



Yaşam Döngüsü Analizi ile Konsantre Şeftali Püresinin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi

Neslihan Çolak Güneş  

Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, 35100, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 10.07.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 08.10.2020

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): neslihan.colak@ege.edu.tr (N. Çolak Güneş)

☎ 0 232 311 12 27 📠 0 232 388 60 27

ÖZ

Bu çalışmada, mevcut bir meyve suyu konsantresi fabrikasının konsantre şeftali püresi üretim hattı örnek olarak incelenmiş ve gerçek üretim verileri kullanılarak, ISO 14040 ve 14044'te belirtilen adımlar izlenerek, yaşam döngüsü analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, sistem sınırları belirlenmiş ve tüm girdi çıktıları içeren, detaylı bir işlem akışı şeması çizilmiştir. Sonrasında, birim konsantre şeftali püresi üretimi için tüketilen hammadde, su, enerji (ısı ve elektrik), ambalaj malzemesi vb. girdilerle, bu süreçte oluşan atık su, meyve atıkları, ambalaj atıkları vb. çıktıların miktarları belirlenmiştir. Böylece, envanter analizi yapılmış ve elde edilen veriler karbon ayak izi için temel teşkil edecek şekilde bir tablo olarak sunulmuştur. Sonuç olarak, birim ürün için karbon ayak izi 0.82 kg CO_{2eşd}/kg konsantre ürün, enerji ayak izi 4443 kJ/kg konsantre ürün ve su ayak izi 2.59 m³_{su}/kg konsantre ürün olarak hesaplanmıştır. Belirlenen sistem sınırları içinde, ürün yaşam döngüsü aşamalarından tarımsal üretimin hem karbon ayak izine, hem de su ayak izine en büyük etkiyi yaptığı, enerji tüketiminin CO_{2eşd} emisyonları için ikinci önemli etken olduğu ve enerji ayak izinin başlıca sorumlusunun ısı enerjisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, literatürdeki benzer ürünlerin yaşam döngüsü analizleri ile bir karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar sürdürülebilir üretim kapsamında tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konsantre şeftali püresi, Meyve suyu, Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), Sürdürülebilirlik, Küresel ısınma potansiyeli

Determining Carbon Footprint of Concentrated Peach Puree by Life Cycle Analysis

ABSTRACT

In this study, a peach puree concentrate production line in an industrial juice factory was examined as a case study, and life cycle assessment was carried out by following the steps specified in ISO 14040 and 14044 using real production data. In this context, system boundaries were determined and a detailed process flow chart with all inputs and outputs was drawn. Subsequently, inputs, which were consumed for the production of the unit peach puree concentrate such as the raw material, water, energy (heat and electrical) and packaging materials and outputs, which were composed from processes such as wastewater, fruit residue and packaging wastes, were determined. Thus, an inventory analysis was performed and inventory data was presented as a table that could be the basis for carbon footprint. Consequently, carbon, energy and water footprint values for a unit product were calculated as 0.82 kg CO_{2eq}/kg concentrated product, 4443 kJ/kg concentrated product and 2.59 m³_{water}/kg concentrated product, respectively. Within the specified system boundaries, it was determined that agricultural production had the greatest impact on both carbon and water footprints, energy consumption was the second important factor that constituted the CO_{2eq} emissions, and heat energy was the main responsible of the energy footprint. Also, a comparison was made with the life cycle analysis of similar products in the literature, and the results were discussed within the scope of sustainable production.

Keywords: Concentrated peach puree, Fruit juice, Life Cycle Assessment (LCA), Sustainability, Global warming potential

GİRİŞ

Endüstri devriminden bu yana, fosil yakıtlar, ormansızlaşma, tarım arazilerinin yanlış kullanımı vb. nedenlerle insanlığın sorumlu olduğu doğal kaynakların tahribatı, günümüzde görmezden gelinemez bir seviyeye ulaşmıştır. Bilim insanları, atmosferin dünyadan uzaya yansıyan güneş ışınlarını hapsetmesi sonucu oluşan sera etkisinin nedenini çok hızlı nüfus artışına ve endüstrileşmeye bağlamaktadır [1]. CO₂ ve diğer gazların ısıyı tutma özellikleri 19. yüzyılın ortalarında keşfedilmiştir. Günümüzde ise, artan sera gazı seviyelerinin dünyanın sıcaklığında artışa neden olduğu artık bilinen bir gerçektir [2].

Sera gazlarındaki artış nedeniyle yaşanan küresel ısınma ve iklim değişiklikleri, son yıllarda "sürdürülebilirlik" kavramına olan ilginin tüm dünyada artmasına neden olmuştur. Sürdürülebilirlik yaklaşımı ile, daha az enerji kullanarak, doğal kaynaklara zarar vermeden ve çevreyi kirletmeden üretim yapmak ve kullanım süresi sonunda ürünlerin yeniden kullanılması veya geri dönüşümünün sağlanması mümkün olabilmektedir.

Gıda sanayi, tarımsal/hayvansal kökenli hammaddeleri farklı yöntemlerle işleyerek katma değeri yüksek ürünlere dönüştürür. Bunu yaparken de, yoğun miktarda iş gücü, enerji ve su kullanır. Kullanılan enerji çoğunlukla fosil kaynaklıdır ve bu kaynakların çok uzak olmayan bir gelecekte tükenmesi, sera gazı emisyonlarının yol açtığı çevresel etkilerinin yüksek olması ve birim enerji fiyatlarındaki artış nedeniyle, üretimde enerji verimliliğinin ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranının artırılması, tüm üretim sektörlerinde olduğu gibi gıda üretiminde de önemli hedeflerden biri haline gelmiştir.

Tarım ve gıda endüstrisi pek çok önemli çevresel etkiden sorumludur. Güvenli, besleyici ve çevre dostu gıdalar elde etmek için, gıda sistemlerinde sürdürülebilir üretim yaklaşımı hayati bir öneme sahiptir. Gıda sürdürülebilirliği, su ve enerji ile birlikte tüm dünyanın karşı karşıya olduğu en önemli konulardan biridir.

Gıda üretiminde kaliteli bir son ürün elde etme isteğinin yanı sıra, son yıllarda, ürünün çevresel etkilerinin düşük olması da sektörün amaçları arasına girmeye başlamıştır. Bu kapsamda, gıda maddelerinin üretiminde kullanılan enerji, su, hammadde, ambalaj miktarları ve oluşan atıklar, çevresel etkileri de göz önünde bulundurularak daha detaylı incelenmelidir.

Gıda üretiminde sürdürülebilirlik için aşağıda yer alan üç bakış açısı öncelikle gereklidir:

- daha fazla gıda güvenliği,
- daha verimli ve yenilenebilir enerji,
- sıfır atık yaklaşımı.

Meyve suyu endüstrisi dünyanın en önemli tarım kökenli üretim kollarından biridir. Meyvenin uygun yöntemlerle sıkılarak kabuk, çekirdek ve bir miktar posadan arındırılmış hali genellikle taze meyve suyu olarak

adlandırılır ve kısa sürede tüketilmelidir. Gerek ülkemizde, gerek dünyada meyve suyu endüstrisinin ana hammaddesi ise konsantre meyve suları/püreleridir. Taşıma, paketlenme, depolama maliyetlerini düşürmek ve zararlı mikroorganizma gelişimini engellemek gibi amaçlarla meyve suyu, içindeki suyun bir bölümünün uzaklaştırılması ile konsantre hale getirilir. Bu amaçla yapılan buharlaştırma (evaporasyon) işlemi, gıda endüstrisinde yer alan enerji yoğun işlemlerden biridir.

Şeftali, dünya genelinde ağaçta yetişen en önemli meyvelerden biridir ve hasat edilen şeftalilerin bir kısmı taze tüketilirken, önemli bir kısmı da işlenmektedir [3]. FAO [4] verilerine göre Türkiye, dünyanın 6. büyük şeftali üreticisidir.

Şeftali püresi, çeşitli meyve suları, reçel, marmelat ve pastacılık ürünlerinin hammaddesini oluştururken, aynı zamanda, bebek mamaları, süt ürünleri, meyveli içecekler, tatlılar ve atıştırmalık gıdaların üretiminde kullanılan önemli bir bileşendir [5].

Yaşam döngüsü analizi (YDA), bir ürünün sürdürülebilirliğinin ölçümü için en yaygın kullanılan yaklaşımdır [6]. Günümüzde çevresel sürdürülebilirlik denince akla ilk gelen terimlerden biri karbon ayak izidir. Bir ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca neden olduğu toplam sera gazı emisyonlarının CO₂ cinsinden ifadesi olan bu terim, çeşitli ürünlerin yanı sıra insanlar, hayvanlar, toplumlar, belediyeler, işletmeler, vb.'nin çevresel etkilerini tanımlamak için de kullanılmaktadır.

Literatürde, çeşitli gıda maddelerinin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinin incelendiği pek çok çalışma yer almaktadır. Meyve bazlı gıdaların çevresel etkilerinin araştırıldığı çalışmalar ise nispeten sınırlıdır. Bunlar da, meyvelerin tarımsal üretimi ve meyvelerden elde edilen ürünlerin endüstriyel üretimi olmak üzere başlıca iki gruba ayrılabilir.

Meyvelerin tarımsal üretim sürecinin çevresel etkilerini inceleyen çeşitli araştırmalar mevcuttur. Cerutti ve ark. [7], meyve yetiştiriciliği alanında yapılmış olan YDA çalışmalarını 2014 yılında derlemiştir. Bu çalışmada yazarlar, meyve yetiştirme sistemlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesinde en uygun parametrelerin seçimi için bir yöntem önermeyi amaçlamışlardır. Pergola ve ark. [8], portakal ve limonun, geleneksel yöntemle ve organik olarak yetiştirilmesini, YDA yaklaşımı ile karşılaştırarak, enerji, ekonomi ve çevresel etki analizlerini tüm üretim döngüsü için gerçekleştirmişlerdir. Kayısının tarımsal üretim sürecinin yaşam döngüsü değerlendirmesi, Pergola ve ark. [9] ve Lardo ve ark. [10] tarafından yapılmıştır. İspanya'da şeftali yetiştirilmesini 15 yıllık bir periyotta inceleyen Vinyes ve ark. [11], farklı yıllık verim ve hava şartları koşullarını dikkate alarak, fonksiyonel birim olarak aldıkları 1 kg şeftali üretiminin çevresel etkilerini YDA yöntemiyle belirlemişlerdir. Ingraio ve ark. [12], İtalya'da şeftalinin tarımsal üretiminin çevresel etkilerini 1 hektarlık alan (31.5 ton şeftali) için incelemişlerdir. Nikkiah ve ark. [13] ise, İran'da yetiştirilen şeftalilerin çevresel etkilerini belirlemek için beşikten kapıya yöntemiyle bir YDA çalışması yapmışlardır. Basset-Mens ve ark. [14] tarafından

yürütülen Agribalyse® adlı projenin bir parçası olan çalışmada, Fransa'da marketlerde satılan yerli ürünlerden elma ve şeftali ile, Fas'tan ithal edilen mandalina ve Brezilya'dan gelen mango meyvelerinin üretimi, nakliyesi ve tarımında kullanılan tüm girdiler dikkate alınarak, YDA yöntemi ile beşikten-çiftlik kapısına kadar olan süreç için değerlendirilmiştir. Vinyes ve ark. [15], İspanya'da meyve üretiminin yaşam döngüsü aşamalarını, elma ve şeftali için on yıllık gerçek üretim verilerini kullanarak, tarım, perakende, tüketim ve bertaraf aşamalarını göz önünde bulundurarak, çok yıllık bir yaklaşım ile çevresel olarak analiz etmişlerdir.

Meyvelerden elde edilen ürünlerin yaşam döngüsü değerlendirmesi, endüstriyel üretim sürecini mutlaka kapsamaktadır. Beccali ve ark., [16] İtalya'daki narenciye ürünlerinin çevresel etkilerini belirlemek ve çevresel performanslarını iyileştirmek için uygulanabilir stratejiler ve eylemler önermek amacıyla, uçucu yağ, doğal meyve suyu ve portakal ve limondan elde edilen konsantre meyve sularının çevresel etkilerini belirledikleri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. De Menna ve ark. [17] tarafından yapılan bir çalışmada, örnek bir gıda olarak seçilen şeftali nektarı üretimi için kullanılan enerji kaynağının fosil yakıt ve biyoenerji olmasına göre iki farklı senaryoya dayalı YDA yapılmıştır. Portakal kabuğu atıkları için YDA, 10 farklı atık yönetimi senaryosu ile, Negro ve ark. [18] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, portakal kabuğu atıklarının piroliz, yakma, anaerobik fermentasyon gibi farklı yöntemlerle enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi, bertaraf etme, kompost yapma ve hayvan yemi olarak kullanma gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. De Marco ve ark. [19], YDA'yı kullanarak, kayısı için farklı muhafaza yöntemlerini, küresel ısınma potansiyeli açısından değerlendirmişlerdir.

Gıda, enerji ve su, yoksulluğun azalması, toplumların refah düzeyinin artması ve sürdürülebilir kalkınma için çok önemlidir. Günümüzde, bu üç sektörün güvenliğinin ayrılmaz bir şekilde bağlantılı olduğu ve birlikte ele alınması gerektiği, Gıda-Enerji-Su bağı yaklaşımı ile ifade edilmektedir [20]. Güvenli gıda üretimini sağlarken, enerji ve su kaynaklarının korunmasını da hedefleyen sürdürülebilir üretim yaklaşımı, doğal olarak gıda, enerji ve su bağına dikkate almaktadır.

Son yıllarda, gıdaların hem zirai hem de endüstriyel üretim süreçlerinin çevresel etkilerinin araştırıldığı çalışmaların sayısında önemli oranda artış olduğu görülmektedir. Ancak, Türkiye'de yetiştirilen ve üretilen gıdaların yaşam döngüsü değerlendirmesi konusundaki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Yapılan detaylı literatür incelemesinde, dünyanın önemli şeftali üreticilerinden biri olan ülkemizde, bu meyveden elde edilen ürünler için YDA konusunda yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, mevcut bir meyve suyu konsantresi üretimi yapan fabrikanın konsantre şeftali püresi üretim hattı incelenmiş ve bu ürünün çevresel etkilerini belirlemek için YDA yöntemi uygulanarak karbon ayak izi, su ayak izi ve enerji ayak izi hesaplanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Sistem Tanıtımı

Bu çalışmada yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılan konsantre şeftali püresi, Aydın ili, Sultanhisar ilçesinde kurulu bulunan bir meyve suyu fabrikasında üretilmektedir. Şeftaliler işletmeye çoğunlukla İzmir, Bursa, Manisa ve Aydın bölgelerinden, plastik kasalar içinde, kamyonlarla getirilmektedir. Mayıs ayı ortalarında başlayıp, Eylül ayının sonuna kadar günde ortalama 100 ton şeftali işlenen bu fabrikada, yılın yaklaşık 4 ayı şeftali püre konsantresi üretilmektedir. Şeftali püre konsantresi üretiminin detaylı işlem akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Su, ısı/elektrik enerjisi ve ambalaj malzemesi gibi girdilerle; atık su, meyve atıkları ve kondenssten oluşan proses çıktıları şema üzerinde gösterilmiştir.

Meyve suyu konsantresi üretim sürecinde gerekli olan ısı enerjisi, işletmede bulunan 10 bar kapasiteli doğal gaz kazanında elde edilen buharla sağlanmakta ve proses öncesi buhar basıncı ihtiyaç duyulan değere düşürülmektedir. Yakıt olarak sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) kullanılmakta, elektrik ise şebekeden alınmaktadır.

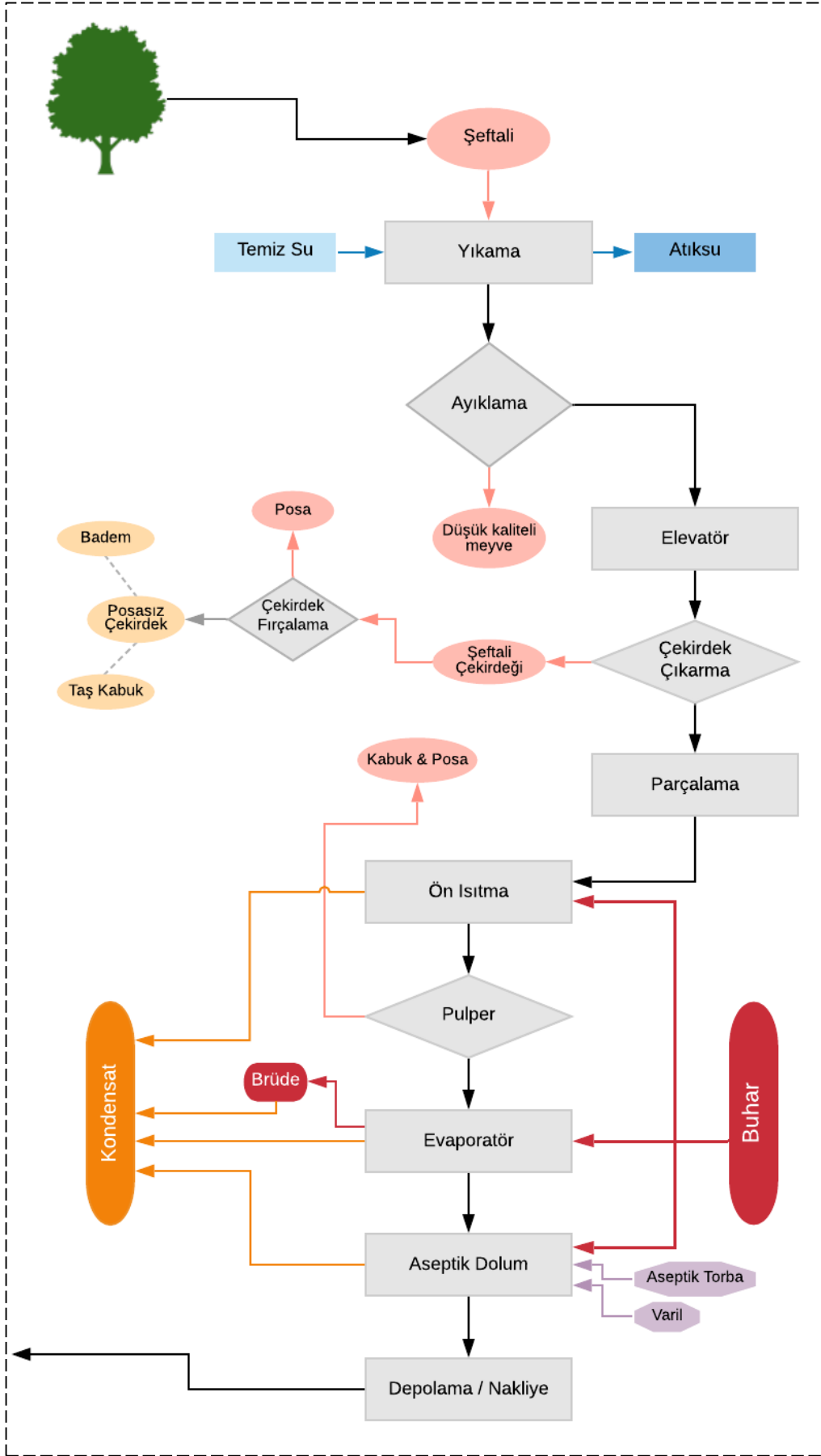
Üretimde, meyvelerin yıkanması, buhar elde edilmesi ve makine ve ekipmanların temizliği için su kullanılmaktadır. Buhar üretimi için kullanılan su, kondens kazanına geri beslemek suretiyle kapalı döngü olarak yeniden değerlendirilmektedir. Meyvelerin yıkanması ve temizlik için kullanılan su ise işletmede bulunan atık su arıtma tesisine gönderilmektedir.

Meyve suyu konsantresi üretiminin çeşitli basamaklarında ortaya çıkan şeftali atıklarından çekirdek kısmı köylüler tarafından yakacak olarak kullanılmak üzere alınırken; posa kısmı İzmir'de bulunan bir biyogaz üretim tesisi tarafından biyokütle olarak değerlendirilmektedir.

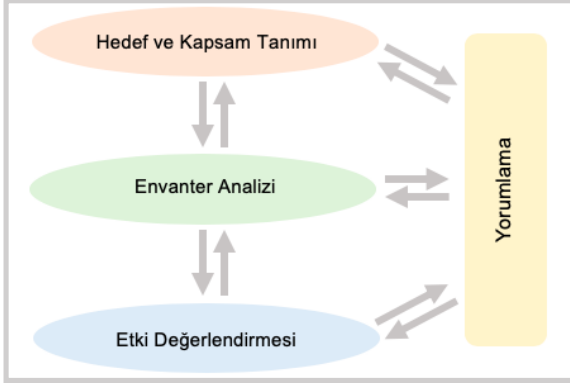
Yöntem

Bir ürünün, sürecin veya sistemin sürdürülebilirliğini kantitatif olarak belirlemek için en çok tercih edilen yöntem olan YDA, bu çalışmada da konsantre şeftali püresi üretiminin çevresel etkilerini belirlemek için kullanılmıştır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, dört ana bileşen YDA'nın çerçevesini oluşturmaktadır. Bunlardan ilki, YDA'nın amacını net bir şekilde belirlemek, sistem sınırlarını ve fonksiyonel birimi seçmek, kısıtları ve kabulleri belirlemek için önemli bir basamak olan hedef ve kapsam tanıımıdır [6, 21]. YDA için en kritik ilk adım, sistem sınırlarını doğru bir şekilde seçmektir. Bunun nedeni, envanter analizi ile ortaya çıkacak olan envanter tablosundaki tüm girdi-çıktılar dikkate alınarak yapılacak olan etki değerlendirmesi için önemli bir temel oluşturmasıdır [6].



Şekil 1. Şeftali püre konsantresi işlem akış şeması



Şekil 2. Yaşam döngüsü analizinin aşamaları

Sürdürülebilirliğin ölçülebilir ve kıyaslanabilir olmasını sağlayan en önemli yöntemlerden biri olan YDA ile belirlenen karbon ayak izi, su ayak izi ve enerji ayak izinin, en yaygın kullanılan çevresel etki parametrelerinden olduğu söylenebilir. Bunların yanı sıra, asit yağmurlarına sebep olabilen emisyonları ifade eden asitleşme potansiyeli, azot ve fosfor içeren atıkların yol açtığı ötrofikasyon potansiyeli, uçucu organik bileşikler ve azot oksitlerin ısı ve güneş ışığı varlığında reaksiyona girerek fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli, çevreye salınan bir kimyasal maddenin insanlar üzerine toksik etkisini ifade eden insan toksisite potansiyeli gibi pek çok etki parametresi vardır. Bu çalışmada, şeftali püre konsantresinin karbon ayak izi, su ayak izi ve enerji ayak izi hesaplanmıştır.

Kyoto protokolü ve yaşam döngüsü değerlendirme ilkelerine göre karbon ayak izi, üretim esnasında oluşan ve küresel ısınmanın başlıca sorumlusu olarak görülen sera gazı emisyonlarının standart göstergesi olarak kabul edilmektedir [21]. YDA çalışmalarında en çok hesaplanan çevresel etki kategorisi küresel ısınma potansiyeli; diğer adıyla karbon ayak izidir ve CO₂ eşdeğeri cinsinden tüm sera gazı emisyonlarını ifade etmektedir. Sera gazları, atmosferde doğal olarak yer alan, CO₂, su buharı, metan vb. gazlardır ve farklı düzeylerde küresel ısınma potansiyeline sahiptirler. Küresel ısınma potansiyelleri, atmosferdeki yoğunlukları ve kalış süreleri dikkate alındığında bu gazların içinde CO₂ öne çıkmaktadır. Bu nedenle, tüm sera gazı salınımları CO₂ eşdeğeri olarak verilmektedir.

YDA hesaplamaları için temel oluşturan envanter tablosu, envanter analizi ile tüm verilerin toplanması ve düzenlenmesi sonucu ortaya çıkar. ISO 14044'te [22] envanter analizi için sistematik bir yaklaşım önerilmiştir. Etki değerlendirme, oluşturulan envanter tablosunda yer alan veriler kullanılarak hesaplamaların yapıldığı ve seçilen etki kategorileri için sayısal sonuçların elde edildiği basamaktır. Yorumlama aşaması ise tüm YDA sürecinin ve elde edilen sonuçların değerlendirildiği ve çevresel etkilerin azaltılması için önerilerin sunulduğu bölümdür [6].

Bir ürünün yaşam döngüsünün hangi aşamalarının dikkate alındığını belirtmek için, beşikten mezara, beşikten kapiya, kapıdan kapiya gibi ifadeler kullanılmaktadır. Buradaki beşik terimi, YDA

çalışmasında hammaddenin elde edilme sürecinin dikkate alındığını, mezar son ürünün tüketimi ve atıkların bertarafı aşamalarının da dahil olduğunu göstermektedir. Kapı ise genel olarak fabrikanın kapısı anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada sistem sınırları, Şekil 1'de görüldüğü gibi, şeftalilerin yetiştirildikleri bahçelerden kamyonlarla kasalar içinde fabrikaya taşınmasını, işletmedeki üretim sürecini ve elde edilen şeftali püre konsantresinin depolanmak veya farklı ürünlere işlenmek üzere nakliyesini de içine alacak şekilde belirlenmiştir. Yaşam döngüsü analizi için fonksiyonel birim, 1 kg konsantre ürün olarak seçilmiş ve seçilen sistem sınırları içindeki tüm girdi çıktıları dikkate alınarak, belirlenen fonksiyonel birim için envanter analizi yapılmıştır. Dünyada en yaygın kullanılan etki kategorisi olan, küresel ısınma potansiyeli olarak da ifade edilen karbon ayak izi (CO₂esd), envanter tablosunda yer alan veriler kullanılarak ve tüm girdi/çıkıtlar için emisyon faktörleri literatürden alınarak, beşikten kapiya YDA yöntemi ile, seçilen fonksiyonel birim için hesaplanmıştır.

Gerçek bir meyve suyu işletmesindeki şeftali püre konsantresi üretim hattı dikkate alınarak, ürünün yaşam döngüsü analizini gerçekleştirebilmek için, bazı kısıtlar nedeniyle çeşitli kabuller yapılması gerekmektedir. Fabrikada, şeftali işlenen dönemde başka meyveler de işlendiği için, elektrik, yakıt ve su tüketimi gibi veriler, sadece şeftali işlenen günlere ait değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, ekipmanların bir üretim periyodunda kaç saat çalıştığı da yapılan enerji hesaplamalarında dikkate alınmıştır. Doğal gaz kazanında buhar üretimi için kullanılan su, kondens tekrar kazana beslenme sureti ile geri kazanıldığı ve yeniden kullanıldığı için hesaplamalara dahil edilmemiştir. Ürün için ambalaj materyali olarak kullanılan aseptik torba, kullanım ömrü sonunda üretici firma tarafından alınarak geri dönüşüm sağlandığı için, plastik variller ise tekrar tekrar kullanıldığı için, üretim sürecinde ambalaj atığı oluşmadığı kabul edilmiştir. Üretim sonrası ekipmanlarda yapılan temizlik için kullanılan su miktarı, ortalama 0.03 litre/litre_{meyve suyu} olarak literatürden alınmıştır [23]. Konsantre meyve sularının üretimi sırasında oluşan atık suyun pH değerlerinin 5.8 ile 9.4 arasında ve Kimyasal Oksijen İhtiyacının (KOİ) 1030 ve 5630 mgO₂/dm³ değerleri arasında olduğu belirtilmektedir [24]. Atık suyun, ürünün karbon ayak izine etkisi hesaplanırken, arıtma tesisi dikkate alınmış ve KOİ değeri ortalama 3500 mgO₂/dm³ [24] olarak kabul edilmiştir. Üretim sürecinde ortaya çıkan şeftali atıkları değerlendirildiği için çevresel etki hesaplamasında dikkate alınmamıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Aydın ili Sultanhisar ilçesinde kurulu bulunan bir meyve suyu fabrikasındaki konsantre şeftali püresi üretim hattı sürdürülebilirlik açısından incelenmiş ve seçilen sistem sınırları için YDA yapılmıştır. Bunun için, öncelikle sistem sınırları belirlenerek detaylı bir işlem akış şeması oluşturulmuştur (Şekil 1). Ardından, üretim hattında gerçekleştirilen çeşitli ölçümler sonucu elde edilen ve işletme tarafından paylaşılan verilerle, m

kütle (kg), E enerji (kW) ifadesi olmak üzere, aşağıda yer alan genel kütle ve enerji denklileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır:

$$\sum m_{giren} = \sum m_{çıkan} \quad (1)$$

$$\sum E_{giren} = \sum E_{çıkan} \quad (2)$$

Şeftali püre konsantresi üretiminde kullanılan ısı enerjisi, kazanda yakılan yakıt miktarından yola çıkılarak 3 numaralı denklemlerle hesaplanmıştır:

$$Q_{yakıt} = m_{yakıt} \times q_{yakıt (alt)} \times \eta_{kazan} \quad (3)$$

Burada, Q ısı enerjisini (kJ), q yakıtın alt ısı enerjisi değerini (kJ/kg) ve η kazan verimini ifade etmektedir. Seçilen fonksiyonel birim olan kg konsantre şeftali püresi üretimi için elde edilen envanter verileri, Tablo 1'de sunulmuştur.

Ürünün karbon ayak izini belirlemek için aşağıda yer alan genel formül kullanılmıştır [21, 22]:

$$Toplam CO_2 \text{ emisyonu} = \sum \text{Envanter verisi} \times \text{Emisyon faktörü} \quad (4)$$

Tablo 1. Konsantre şeftali püresinden 1 kg üretim için envanter verileri

Hammadde Girdileri	Birim	Miktar
Şeftali	kg	2.84
Su	litre	0.02
Enerji Girdileri		
Elektrik	kWh	0.14
LNG (Sıvılaştırılmış doğal gaz)	kg	0.09
Ambalaj Girdileri		
Aseptik torba	adet	0.004
Plastik varil	adet	0.004
Nakliye		
Şeftali nakliye	km	0.00006
Motorin	litre	0.0087
Konsantre meyve suyu nakliye	km	0.00003
Motorin	litre	0.0017
Atıklar		
Atık su	litre	0.02

Tablo 1'de yer alan ve CO₂ emisyonunu hesaplamak için temel oluşturan girdi/çıkışlar için emisyon faktörü değerleri Tablo 2'de verilmiş; (4) numaralı denklem kullanılarak çıkarılan şeftali püre konsantresinin ekolojik profili ise Şekil 3'te gösterilmiştir.

Atık suyun emisyon faktörü, literatürde yer alan ve endüstriyel atık su arıtmanın karbon ayak izini hesaplamak için kullanılan 1 kg CO_{2eşd} / 1 kg KOİ [25] yaklaşımı dikkate alınarak, şeftali püre konsantresi üretiminde ortaya çıkan atık suyun KOİ değeri ise 3500 mgO₂/dm³ [24] kabul edilerek belirlenmiştir.

Tablo 2. Envanter için emisyon faktörü değerleri

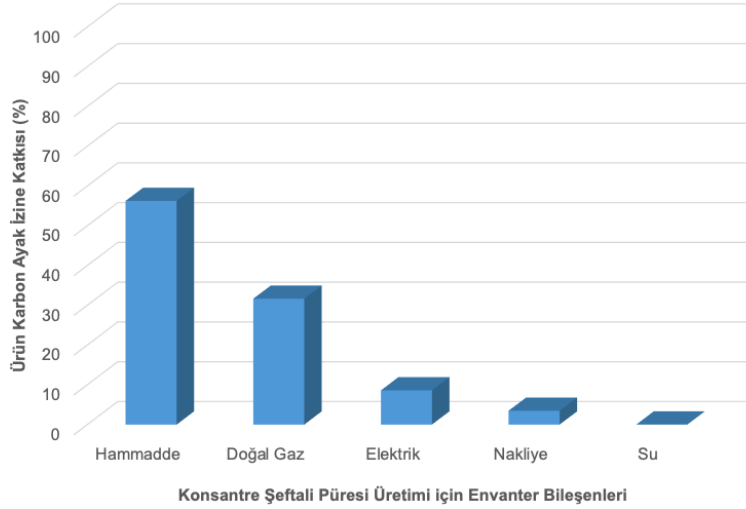
Girdi ve Çıktılar	Emisyon Faktörü	Birim	Kaynak
Şeftali	0.160	kg CO _{2eşd} /kg	[11]
Nakliye (Dizel)	2.700	kg CO _{2eşd} /litre	[26]
Su	0.132	kg CO _{2eşd} /m ³	[27]
Elektrik	0.497	kg CO _{2eşd} /kWh	[28]
LNG	2.840	kg CO _{2eşd} /kg	[29]
Atık su	3.5	kg CO _{2eşd} /m ³	[24, 25]

Konsantre püre üretiminde hammadde olarak yer alan şeftalinin tarımsal üretiminden kaynaklı çevresel etkileri vardır. Yapılan detaylı literatür araştırmasında, Türkiye'de şeftalinin tarımsal üretim süreci için YDA konusunda bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, Tablo 2'de yer alan CO_{2eşd} emisyon faktörü, şeftalinin İspanya'da geleneksel yöntemlerle çok yıllık olarak yetiştirilmesinin çevresel etkilerini inceleyen Vinyes ve ark. [11] tarafından yapılmış olan çalışmadan alınmıştır.

Tablo 1'de yer alan envanter verileri ve Tablo 2'de bulunan emisyon faktörleri kullanılarak, konsantre şeftali

püresinin karbon ayak izi 0.82 kg CO_{2eşd}/kg konsantre ürün olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3'te yer alan grafikte görüldüğü gibi, ürünün karbon ayak izine en büyük etki hammadde üretiminden gelmektedir. Bu da, tarımsal üretim basamağının çevresel etki açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Sonrasında ise üretimde kullanılan enerjinin (doğal gaz ve elektrik) karbon ayak izinin diğer önemli sorumlusu olduğu söylenebilir. Konsantre şeftali püresi üretimi için işletmede kullanılan toplam enerji (ısı ve elektrik) miktarı dikkate alınarak, enerji ayak izi 4443 kJ/kg_{konsantre ürün} olarak bulunmuştur.



Şekil 3. Konsantre şeftali püresi üretiminde envanter bileşenlerinin karbon ayak izine etkisi

Şeftali püre konsantresi üretiminde önemli bir çevresel etki parametresi de su ayak izidir. Birim ürünün üretimi için tüketilen temiz su kaynaklarının dikkate alınarak hesaplandığı bu parametre, akademik çalışmaların yanı sıra, su kaynaklarının dikkatli kullanılması ve su israfının önlenmesini amaçlayan çeşitli kuruluşlar tarafından da farklı ürünler için yayınlanmaktadır [30]. Şeftalinin tarımsal üretimi için kullanılan su miktarını belirlemek için, farklı ülkelerin verileri kullanılarak ortalama bir değer elde edilmiştir. Bu çalışmada, hammaddenin tarımsal üretiminden gelen su ayak izi için, $0.91 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{şeftali}}$ olarak bu değer kullanılmıştır [31]. Şeftali püre konsantresinin fabrikadaki üretimi boyunca, yıkama, temizlik ve buhar üretiminde kullanılan temiz su miktarları dikkate alınarak, endüstriyel üretim basamağından gelen su ayak izi $0.001 \text{ m}^3_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{konsantre ürün}}$ olarak hesaplanmıştır. Tarımsal üretim kaynaklı su tüketimi de dikkate alınarak, ürünün beşikten kapıya su ayak izi $2.59 \text{ m}^3_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{konsantre ürün}}$ olarak belirlenmiştir. Karbon ayak izinde olduğu gibi, su ayak izinde de tarımsal üretimin etkisi oldukça yüksektir. Literatürde birim gıda üretimi için tüketilen temiz su miktarı ile ilgili farklı değerlere rastlamak mümkündür. Üretim yöntemine, su kullanılan işlemlerin çokluğuna ve çeşidine göre su tüketim miktarlarının farklı olması doğaldır. Örneğin, Alkaya ve Demirel [32] tarafından bir meyve suyu fabrikası incelenerek yapılan bir çalışmada, su tüketimi değeri $23.6 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ürün olarak bildirilmiştir. Meyvelerin yıkanması ile başlayan ve perakende şişelere dolum işlemini de içeren bu süreçte, suyun verimli kullanılması ile ilgili çeşitli önlemler alınarak, literatürde yer alan ortalama $2.3\text{--}6.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ürün su tüketim değerlerine ulaşabileceği belirtilmiştir. Şeftali püre konsantresi üretiminde bu değer yaklaşık $10 \text{ m}^3_{\text{su}}/\text{m}^3_{\text{ürün}}$ olduğu ve kullanılan buharın kazana geri beslenmesi de dikkate alınır normal sınırlar içinde yer aldığı görülmektedir.

Bu çalışmada birim ürün için hesaplanan karbon ayak izi ve enerji ayak izi değerleri, literatürde yer alan çeşitli meyve sularının YDA çalışmaları ile kıyaslandığında, elde edilen sonuçların anlamlı olduğu görülmektedir. Rahim ve Raman [23], konsantre meyve püreleri

kullanılarak üretilen ve 1 litrelik ambalajlara dolum yapılan karışık meyve suyu için yaşam döngüsü analizi yapmışlar ve hammaddenin dahil etmedikleri bu hesaplamada, ürünün karbon ayak izini $0.07 \text{ kg CO}_{2\text{eşd}}/\text{litre}_{\text{meyve suyu}}$ olarak bulmuşlardır. Hammaddenin etkisinin dahil edilmediği ve buharlaştırma gibi enerji yoğun bir işlemin olmadığı düşünüldüğünde, karbon ayak izleri arasındaki fark normal kabul edilebilir. Beccali ve ark. [16] tarafından yapılmış olan çalışmada, portakal suyu konsantresinin karbon ayak izi $5.7 \text{ kg CO}_{2\text{eşd}}/\text{kg}_{\text{konsantre ürün}}$ olarak bulunmuştur. Ele alınan meyve suyu konsantresinin karbon ayak izinin şeftali püre konsantresine göre yüksek olması; üretiminde yoğun elektrik tüketimi olan, soğutma, dondurma ve donmuş muhafaza işlemlerinin bulunması ile açıklanabilir. Karakaya ve Ozilgen [33], domatesin farklı ürünlere işlenmesini, enerji tüketimi ve $\text{CO}_{2\text{eşd}}$ emisyonları açısından ele almıştır. Domates suyu üretimi için karbon ayak izini $0.57 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$ taze domates olarak bulmuşlardır. Bu da şeftali püre konsantresi için bulunan değere yakındır. Aynı çalışmada, 1 kg taze domatesin işlenmesi için 12242.6 MJ enerji tüketimi olduğu belirtilmiştir. Bu değer birim konsantre şeftali püresi üretimi için harcanan enerji miktarına göre yüksek olması, tarımsal üretim ve perakende ambalajlama süreçlerini de kapsamıyla açıklanabilir. De Menna ve ark. [17] şeftali nektarı üretimi için kullanılan enerji kaynağına göre iki farklı senaryoya dayalı YDA yapmışlardır. Aynı fonksiyonel birimin kullanıldığı bu iki senaryonun ilkinde şeftali nektarının üretimi, dağıtımı, tüketimi boyunca fosil enerji kaynağı kullanılıp, ortaya çıkan şeftali atıkları bertaraf edilirken; ikinci senaryoda, nektarın yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan yan ürünler yakma veya anaerobik fermantasyon yöntemi ile biyoenerji elde etmek için kullanılmaktadır. 1 litre şeftali nektarı üretimi için tüketilen enerji miktarı 15.27 MJ ve küresel ısınma potansiyeli

$0.91 \text{ kg CO}_{2\text{eşd}}$ olarak verilmiştir. Ortaya çıkan atıkların biyoenerji olarak değerlendirildiği senaryolarda ise fosil yakıt kaynaklı enerji tüketiminde minimum %30, karbon ayak izinde ise en az %27 azalma olduğu bildirilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye için önemli meyvelerden biri olan şeftaliden elde edilen püre konsantresinin üretimi incelenmiş ve dünyada en yaygın kullanılan çevresel etki parametresi olan küresel ısınma potansiyeli (karbon ayak izi) birim ürün için hesaplanmıştır. Ayrıca, temiz su tüketimini ifade eden su ayak izi ve işletmede üretim için kullanılan ısı ve elektrik enerjisi miktarları dikkate alınarak enerji ayak izi de belirlenmiştir. Tüm bu çevresel etki parametreleri, örnek bir işletmedeki şeftali püre konsantresi üretim hattı dikkate alınarak, beşikten kapıya YDA yöntemi ile, belirlenen sistem sınırları çerçevesinde ve yapılan kabullere göre hesaplanmıştır.

Bir kilogram konsantre şeftali püresinin karbon ayak izi ve su ayak izi incelendiğinde, en büyük etkinin tarımsal üretim basamağından geldiği görülmektedir. Bu nedenle, şeftalinin sürdürülebilir tarım yöntemleri ile yetiştirilmesi, hammaddenin karbon ayak izini ve su ayak izini düşürecek, bu da şeftali kullanılarak üretilen tüm ara ve son ürünlerin çevresel etkilerinin azalmasına katkı sağlayacaktır.

Birim ürünün karbon ayak izine en büyük ikinci etki ise enerji tüketiminden gelmektedir. Fosil kaynaklı yakıtlar kullanılarak elde edilen enerji tüm dünyada küresel ısınmanın en önemli sorumlusu olarak görülmektedir. Gıda endüstrisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için en uygun sanayi kollarından biridir. Şeftali püre konsantresi üretiminin fabrika adımı en büyük çevresel etki enerji kaynaklıdır. Bu nedenle, başta güneş enerjisinden ısı ve elektrik enerjisi üretimi olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının teşvik edilmesi, ürünün karbon ayak izini dikkate değer biçimde düşürecektir.

Sürdürülebilir bir üretim için doğal kaynakların verimli kullanılmasının yanı sıra, atık oluşumunun önlenmesi veya asgari düzeye indirilmesi de oldukça önemlidir. Bu çalışmada örnek olarak ele alınan işletmede, şeftali atıklarının biyogaz üretiminde kullanılmak üzere biyokütle olarak değerlendirilmesini sağladığı görülmektedir. Şeftali püre konsantresi ara bir ürün olduğu için, kullanılan ambalaj malzemelerinin yeniden kullanımı ve geri dönüşümünün, perakende ambalajlara kıyasla daha kolay olduğu söylenebilir. Marketlerde yer alan gıdalar için sürdürülebilir ambalajlama materyalleri ve yöntemleri konusunda hem akademik, hem de ticari pek çok çalışma yapılmaktadır.

Gıda endüstrisinde sürdürülebilir yöntemlere olan ilgi ve talep her geçen gün artmaktadır. Aynı şekilde, gıda-enerji-su bağlamı ile, tüm dünyada insanlık için son derece önemli olan bu üç kaynağın birlikte ele alınması gerekliliği tartışılmaktadır. Ülkemizde gıda ürünlerinin çevresel etkilerinin araştırıldığı çalışmalar oldukça sınırlıdır ve bu alanda yapılacak yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, işletmede üretim hattındaki çalışmalar için destek veren ve üretim verilerini paylaşan, Aydın ili,

Sultanhisar ilçesinde bulunan DİMES A.Ş. Meyve Suyu Konsantresi Fabrikası'ndaki tüm çalışanlara içtenlikle teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] Oreskes, N. (2005). E SSAY on climate change. *Science*, 306, 2004-2005.
- [2] NASA, (2019). Climate change evidence: How do we know? <https://climate.nasa.gov/evidence> (Erişim Tarihi : 07/2020).
- [3] Wu, H., Shi, J., Xue, S., Kakuda, Y., Wang, D., Jiang, Y., Ye, X., Li, Y., Subramanian, J. (2011). Essential oil extracted from peach (*Prunus persica*) kernel and its physicochemical and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, 44(10), 2032-2039.
- [4] FAO, (2017). Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Erişim Tarihi : 07/2020)
- [5] Siddiq, M. (2006). Peaches and Nectarines. In *Handbook of Fruits and Fruit Processing*, Edited by Y.H. Hui, Blackwell Publishing, 519-531p.
- [6] Singh, R.P., Heldman, D.R. (2014). Resource Sustainability. In *Introduction to Food Engineering: Fifth edition*, Elsevier Inc., 211-264p.
- [7] Cerutti, A.K., Beccaro, G.L., Bruun, S., Bosco, S., Donno, D., Notarnicola, B., Bounous, G. (2014). Life cycle assessment application in the fruit sector: State of the art and recommendations for environmental declarations of fruit products. *Journal of Cleaner Production*, 73, 125-135.
- [8] Pergola, M., D'Amico, M., Celano, G., Palese, A.M., Scuderi, A., Di Vita, G., Pappalardo, G., Inglese, P. (2013). Sustainability evaluation of Sicily's lemon and orange production: An energy, economic and environmental analysis. *Journal of Environmental Management*, 128, 674-682.
- [9] Pergola, M., Persiani, A., Pastore, V., Palese, A.M., Arous, A., Celano, G., 2017. A comprehensive Life Cycle Assessment (LCA) of three apricot orchard systems located in Metapontino area (Southern Italy). *Journal of Cleaner Production*, 142, 4059-4071.
- [10] Lardo, E., Montanaro, G., Dichio, B., Xiloyannis, C. (2018). Integrated life-cycle assessment in sustainable and conventional apricot orchards in southern Italy. *Acta Horticulturae*, 1214, 77-82.
- [11] Vinyes, E., Gasol, C.M., Asin, L., Alegre, S., Muñoz, P. (2015). Life Cycle Assessment of multiyear peach production. *Journal of Cleaner Production*, 104, 68-79.
- [12] Ingrao, C., Matarazzo, A., Tricase, C., Clasadonte, M.T., Huisingsh, D. (2015). Life Cycle Assessment for highlighting environmental hotspots in Sicilian peach production systems. *Journal of Cleaner Production*, 92, 109-120.
- [13] Nikkhhah, A., Royan, M., Khojastehpour, M., Bacenetti, J. (2017). Environmental impacts modeling of Iranian peach production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 677-682.
- [14] Basset-Mens, C., Vannièrè, H., Grasselly, D., Heitz, H., Braun, A., Payen, S., Koch, P., Biard, Y.

- (2016). Environmental impacts of imported and locally grown fruits for the French market: a cradle-to-farm-gate LCA study. *Fruits*, 71(2), 93-104.
- [15] Vinyes, E., Asin, L., Alegre, S., Muñoz, P., Boschmonart, J., Gasol, C.M. (2017). Life Cycle Assessment of apple and peach production, distribution and consumption in Mediterranean fruit sector. *Journal of Cleaner Production*, 149, 313-320.
- [16] Beccali, M., Cellura, M., Iudicello, M., Mistretta, M. (2010). Life cycle assessment of Italian citrus-based products. Sensitivity analysis and improvement scenarios. *Journal of Environmental Management*, 91(7), 1415-1428.
- [17] de Menna, F., Vittuari, M., Molari, G. (2015). Impact evaluation of integrated food-bioenergy systems: A comparative LCA of peach nectar. *Biomass and Bioenergy*, 73, 48-61.
- [18] Negro, V., Ruggeri, B., Fino, D., Tonini, D. (2017). Life cycle assessment of orange peel waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(August), 148-158.
- [19] De Marco, I., Miranda, S., Riemma, S., Iannone, R. (2016). The impact of alternative apricot conservation techniques on global warming potential. *Chemical Engineering Transactions*, 49, 325-330.
- [20] FAO. (2020). *Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO)*. <http://www.fao.org/land-water/water/watergovernance/waterfoodenergynews/en/> (Erişim Tarihi: 01.07.2020)
- [21] ISO-14040. (2006). *International Organization for Standardization. Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*.
- [22] ISO-14044. (2006). *International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assesment - Requirements and guidelines, ISO 14044, International Organization for Standardization*.
- [23] Rahim, R., Raman, A.A.A. (2015). Cleaner production implementation in a fruit juice production plant. *Journal of Cleaner Production*, 101, 215-221.
- [24] Puchlik, M., Struk-Sokołowska, J. (2017). Comparison of the composition of wastewater from fruit and vegetables as well as dairy industry. *E3S Web of Conferences*, 17, 00077.
- [25] Keller, J., Hartley, K. (2003). Greenhouse gas production in wastewater treatment: Process selection is the major factor. *Water Science and Technology*, 47(12), 43-48.
- [26] Rubinfeld, A.S. (2016). *The World Bank Group greenhouse gas emissions : inventory management plan for internal business operations 2016 (English)*. Washington, D.C., World Bank Group.
- [27] Jurić, Ž., Ljubas, D., Đurđević, D., Luttenberger, L. (2019). Implementation of the harmonised model for carbon footprint calculation on example of the energy institute in Croatia. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 7(2), 368-384.
- [28] Climate Transparency. (2017). *Brown to Green: The G20 Transition to a Low-Carbon Economy 2017*. <http://www.climate-transparency.org/g20-climate-performance/g20report2017> (Erişim Tarihi: 01.07.2020).
- [29] IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.
- [30] Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577-1600.
- [31] Water Footprint. (2020). <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/> (Erişim Tarihi: 01.07.2020).
- [32] Alkaya, E., Demirer, G.N., (2015). Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: A case study for sustainable industrial water management in Turkey. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 172-180.
- [33] Karakaya, A., Özilgen, M., (2011). Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh, paste, whole-peeled, diced, and juiced tomato production processes. *Energy*, 36(8), 5101-5110.