. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100099>
- Toniolo, S., Borsoi, L., & Camana, D. (2021). Chapter 7 - Life cycle assessment: Methods, limitations, and illustrations. İçinde J. Ren (Ed.), *Methods in Sustainability Science* (ss. 105-118). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823987-2.00007-6>
- Uysal, H. (2024). *Beyaz peynirde karbon ayak izi belirlenmesi. Food Sektör Gıda Market ve Teknolojileri Dergisi.*
- Winans, K. S., Macadam-Somer, I., Kendall, A., Geyer, R., & Marvinney, E. (2020). Life cycle assessment of California unsweetened almond milk. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(3), 577-587. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01716-5>
- World Commission on Environment and Development, 1987, *Our common future*, Oxford University Press, Oxford.
- Yılmaz, Ö. (2023). *Türkiye'nin Döngüsel Ekonomiye Geçiş Potansiyelinin Değerlendirilmesi için Teknik Destek Projesi* (No. EuropeAid/140562/IH/SER/TR).